

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**RADAR UZAKTAN ALGILAMA VERİSİ KULLANILARAK YÜZEY YER
DEĞİŞTİRMELERİNİN ZAMANSAL OLARAK İZLENMESİ**

Dilara SOLMAZ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZİRAN 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**RADAR UZAKTAN ALGILAMA VERİSİ KULLANILARAK YÜZEY YER
DEĞİŞTİRMELERİNİN ZAMANSAL OLARAK İZLENMESİ**

Dilara SOLMAZ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZİRAN 2024

ANTALYA

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

**RADAR UZAKTAN ALGILAMA VERİSİ KULLANILARAK YÜZEY YER
DEĞİŞTİRMELERİNİN ZAMANSAL OLARAK İZLENMESİ**

**Dilara SOLMAZ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez AFAD tarafından UDAP-Ç-2134 nolu proje ile desteklenmiştir.

HAZİRAN 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADAR UZAKTAN ALGILAMA VERİSİ KULLANILARAK YÜZEY YER
DEĞİŞTİRMELERİNİN ZAMANSAL OLARAK İZLENMESİ

Dilara SOLMAZ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 26./06./2024 .. tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Nusret DEMİR (Danışman)

Prof.Dr. Ufuk YAZGAN

Doç. Dr. Çağdaş Kuşçu ŞİMŞEK

ÖZET

RADAR UZAKTAN ALGILAMA VERİSİ KULLANILARAK YÜZEY YER DEĞİŞTİRMELERİNİN ZAMANSAL OLARAK İZLENMESİ

Dilara SOLMAZ

Yüksek Lisans Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nusret DEMİR

Haziran 2024; 50 sayfa

Yer kabuğunda oluşan kırılmalardan kaynaklı meydana gelen depremler can ve mal kaybına yol açan doğal afet türüdür. Depremler aynı zamanda zemin yüzeyinde yer değiştirmelere neden olmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Hattı, Batı Anadolu Fay Hattı ve Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde yer alan Türkiye’de sürekli yer hareketleri yaşanmaktadır.

24 Ocak 2020 tarihinde Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde bulunan Elâzığ Sivrice bölgesinde meydana gelen depremin yer değiştirme miktarı, birçok RADAR verisi ile Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Analizi uygulanarak hesaplanmıştır. Kahramanmaraş’ta 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen 7,7M büyüklüğündeki Pazarcık ve 7,6 M büyüklüğündeki Elbistan depremleri ve öncesinde meydana gelen artçı depremlerin Sivrice bölgesinde oluşturduğu yer değiştirme miktarı DInSAR analizi ile elde edilmiştir.

Tez çalışması sonucunda Sivrice depreminin yüzeyde oluşturduğu etkileri, PSI analizinin depremden öncesinde ve sonrasında meydana gelen artçıların yüzeydeki etkisinin ve sürecin takip edilmesinde etkin rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: DInSAR, PSI, RADAR, SAR, Yer Değiştirme

JÜRİ: Doç. Dr. Nusret DEMİR

Prof. Dr. Ufuk YAZGAN

Doç. Dr. Çağdaş Kuşçu ŞİMŞEK

ABSTRACT

USING RADAR REMOTE SENSING DATA FOR TEMPORAL MONITORING OF SURFACE DISPLACEMENTS

Dilara SOLMAZ

MSc Thesis in Space Sciences and Technologies Department

Supervisor: Assoc. Prof. Nusret DEMİR

June 2024; 50 pages

Earthquakes caused by fractures in the Earth's crust are a natural disaster type that leads to loss of life and property. Earthquakes also cause displacement of the ground surface. Turkey, located on the North Anatolian Fault Line, West Anatolian Fault Line, and East Anatolian Fault Line, experiences continuous ground movements.

The amount of displacement caused by the earthquake in the Elâzığ Sivrice region on the East Anatolian Fault Line on January 24, 2020, was calculated using various RADAR data and Persistent Scatterer Interferometry (PSI) Analysis. The amount of displacement caused by the aftershocks in the Sivrice region following the earthquakes in Pazarcık with a magnitude of 7.7M and Elbistan with a magnitude of 7.6M on February 6, 2023, and preceding aftershocks was obtained through DInSAR analysis.

As a result of the thesis study, it was concluded that PSI analysis played an effective role in monitoring the surface effects of the Sivrice earthquake and the effects of aftershocks before and after the earthquake on the surface.

KEYWORDS: DInSAR, Displacement, PSI, RADAR, SAR

COMMITTEE: Assoc. Prof. Nusret DEMİR

Prof. Ufuk YAZGAN

Assoc. Prof. Çağdaş Kuşçu ŞİMŞEK

ÖNSÖZ

Yüzey deformasyonlarının izlenmesi, doğal afetlerin önceden tahmin edilmesi, altyapı izleme ve jeolojik olayların anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, uzaktan algılama teknolojilerinin bu alandaki kullanımını ele almakta ve yüzey deformasyonlarının radar aktif uzaktan algılama verisi kullanılarak zamansal olarak nasıl izlenebileceğini incelemektedir. Özellikle, sentetik açıklıklı radar (SAR) ve interferometrik SAR (InSAR) teknikleri üzerine odaklanarak, yüzey deformasyonlarının tespiti ve analizi için etkili yöntemler geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Son yıllarda, uzaktan algılama teknolojilerindeki ilerlemeler ve bu teknolojilere olan ilginin artması, yüzey deformasyonlarının daha hassas ve doğru bir şekilde izlenebilmesini mümkün kılmıştır. Bu çalışmanın ana hedefi, doğal afetler ve diğer jeolojik olaylar sırasında meydana gelen yüzey deformasyonlarının izlenmesi ve analiz edilmesinde yenilikçi yaklaşımlar sunmaktır.

Bu tez çalışmasında, RADAR aktif uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilen veriler analiz edilmiş ve yüzey deformasyonlarının zamansal olarak izlenmesi üzerine kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının, bilimsel araştırmalara ve pratik uygulamalara önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

Bu çalışmanın her aşamasında bana destek veren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan danışmanım Doç. Dr. Nusret DEMİR'e en derin teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin yol göstericiliği ve sabrı, bu çalışmanın tamamlanmasında büyük rol oynamıştır. Prof. Dr. Ufuk YAZGAN ve Doç. Dr. Çağdaş Kuşçu ŞİMŞEK hocalarıma kıymetli katkılarından ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte manevi desteklerinden ötürü arkadaşlarıma minnettarım. Onların desteği, motivasyonumu yüksek tutmamda ve bu çalışmayı başarıyla tamamlamamda büyük önem taşımıştır.



6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde hayatını kaybeden annem Ayşe SOLMAZ, babam Ökkeş SOLMAZ, kardeşlerim Muhammed Ensar SOLMAZ ve Furkan Can SOLMAZ'a atfen.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Uzaktan Algılama.....	4
2.2. Radar Aktif Uzaktan Algılama Teknolojileri.....	7
2.2.1. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Teknolojisi	7
2.2.2. SAR Teknolojisinin İşleyişi	7
2.2.3. SAR Teknolojisinin Avantajları.....	10
2.2.4. Uygulama Alanları ve Örnekler	12
2.3. Interferometrik SAR (InSAR) Teknikleri	19
2.3.1. Diferansiyel Interferometrik SAR (DInSAR)	19
2.3.2. Uygulama Alanları	19
2.3.3. Sabit Yansıtıcılara Dayalı İnterferometre (Persistent Scatterer Interferometry, PSI).....	21
2.4. Yüzey Yer Değiştirme Sebepleri ve Etkileri.....	23
2.4.1. Yüzey Yer Değiştirme.....	23
2.4.2. Doğal Sebepler	24
2.5. Etkiler.....	26
2.5.1. Altyapıya Zarar	26
2.5.2. Doğal Afet Riskinin Artması	26
2.5.3. Çevresel Etkiler	26
2.5.4. Ekonomik Etkiler	27
2.5.5. Toplumsal ve Sağlık Etkileri.....	27
2.5.6. Jeolojik Araştırmalar ve Eğitim	27
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Çalışma Alanı.....	29

3.2.	Araştırmanın Modeli	30
3.3.	Verilerin Toplanması	32
3.4.	Verilerin Analizi.....	33
3.4.1.	Verilerin Hazırlanması	33
3.4.2.	İnterferogramların Oluşturulması.....	33
3.4.3.	Yer Değiştirme Haritasının Elde Edilmesi.....	35
4.	BULGULAR ve TARTIŞMA	37
5.	SONUÇLAR.....	44
6.	KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ		



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Radar Aktif Uzaktan Algılama Verisi Kullanılarak Yüzey Deformasyonunun Zamansal Olarak İzlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

26/06/2024
Dilara SOLMAZ



SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltmalar

Cm	: Santimetre
DInSAR	: Diferansiyel İnterferometri Sentetik Açıklıklı RADAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture RADAR)
EW	: Ekstra Geniş Alan (Extra Wide Swath)
GRD	: Zemin Aralığı Düzeltme (Ground Range Detected)
IW	: İnterferometrik Geniş Alan (Interferometric Wide Swath)
LOS	: Bakış Yönü (Line of Sight)
OCN	: Okyanusun Jeofizik Parametreleri (Ocean)
PSI	: Sabit Yansıtıcılara Dayalı İnterferometre (Persistent Scatterer Interferometry)
RADAR	: Radyo Tarama ve Mesafe Belirleme (Radio Detection and Ranging)
SAR	: Sentetik Açıklı RADAR (Synthetic Aperture RADAR)
SLC	: Tek Doğrultulu Kompleks (Single Look Complex)
SM	: Şerit Harita (Stripmap)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. SAR Teknolojisi (https://sarkac.org/wp-content/uploads/2022/04/Sencer-Koc-sar2.png).....	8
Şekil 3.1. Sivrice (Elâzığ) depreminin yer bulduru haritası (AFAD, 2020).....	29
Şekil 3.2. 01.12.2019 ile 28.02.2020 tarihleri arasında Sivrice bölgesinde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi)	30
Şekil 3.3. 01.01.2023 ile 01.03.2023 tarihleri arasında Elâzığ bölgesinde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi)	30
Şekil 3.4. 01.01.2023 ile 01.03.2023 tarihleri arasında Kahramanmaraş bölgesinde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi)....	31
Şekil 3.5. Alaska Satellite Facility (ASF) portalı.....	32
Şekil 3.6. Verilerin hazırlanmasında uygulanan işlem adımları.....	33
Şekil 3.7. İnterferogram oluşturma adımları.....	34
Şekil 3.8. 14.07.2020 ve 07.02.2020 tarihli veri ile oluşturulan interferogram (IW2 alt alanı).....	35
Şekil 4.1. Yükselen modu ile elde edilen veriler ile yapılan PSI analiz sonuçlarının a) VV polarizasyonu ile yapılan 2017-2018 yılları arasındaki yer değiştirme haritası b) VH polarizasyonu ile yapılan 2017-2018 yılları arasındaki yer değiştirme haritası c) VV polarizasyonu ile yapılan 2018-2019 yılları arasındaki yer değiştirme haritası d) VH polarizasyonu ile yapılan 2018-2019 yılları arasındaki yer değiştirme haritası e) VV polarizasyonu ile yapılan 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritası f) VH polarizasyonu ile yapılan 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritası g) VV polarizasyonu ile yapılan 2020-2021 yılları arasındaki yer değiştirme haritası h) VH polarizasyonu ile yapılan 2020-2021 yılları arasındaki yer değiştirme haritası.....	37
Şekil 4.2. Yükselen modu ile elde edilen verilerin VV polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	38
Şekil 4.3. Yükselen modu ile elde edilen verilerin VH polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	38
Şekil 4.4. a) Alçalan (descending) modu ile Ağustos 2019- Ağustos 2020 tarihleri arasında elde edilen radar verilerinin IW3 bölgesi için PSI analizi sonucunda oluşan Yer değiştirme haritası b) Alçalan (descending) modu ile Ağustos 2019- Ağustos 2020 tarihleri arasında elde edilen radar verilerinin IW2 bölgesi için PSI analizi sonucunda oluşan yer değiştirme haritası.....	39

Şekil 4.5. Alçalan modu ile elde edilen verilerin VV polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değıştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	40
Şekil 4.6. Alçalan modu ile elde edilen verilerin VH polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değıştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	40
Şekil 4.7. Yükselen modu ile 06.02.2023- 28.02.2023 tarihleri arasında elde edilen radar verilerinin IW3 bölgesi için DInSAR analizi sonucunda oluşan yer değıştirme haritası.....	41
Şekil 4.8. Kahramanmaraş bölgesinde 6 Şubat -13 Nisan 2023 tarihlerinde meydana gelen yer değıştirme miktarı (mm).....	41



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2024 yılında aktif olan RADAR Uyduları.....	18
Çizelge 4.1. Sivrice Depreminde Elâzığ bölgesinde uydu bakış doğrultusunda (LOS) meydana gelen yer değiştirmelerin PSI analizleri sonucunda elde edilen miktarları.....	39



1. GİRİŞ

Uzaktan algılama, Dünya'nın yüzeyini ve atmosferini, doğrudan fiziksel temas olmaksızın çeşitli sensörler aracılığıyla gözlemlemek ve analiz etmek için kullanılan bir teknolojidir. Uzaktan algılama sistemlerine; uydular, uçaklar veya insansız hava araçları (İHA) gibi platformlar örnek olarak verilebilir. Bu sistemler, nesnelerin veya alanların radyasyonunu veya herhangi bir elektromanyetik enerjisini tespit eder ve ölçer. Uzaktan algılamanın belirli temel özellikleri vardır (Han ve Diğerleri, 2003). Uzaktan algılamanın geniş bir yelpazede uygulanabilirliği hem bilimsel araştırmalar hem de pratik uygulamalar açısından kritik öneme sahiptir. Bu teknoloji, tarım ve ormancılıktan şehir planlaması ve afet yönetimine, çevresel izleme ve doğa korumadan askeri ve istihbarat faaliyetlerine kadar birçok alanda kullanılabilir. Uzaktan algılamanın sağladığı veriler, doğal kaynakların yönetimi, ekosistemlerin izlenmesi, hava durumu tahminleri, iklim değişikliği analizleri ve acil durum müdahalesi gibi geniş bir yelpazede önemli katkılar sağlar. Ayrıca, uzaktan algılama teknolojileri, çeşitli dalga boylarında etkin şekilde çalışabilir. Bu özellik, sensörlerin görünür ışıktan kızılötesi ve mikrodalga spektrumuna kadar farklı enerji formlarını algılamasını sağlar, bu da bitki sağlığından su kalitesine, kentsel yapıların detaylarına kadar çok çeşitli verilerin toplanmasına olanak tanır.

Uzaktan algılama sistemleri, çeşitli dalga boylarında etkin şekilde çalışabilir. Bu özellik, sensörlerin görünür ışıktan kızılötesi ve mikrodalga spektrumuna kadar farklı enerji formlarını algılamasını sağlar. Her bir dalga boyu, yüzey özelliklerini ve materyalleri farklı şekillerde yansıtarak, bitki sağlığından su kalitesine, kentsel yapıların detaylarına kadar çok çeşitli verilerin toplanmasına olanak tanır (Zoraya ve Bolaños, 2020). Uzaktan algılama sistemleri sayesinde geniş alanların kısa sürede izlenmesi ve özellikle geniş coğrafyalara yayılmış olayların veya değişikliklerin izlenmesi mümkündür. Bu özellik sayesinde, uzaktan algılama teknolojileri, büyük ölçekli çevresel değişikliklerin, ekosistemlerin ve doğal kaynakların sürekli olarak izlenmesine imkan verir. Zaman içinde aynı bölgenin tekrar tekrar incelenmesi, uzun vadeli değişimlerin ve eğilimlerin anlaşılmasında önemli bir role sahiptir. Zaman serisi analizi, iklim değişikliği etkileri, şehirleşme süreçleri, doğal afetlerden sonraki toparlanma süreçleri gibi dinamiklerin detaylı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlar. Uzaktan algılama, bu özellikleri sayesinde, küresel ölçekte çevresel ve sosyal süreçleri izlemek, anlamak ve yönetmek için benzersiz fırsatlar sunar. Ayrıca, bu teknoloji gelecek nesillere yönelik sürdürülebilir çözümler geliştirmede de önemli bir araçtır.

Depremler, doğanın en yıkıcı güçlerinden biridir ve yer kabuğunda ani enerji boşalmaları sonucu meydana gelir. Bu sismik olaylar, sadece yer altında değil, yeryüzünde de önemli değişikliklere neden olur.

Deprem sonrası yüzeyde gözlemlenen deformasyonlar ve yer değiştirme miktarları, deprem etkilerinin büyüklüğünü net bir şekilde ortaya koyar. Bu değişikliklerin tespiti hem bilimsel araştırmalar hem de afet yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Deprem sonrası yüzeyde meydana gelen yer değiştirmeler çeşitli yöntemlerle incelenebilir, ancak son yıllarda uydu tabanlı radar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte bu alanda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Bu alanda yaygın olarak kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında Sabit Yansıtıcılara Dayalı İnterferometri (Persistent Scatterer Interferometry, PSI),

Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) ve Small Baseline Subset (SBAS) teknikleri öne çıkmaktadır. Bu yöntemler, radar verilerini kullanarak yüzeydeki deformasyonları yüksek doğrulukla belirlemeye olanak tanır. Interferogram, InSAR analizlerinde kritik bir rol oynayan bir tekniktir. İnterferogram, aynı bölgenin farklı zamanlarda çekilen iki radar görüntüsü arasındaki faz farkını gösteren bir görüntüdür. İnterferogramlar, radar sinyalinin yüzeye ulaştığı zamandaki durumunu tanımlar ve yüzeydeki değişikliklerin yüksek hassasiyetle ölçülmesine olanak tanır. İnterferogramın analiz edilmesiyle, yüzeyde meydana gelen deformasyonlar ve yer değiştirmeler tespit edilir. Bu teknolojiler, deprem sonrası yüzey değişikliklerinin haritalanması ve izlenmesinde büyük avantaj sağlar. Özellikle geniş alanlarda ve zorlu coğrafi koşullarda, uydu tabanlı radar teknolojileri ile elde edilen veriler, yer değiştirme ve deformasyonların detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Bu sayede, depremlerin neden olduğu hasarların daha iyi anlaşılması ve afet yönetimi stratejilerinin daha etkili bir şekilde geliştirilmesi mümkün olur.

InSAR, aynı bölgenin farklı zamanlarda alınmış radar görüntülerini karşılaştırarak yeryüzündeki yer değiştirmeleri milimetre düzeyinde tespit eden bir tekniktir. SAR ve InSAR gibi teknolojilerde faz, radar sinyalinin belirli bir noktaya ulaştığı zamandaki durumunu tanımlar ve bu bilgi yüzeydeki değişikliklerin yüksek hassasiyetle ölçülmesini sağlar. InSAR teknolojisinde, faz bilgisi iki farklı SAR görüntüsünden elde edilir ve bu faz bilgileri arasındaki farklar analiz edilir. Bu analizler yüzeydeki hareketlerin tespit edilmesine olanak tanır. Bu teknik, özellikle geniş alanlarda yer değiştirme haritalanmasında etkilidir. PSI, InSAR teknolojisinin bir ileri aşamasıdır ve yüzey hareketlerinin daha hassas ve detaylı bir şekilde ölçülmesini sağlar. PSI, zaman içinde tutarlı yansıma özelliklerine sahip sabit noktaları analiz eder. PSI, özellikle şehir gibi yapı yoğunluğu yüksek bölgelerde yüksek hassasiyetle yer değiştirme miktarlarının ölçümü yapar.

24 Ocak 2020 tarihinde 6.8 büyüklüğünde meydana gelen Sivrice depreminin bölgede oluşturduğu yer değiştirme miktarının hesaplanması için Sentinel-1 uydusundan alınan SAR verileri kullanılarak PSI (Persistent Scatterer Interferometry) analizi uygulanmıştır. PSI analizi, yüzeydeki deformasyonları milimetre düzeyinde tespit edebilme yeteneği sayesinde, depremin etkilerini yüksek hassasiyetle belirlemekte kullanılır. Bu aşamada SAR verisinin özelliklerinden biri olan VV-VH polarizasyonları tercih edilerek polarizasyonun yer değiştirme tespiti aşamasındaki etkisi incelenmiştir. Polarizasyonlar arasındaki farklar, yüzeyde meydana gelen değişikliklerin daha detaylı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanır. 2017-2021 tarihleri arasındaki değişim, her yıl ayrı ayrı incelenerek yüzeyde meydana gelen yer değiştirme miktarları elde edilmiştir. Bu uzun süreli veri seti, depremin hem kısa hem de uzun vadeli etkilerini analiz etmek için kullanılabilir.

6 Şubat Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremlerin Kahramanmaraş bölgesinde ve Sivrice bölgesinde meydana getirdiği yer değiştirmeyi tespit edebilmek için Kahramanmaraş bölgesinde PSI, Sivrice bölgesinde DInSAR analizi uygulanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, RADAR aktif uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Elâzığ Sivrice depreminin meydana getirdiği yüzey deformasyonunun zamansal olarak izlenmesi üzerine kapsamlı bir inceleme yapmaktır. Aynı zamanda Kahramanmaraş depremlerinin bu bölgede meydana getirdiği hareketi tespit etmektir. Çalışmanın sonuçlarının, doğal afetlerin önceden tahmin edilmesi, altyapı izleme ve jeolojik olayların

anlaşılmasında önemli katkılar sağlaması beklenmektedir. Bu bağlamda, uzaktan algılama teknolojilerinin sağladığı yüksek doğruluklu veri ve analiz kapasitesi, deprem sonrası afet yönetimi ve iyileştirme süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Gelecekte, bu teknolojilerin daha da gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte, doğal afetlerin etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir çevresel yönetim stratejileri geliştirmek mümkün olacaktır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılamanın önemi, birçok farklı sektörde ve çeşitli uygulamalarda gözle görülür. Uzaktan algılamada çevresel izleme için son derece önemli bir araçtır. Gelişmiş uydu teknolojileri, hava araçları ve sensörler sayesinde, yer yüzeyinin farklı bölgelerindeki çevresel değişiklikleri hassas bir şekilde izlemek mümkün hale gelmiştir. Uydu görüntüleme ve diğer uzaktan algılama yöntemleri, sera gazlarının atmosferik konsantrasyonlarını, buzulların erimesini, deniz seviyelerinin değişimini ve diğer iklim değişikliği göstergelerini izlemek için kullanılır (Schumacher ve Schiller, 2005). Bu, iklim değişikliğinin etkilerini anlamak ve uygun politika önlemleri almak için kritik öneme sahiptir. Uzaktan algılama, erozyon, sel, orman yangınları gibi doğal afetlerin izlenmesine ve tahmin edilmesine yardımcı olur. Örneğin, uydu görüntüleme, sel riski olan bölgeleri tanımlamak ve hızlı müdahale için erken uyarı sistemlerini geliştirmek için kullanılabilir. Uzaktan algılama, habitat değişikliklerini ve biyoçeşitlilikteki değişiklikleri izlemek için kullanılır (Zhu ve Diğerleri, 2021). Özellikle, ormanların, sulak alanların ve diğer doğal habitatların izlenmesi, biyoçeşitlilik üzerindeki insan etkilerini anlamak ve koruma stratejileri geliştirmek için önemlidir. Uzaktan algılama, tarım alanlarının izlenmesi ve verimliliğin artırılması için kullanılır. Ayrıca, su kaynaklarının izlenmesi ve yönetilmesi amacıyla da kullanılabilir; su kirliliği ve su stresi gibi konuları belirlemek için su kalitesini ve miktarını izlemek için kullanılır.

Şehirlerin genişlemesi, altyapı projeleri ve kentsel dönüşüm süreçleri, uzaktan algılama verileri kullanılarak etkili bir şekilde yönetilebilir. Bu veriler, şehir planlamacılarına trafik akışı, kentsel yeşil alanların dağılımı ve yapılaşma oranı gibi önemli bilgiler sağlar. Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama verileri, şehirlerin genişleme süreçlerini izlemek ve mevcut değişimleri analiz etmek için kullanılabilir. Bu, şehirlerin büyüme eğilimlerini anlamak, gelecekteki altyapı ihtiyaçlarını tahmin etmek ve planlama kararlarını desteklemek için önemlidir (Wall ve Diğerleri, 2000). Uzaktan algılama verileri, trafik yoğunluğunu, yolların kullanımını ve ulaşım altyapısının etkinliğini izlemek için kullanılabilir. Bu veriler, trafik sıkışıklığıyla mücadele etmek, ulaşım ağlarını optimize etmek ve toplu taşıma sistemlerini geliştirmek için değerli bilgiler sağlar (İnik ve Ülker, 2017). Uzaktan algılama, şehirdeki yeşil alanların dağılımını, büyüklüğünü ve kalitesini izlemek için kullanılabilir. Bu, kentsel ekosistemlerin sağlığını değerlendirmek, hava kalitesini artırmak ve rekreasyon alanlarına erişimi iyileştirmek için önemlidir. Uzaktan algılama verileri, bina yoğunluğunu, kullanım alanlarını ve yapılaşma oranlarını analiz etmek için kullanılabilir. Bu, şehirdeki yapılaşma eğilimlerini anlamak, yerleşim alanlarını etkili bir şekilde planlamak ve kentsel boşlukları tanımlamak için önemlidir. Uzaktan algılama verileri, şehirdeki doğal afet risklerini ve diğer acil durumları belirlemek için kullanılabilir. Bu, afet hazırlık planlarını geliştirmek, riskli alanları belirlemek ve hızlı müdahale stratejileri oluşturmak için önemlidir. Uzaktan algılama verileri, şehirlerin daha sürdürülebilir, yaşanabilir ve dirençli hale gelmesine yardımcı olan önemli bir araçtır. Planlamacılar, bu verileri kullanarak daha bilinçli kararlar alabilir ve şehirlerin gelecekteki ihtiyaçlarına daha iyi yanıt verebilirler.

Uzaktan algılama verileri, çeşitli mahsullerin büyüme aşamalarını izlemek ve mahsul verimliliğini değerlendirmek için kullanılır. Bitki örtüsü indeksleri gibi ölçümler, mahsul sağlığı, büyüme hızı ve hasat potansiyeli hakkında değerli bilgiler sağlar. Uzaktan

algılama, tarım arazilerindeki toprak özelliklerini ve sağlığını izlemek için kullanılabilir. Aynı zamanda, sulama sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek ve su kaynaklarını yönetmek için kullanılır (Hao ve Diğerleri, 2019). Toprak nem içeriği ve bitki stresi gibi veriler, sulama uygulamalarının optimize edilmesine yardımcı olur. Uzaktan algılama, tarım arazilerindeki zararlı böceklerin, mantar hastalıklarının ve diğer zararlı organizmaların erken tespit edilmesine yardımcı olur. Bu, zamanında müdahale edilmesini sağlayarak hasat kayıplarını ve kimyasal kullanımını azaltabilir. Uzaktan algılama verileri, mahsul büyüme modelleri ve hasat zamanlaması üzerine tahminler yapmak için kullanılabilir. Bu, ürün arzını tahmin etmek, fiyat dalgalanmalarını öngörmek ve pazar stratejilerini belirlemek için önemlidir (Ganveer ve Diğerleri, 2016).

Uzaktan algılama, ormanların sağlığını izlemek, ağaç türlerini gösteren harita oluşturulması ve ormansızlaşma gibi sorunları belirlemek için kullanılır. Bu veriler, orman yönetimi stratejileri geliştirmek ve biyoçeşitliliği korumak için önemlidir. Uzaktan algılama, orman yangınlarının erken tespiti ve yangın riski tahminlerinde kullanılır. Bu, yangın müdahale ekiplerine zamanında bilgi sağlamak ve yangın yönetimi stratejilerini geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Uydu verileri, ormanlardaki değişimleri izlemek ve ormansal kaynakları etkin bir şekilde yönetmek için kullanılır. Bu, ormanlardaki ağaç kesimi, ağaçlandırma projeleri ve doğal yaşam alanlarının korunması gibi konuları değerlendirmek için önemlidir. Aynı zamanda, tarım ve ormancılık sektörlerinde sürdürülebilir kaynak yönetimi ve üretim verimliliği için kritik bir araçtır. Bu veriler, doğru kararlar almak ve kaynakları etkin bir şekilde kullanmak için planlamacılara ve yöneticilere değerli bir bilgi sağlar (Cheng ve Diğerleri, 2006).

Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama verileri, afet bölgelerindeki hasarı tespit etmek ve değerlendirmek için kullanılır. Bu, hasarın boyutunu ve kapsamını hızla belirlemek ve acil müdahale ihtiyaçlarını belirlemek için önemlidir. Doğal afetlerin ardından bazı bölgelerin erişimi zor olabilir. Uzaktan algılama, bu alanları izlemek ve hasarın derecesini belirlemek için kritik bir araçtır (Chen ve Wang, 2014). Bu bilgi, acil yardım ekiplerinin doğru yönlendirilmesine ve etkili bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olur. Uzaktan algılama verileri, afet bölgelerindeki ihtiyaçları belirlemek ve yardım kaynaklarının etkin bir şekilde dağıtılmasını sağlamak için kullanılır. Hasarın yoğun olduğu alanlar ve acil müdahale gerektiren bölgeler belirlenerek yardım ekiplerine rehberlik edilir. Uzaktan algılama, afet bölgelerindeki nüfus yoğunluğunu izlemek ve tahliye rotalarını belirlemek için kullanılabilir. Bu, acil durum yöneticilerine, tahliye planlarını optimize etmek ve insanların güvenliğini sağlamak için gerekli bilgileri sağlar. Uzaktan algılama verileri, afet sonrası rehabilitasyon ve iyileştirme süreçlerinde kullanılabilir. Hasarın boyutunu belirlemek ve iyileştirme çabalarını yönlendirmek için kullanılan veriler, toplumların yeniden yapılanmasına ve dayanıklılığının artırılmasına yardımcı olur. Uzaktan algılama, afet yönetimi ve acil durum cevabında hızlı, etkili ve koordineli bir yanıt sağlamak için vazgeçilmez bir araçtır. Bu teknoloji, afetlerin etkilerini azaltmak ve toplumların daha dirençli hale gelmesine yardımcı olmak için önemli bir rol oynar (Tralli, 2005).

Uydu görüntüleme, hava radarları ve diğer uzaktan algılama sistemleri, sınır bölgelerini izlemek ve sınır güvenliğini sağlamak için kullanılır. Bu, yasa dışı göçü önlemek, kaçakçılığı engellemek ve terörizm gibi tehditlere karşı önlem almak için önemlidir. Uzaktan algılama, düşmanın askeri hareketlerini izlemek, stratejik hedefleri belirlemek ve askeri istihbarat toplamak için kullanılır. Uydu görüntüleme, radar izleme ve diğer sensörler, düşman faaliyetlerini takip etmek ve analiz etmek için kritik öneme

sahiptir. Uzaktan algılama verileri, askeri operasyonlarda hedef tespiti ve silah yönlendirme için kullanılır. Bu, hassas hedefleri belirlemek, stratejik tesisleri izlemek ve askeri operasyonların etkinliğini artırmak için önemlidir (Wei ve Diğerleri, 2011: 1-2). Uzaktan algılama, stratejik tesislerin, limanların, havaalanlarının ve diğer önemli alanların sürekli olarak izlenmesi ve gözetlenmesi için kullanılır. Bu, potansiyel tehditleri tespit etmek, saldırıları önlemek ve ulusal güvenliği sağlamak için kritik bir rol oynar. Uzaktan algılama, doğal afetlerin ardından yardım ve kurtarma operasyonlarını desteklemek için de kullanılabilir. Uydu görüntüleri ve hava radarları, afet bölgelerindeki hasarı belirlemek, kayıp kişileri bulmak ve yardım kaynaklarını yönlendirmek için değerli bilgiler sağlar (Joyce,2009).

Yüzey deformasyonu, genel olarak bir yüzeyin şeklinin, boyutunun veya konumunun değişmesini ifade eder. Bu değişim, çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir ve farklı ölçeklerde gerçekleşebilir. Yüzey deformasyonunun ana nedenleri arasında yer kabuğunun hareketleri, jeolojik süreçler, insan faaliyetleri ve çevresel faktörler bulunur. Toprak kaymaları ve heyelanlar, yüzey deformasyonlarının önemli bir örneğidir. Bu tür doğal olaylar genellikle eğimli arazilerde, aşırı yağışlar sonucu veya yeraltı sularının toprağı doyurmasıyla tetiklenebilir. Toprak kayması, eğimli yamaçlarda toprak tabakalarının aşağı doğru hareket etmesiyle oluşur. Bu hareket, genellikle yerçekimi ve zeminin doymuş olması nedeniyle meydana gelir (Zoraya ve Bolaños, 2020: 4-5). Heyelanlar ise daha büyük ölçekli toprak hareketleridir ve genellikle daha dik eğimli alanlarda ortaya çıkar. Yerçekimi etkisiyle, toprak, kayalık bir yamaç boyunca ani bir şekilde hareket eder ve aşağıya doğru kayar. Bu durum, çoğu zaman aşırı yağışlar veya başka bir su kaynağı nedeniyle toprağın doymasıyla tetiklenir. Her iki durumda da toprak kaymaları ve heyelanlar ciddi maddi hasara ve hatta insan hayatını tehlikeye atabilir. Bu nedenle, bu tür bölgelerde yapı inşa ederken ve yerleşim planlarını yaparken dikkatli olunması önemlidir. Eğimli arazilerde erozyon kontrolü, drenaj sistemlerinin kurulması ve uygun stabilizasyon tekniklerinin kullanılması gibi önlemler alınarak bu tür doğal afetlerin riski azaltılabilir (Özdemir, 2012).

Yer kabuğunun hareketleri sonucu kıta bloklarının kayması veya kırılması, yüzey deformasyonuna neden olabilir. Bu durum, depremler, tektonik hareketler ve volkanik faaliyetler gibi sismik etkilerle ilişkilendirilebilir. Yer kabuğunun altındaki büyük kaya levhaları, tektonik levha adı verilen hareketli yapılar oluşturur. Bu levhalar, yeryüzündeki kıtaları ve okyanus tabanlarını oluşturur (Ashry ve Diğerleri, 2020). Kıta kaymaları, bu levhaların birbirine göre hareket etmesi sonucu oluşur. Levhalar arasındaki farklı hareket türleri, kıta kenarlarında sık sık depremlere, dağ oluşumlarına ve volkanik aktiviteye neden olabilir. Depremler, yer kabuğundaki kırılma ve kayma sonucu ortaya çıkarlar. Depremlerin ana sebebi, tektonik levhaların yer kabuğu boyunca sürekli hareket etmesidir. Bu hareketler bazen levhaların birbirine sürtünmesi, bazen de bir levhanın diğerinin altına dalması veya yükselmesiyle olur. Bu süreçte biriken gerilimler nihayetinde serbest kalır ve deprem olarak hissedilen titreşimlere neden olur. Depremler, sismograf adı verilen cihazlarla ölçülür ve büyüklükleri Richter ölçeği veya Moment Magnitude ölçeği gibi ölçeklerle belirlenir. Bu tür jeolojik olaylar, insanlar ve çevreleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Depremler, yapısal hasara ve can kaybına neden olabilirken, volkanik patlamalar çevresel etkilere yol açabilir ve kıta kaymaları da arazi şekillerini değiştirerek habitatları etkileyebilir. Bu nedenle, bu tür sismik etkileri anlamak ve bunlara karşı hazırlıklı olmak büyük önem taşır.

Yeraltı maden çıkartma faaliyetleri, yüzey deformasyonuna neden olabilir ve bu durum çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir. Yeraltı madenlerinin çıkarılması sırasında, genellikle büyük çukurlar veya kuyular oluşturulur. Bu çukurlar, maden ocağının derinleştirilmesi veya genişletilmesiyle giderek daha da büyüyebilir. Bu çukurlar, yerin yüzeyinde büyük boşluklar oluşturarak yüzey deformasyonuna neden olabilir. Maden çıkartma sürecinde, yeraltındaki maden yataklarının çıkarılması boşluklar bırakabilir. Bu boşluklar zamanla çökebilir ve yerin yüzeyinde çukurlar veya çöküntüler oluşturabilir. Bu tür yüzey deformasyonları, yeraltı boşluklarının dolması veya zeminin stabilitesini kaybetmesi sonucu meydana gelebilir. Bu deformasyonlar, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinden biri olup, çevre üzerinde ciddi etkiler yaratabilir. Özellikle yerel ekosistemler, su kaynakları, toprağın stabilitesi ve yerleşim alanları bu etkilerden olumsuz şekilde etkilenebilir. Dolayısıyla, madencilik faaliyetlerinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için dikkatli planlama, sürekli izleme ve uygun restorasyon önlemleri gerekmektedir (Konuslu ve Diğerleri, 2016).

Yapıların inşası veya yıkımı, çevresel etkiler veya yapısal kusurlar nedeniyle yüzey deformasyonuna yol açabilir. Özellikle yapısal kusurlara sahip binalar veya köprüler zamanla çökme veya eğilme gibi deformasyonlar yaşayabilir. Kıyı bölgelerinde erozyon ve deniz seviyesinin yükselmesi de yüzey deformasyonuna neden olabilir. Bu durum, kıyı hatlarının geri çekilmesi, sahil yapılarının zarar görmesi ve kıyı topluluklarının etkilenmesiyle sonuçlanabilir. Yüzey deformasyonu, doğal ve insan kaynaklı etkenlerin bir kombinasyonu olarak ortaya çıkar ve çeşitli çevresel, ekonomik ve sosyal sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, yüzey deformasyonunun izlenmesi, analizi ve yönetimi, toplumların güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve altyapıların korunması açısından büyük önem taşır (Richards, 2014).

2.2. Radar Aktif Uzaktan Algılama Teknolojileri

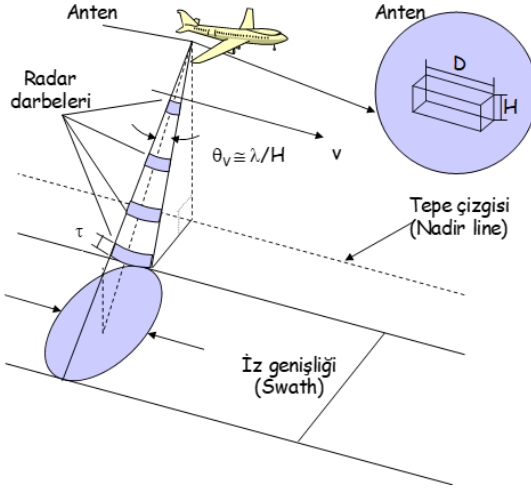
2.2.1. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Teknolojisi

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), nesnelerin ve yüzey özelliklerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini elde etmek için kullanılan ileri bir radar teknolojisidir (Zoraya ve Bolaños, 2020). Bu teknoloji, bir platform üzerinde hareket eden antenin radyo dalgaları yayması ve yansıyan dalgaları toplaması prensibine dayanır. En büyük avantajlarından biri, gece ve kötü hava koşullarında bile kesintisiz gözlem yapabilmesidir. Yüksek çözünürlüklü görüntüleme kabiliyetleri sayesinde SAR teknolojisi, çeşitli alanlarda önemli bir araç haline gelmiştir.

2.2.2. SAR Teknolojisinin İşleyişi

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) teknolojisinin işleyişi, karmaşık radar sistemleri ve sinyal işleme tekniklerini kullanarak detaylı yüzey görüntüleri elde etme üzerine kuruludur. Synthetic Aperture Radar (SAR) sistemi, radyo dalgalarını kullanarak Dünya'nın yüzeyini ve diğer hedefleri yüksek çözünürlükle görüntüleyen ileri teknoloji bir radar türüdür (Chen ve Wang, 2014). SAR sistemi genellikle uydu, uçak veya İnsansız Hava Aracı (İHA) gibi hareketli platformlarda bulunur. Bu sistem, hedef yüzeylere yüksek frekanslı radyo dalgaları gönderir. Gönderilen radyo dalgaları yeryüzü, binalar,

bitki örtüsü gibi yansıtıcı yüzeylerden geri yansır ve SAR cihazına geri döner. SAR sistemlerinde hava aracında taşınan bir radardan uçuş yönüne dik doğrultuda yayın yapılır ve geri dönen sinyal kaydedilerek görüntü oluşturulur. Bu sistemin çözünürlüğü radar anteninin boyutu ile belirlenir ve görüntü mesafesi arttıkça çözünürlük düşer.



Şekil 2.1. SAR Teknolojisi (<https://sarkac.org/wp-content/uploads/2022/04/SencerKoc-sar2.png>)

SAR sisteminin avantajlarından biri, gece ve gündüz çalışabilmesi ve her türlü hava koşulunda etkili olabilmesidir. Yansıyan dalgaların analizi, yüzeyin topografyası, dokusu ve diğer özellikleri hakkında detaylı bilgiler sağlar, böylece coğrafi bilgi sistemleri, askeri izleme ve çevresel izleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.

SAR sistemlerinde sinyal alımı ve kayıt süreci, radarın işlevselliği açısından büyük önem taşır (Aşçı, 2021). SAR sistemleri, hareketli bir platform üzerinde bulunan antenler aracılığıyla yansıyan radyo dalgalarını yakalar. Bu dalgalar, yeryüzü gibi yansıtıcı yüzeylerden gelen bilgilerle doludur ve dalgaların yansıma süresi, fazı ve diğer özellikleri yüzeyin yapısı, malzemesi ve diğer fiziksel özellikleri hakkında bilgi verir. Sinyaller alındığında, sinyallerin yansıldıktan sonra kaydedildiği süre ve faz değişiklikleri kaydedilir. Bu değişiklikler, nesnelerin ve yüzey özelliklerinin konumu, şekli ve diğer detayları ile ilgili son derece ayrıntılı bilgileri içerir. SAR sistemleri, bu zamanlama ve faz bilgilerini kullanarak, yüzeyin ve yansıyan nesnelerin üç boyutlu görüntülerini oluşturabilir. Bu görüntüler, daha sonra çeşitli uygulamalar için analiz edilerek değerlendirilir. Bu süreç, özellikle karmaşık coğrafi yapıların ve hava koşullarının etkilerini aşarak yüzeyi gözleme kabiliyeti nedeniyle stratejik olarak önemlidir.

SAR sistemlerinde sinyal işleme ve görüntü oluşturma süreci oldukça teknik ve karmaşıktır. Yakalanan radyo dalgaları, sinyal işleme teknikleri kullanılarak analiz edilir (Zhu ve Diğerleri, 2021). Bu süreçte, sinyal işleme süreci aşağıda ifade edildiği gibidir.

- Ham Veri Toplama, SAR sistemi yansıyan radyo dalgalarını sürekli olarak toplar.
- Faz ve Zaman Bilgisi Analizi, toplanan verilerin zaman gecikmesi ve faz değişimleri, nesnelerin uzaklığı ve yerleşimi hakkında bilgi sağlar.

- Sentetik Açıklık Oluşturma, hareket eden platformun yolu boyunca toplanan veriler sentetik bir açıklık oluşturacak şekilde birleştirilir. Bu yöntem, yerdeki nesnelerin daha net ve ayrıntılı görüntülenmesini sağlar.
- Görüntü Yeniden Oluşturma, veriler, matematiksel algoritmalar ve tersine çevrim teknikleri kullanılarak işlenir ve bu işlem sonucunda çok yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilir (Schumacher ve Schiller, 2005).

SAR görüntüleri, yüzey özelliklerinin yanı sıra yüzey altı yapıları hakkında da bilgi sağlayabilir. Örneğin, topraktaki nem seviyesi veya buzul altındaki arazi yapısı gibi özellikler bu görüntüler ile tespit edilebilir. Bu görüntüler, çeşitli alanlarda, özellikle çevresel izleme, kentsel planlama, jeolojik araştırmalar ve askeri gözetleme gibi alanlarda değerli bilgiler sunar (Schumacher ve Schiller, 2005). Bu nedenle, SAR teknolojisi, yüksek çözünürlükte ve hassasiyet gerektiren uygulamalarda vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilir. Bu teknoloji, üstün görüntüleme kabiliyeti sayesinde birçok sektörde önemli bir rol oynamaktadır.

SAR teknolojisinde faz farklılıklarının analizi, özellikle yüzey değişikliklerini izleme konusunda son derece önemlidir (Onat ve Özkazanç, 2020). Bu teknik, genellikle "Interferometrik SAR" (InSAR) olarak adlandırılır ve yüzeydeki çok küçük değişimleri bile algılamak için kullanılır. İşlem, aynı bölgenin farklı zamanlarda birden fazla kez taranmasıyla elde edilen sinyallerin karşılaştırılmasını içerir. Faz farklılıklarının analizinin çalışma süreci aşağıda ifade edildiği gibidir.

- Veri toplama, iki veya daha fazla SAR görüntüsü, aynı bölgeyi farklı zamanlarda tarayarak elde edilir.
- Faz bilgisinin karşılaştırılması, elde edilen her bir görüntünün faz bilgileri karşılaştırılır. Radyo dalgalarının yüzeye ulaşma ve geri yansıma süreleri arasındaki küçük farklar, faz değişikliklerine yol açar.
- Deformasyon tespiti, faz farklılıkları, yüzeyde meydana gelen yer değiştirme veya deformasyon gibi değişiklikleri gösterir. Örneğin, bir deprem, heyelan veya yer altı madenciliği aktivitesi sonucunda meydana gelen yüzey hareketleri bu yöntemle tespit edilebilir (Ding ve Diğerleri, 2018).

SAR sistemlerinin çözünürlük ve detaylandırma kabiliyeti, onları uzaktan algılama ve yer gözlem uygulamalarında çok değerli kılar. Bu sistemler, hem yatay (azimut) hem de dikey (menzil) yönlerde yüksek çözünürlük sunar, bu da nesnelerin konumunu ve yüksekliğini oldukça kesin bir şekilde belirlemeyi mümkün kılar. SAR sistemleri, genellikle çok yüksek frekanslarda çalışan radyo dalgaları kullanır. Yüksek frekans, dalga boyunun küçük olması anlamına gelir, bu da daha fazla detayın yakalanmasına olanak tanır (Ding ve Diğerleri, 2018). SAR, hareketli bir platform üzerindeki antenin oluşturduğu geniş "sentetik" açıklığı kullanır. Bu geniş açıklık, bir nesnenin konumunu çok daha kesin bir şekilde belirlemeye yardımcı olur ve daha yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesini sağlar. SAR sistemleri, yansıyan dalgaların süresi ve faz değişikliklerini analiz ederek nesnelerin konum ve yükseklik bilgilerini çok kesin bir şekilde elde eder. Faz bilgisi, nesnelerin tam konumunu ve bu konumların zaman içindeki değişimlerini belirlemek için kullanılır.

- Detaylı topoğrafik haritalama, SAR görüntüleri, yüzeyin detaylı bir şekilde haritalanmasını sağlar, bu da coğrafi bilgi sistemleri (CBS) için değerli veriler sunar.

- Kentsel planlama ve izleme, SAR, kentsel alanların detaylı görüntülerini sağlayarak, yapıların yükseklikleri ve şehir planlaması için gerekli diğer ölçümleri sunar.
- Jeoloji ve Jeomorfoloji, yer şekillerinin ve jeolojik yapıların detaylı analizi için kullanılır, örneğin volkanik alanlar veya erozyon bölgeleri gibi (Rosen ve ark.,2000).

Bu sistemin diğer özelliği ise Polarizasyon özelliğidir. Polarizasyon, elektromanyetik dalgaların gönderildiği ve alındığı yönü ifade eden bir kavramdır. Bu dalgalar yatay (Horizontal, H) veya dikey (Vertical, V) olarak yönlendirilebilir. Radar alıcı ve verici antenleri bu prensiplere göre tasarlanır. Radar görüntülerinde polarizasyon, alıcı ve verici antenlerin özelliklerine bağlı olarak şekillenir. Dört ana polarizasyon türü vardır: HH (Yatay gönderen-Yatay alan), HV (Yatay gönderen-Dikey alan), VV (Dikey gönderen-Dikey alan) ve VH (Dikey gönderen-Yatay alan). Bir radar sistemi, tek polarizasyonlu olabileceği gibi, aynı anda birden fazla polarizasyon türünü de barındırabilir (Irak,2009).

SAR teknolojisinin sunduğu yüksek çözünürlük ve detaylandırma, bu sistemleri birçok farklı bilim ve mühendislik alanında vazgeçilmez bir araç haline getirir. Bu yetenekler, Dünya'nın yüzeyinin ve yapılarının zaman içindeki değişimlerini izlemek için kritik önem taşır.

2.2.3. SAR Teknolojisinin Avantajları

SAR teknolojisi, uzaktan algılama alanında birçok avantaj sunar. SAR teknolojisinin sunduğu çeşitli avantajlar, onu birçok alanda tercih edilen bir uzaktan algılama aracı haline getirir. SAR teknolojisinin hava koşullarından bağımsız çalışma avantajı önemli bir özelliktir (Cheng ve Diğerleri, 2006). Optik ve kızılötesi sistemlerde bulut örtüsü, sis, yağmur gibi hava koşulları görüşü etkileyebilirken, SAR bu tür durumlarda bile etkili bir şekilde çalışabilir. Bu özellik, özellikle askeri, keşif ve kurtarma operasyonları gibi alanlarda çok önemlidir. SAR, herhangi bir hava durumunda çalışabilir, bu da sürekli gözetim ve izleme sağlar, özellikle de kritik anlarda. Bu da SAR'ın güvenlik, kurtarma ve keşif operasyonlarında çok yönlü ve güvenilir bir araç olmasını sağlar.

SAR teknolojisi, sentetik açıklık radarı (SAR) yöntemi sayesinde yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmede oldukça etkilidir. Bu yöntem, radarın anten hareketini ve sinyal işleme tekniklerini kullanarak yüksek çözünürlüklü görüntüler oluşturur. Bu, yeryüzünün detaylı bir şekilde görüntülenmesini sağlar, hatta küçük nesnelerin veya yapıların tespit edilmesini mümkün kılar (Adamo ve Diğerleri, 2010). Bu özellik, haritalama, hedef belirleme, arazi izleme ve doğal afetlerin izlenmesi gibi birçok uygulama alanında önemlidir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler, detaylı analizler yapılmasını sağlar ve karar verme süreçlerine değerli bilgi sağlar. Bu da SAR'ın askeri, sivil ve bilimsel alanlarda çok yönlü bir araç olmasını sağlar.

SAR sistemleri, geniş alanları hızlı bir şekilde tarayabilir, bu da büyük coğrafi bölgelerin efektif bir şekilde izlenmesini ve haritalanmasını sağlar (Richards, 2014). Bu sistemler, yüksek hızda hareket ederken bile geniş coğrafi bölgeleri hızlı bir şekilde tarayabilirler. Bu, büyük coğrafi alanların etkili bir şekilde izlenmesini ve haritalanmasını sağlar. Özellikle doğal afetlerin izlenmesi, sınır güvenliği, tarım alanlarının izlenmesi ve

çevresel izleme gibi uygulamalarda bu özellik büyük önem taşır. SAR'ın geniş alan kaplama yetenekleri, hızlı tepki gerektiren acil durumların izlenmesi ve müdahale edilmesi için de kritiktir (Papson ve Narayanan, 2012). Bu özellikler, SAR verilerinin askeri, sivil ve bilimsel alanlarda kullanımını daha da önemli hale getirmektedir.

SAR teknolojisi, geniş kullanım alanlarına sahip çok yönlü bir teknolojidir. Bu teknoloji, askeri izlemeden çevresel izlemeye, doğal afetlerin izlenmesinden kentsel planlamaya, tarımdan ormancılığa kadar birçok farklı alanda kullanılabilir. Askeri izleme ve istihbarat toplama operasyonlarında, SAR'ın hava koşullarından bağımsız çalışma yeteneği ve yüksek çözünürlüklü görüntüleri, düşman aktivitelerinin tespit edilmesi ve hedef belirleme süreçlerine değerli katkılar sağlar (Han ve Diğerleri, 2003). Çevresel izleme ve doğal afetlerin izlenmesi alanında, SAR'ın geniş alan kaplama yetenekleri ve yüksek çözünürlüklü görüntüleri, kirlilik, orman yangınları, sel gibi olayların izlenmesi ve yönetilmesinde önemli rol oynar. Kentsel planlama süreçlerinde SAR, şehirlerin büyümesini izleme, altyapı geliştirme projelerini destekleme ve kentsel alanların dönüşümünü takip etme gibi görevlerde kullanılabilir. Tarım ve ormancılık alanlarında SAR, tarım alanlarının verimliliğini artırmak için toprak analizi yapma, bitki hastalıklarını izleme, ormansızlaşma gibi çevresel tehditleri izleme gibi görevlerde kullanılabilir. Bu çok yönlü uygulamalar, SAR'ın geniş bir kullanıcı tabanına ve çeşitli endüstrilere hitap etmesini sağlar (Kaynarca ve Demir, 2018).

SAR teknolojisi çevresel değişimleri izleme konusunda çok etkili bir araçtır. Özellikle orman kaybı, çölleşme, su seviyesindeki değişiklikler gibi büyük ölçekli çevresel değişimlerin izlenmesinde SAR'ın yetenekleri çok önemlidir. Orman kaybı izleme konusunda, SAR'ın yüksek çözünürlüklü görüntüleri, ormanlık alanlardaki değişiklikleri tespit etme ve izleme imkanı sağlar (İnik ve Ülker, 2017). Ormanların kesilmesi, izlenen alanlardaki orman sınırındaki değişiklikleri belirgin şekilde ortaya çıkarabilir. Benzer şekilde, çölleşme süreçlerini izlemede de SAR'ın kullanımı önemlidir. Çölleşmeyle mücadele için alınan önlemlerin etkinliğini değerlendirmede SAR'ın sağladığı detaylı görüntüler önemli veri sağlar. Ayrıca, su düzeyi değişikliklerini izleme konusunda da SAR teknolojisi oldukça faydalıdır. Özellikle kıyı bölgelerindeki su seviyesindeki değişikliklerin izlenmesi, kıyı erozyonu veya deniz seviyesindeki yükselme gibi önemli çevresel olayların belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Bu örnekler SAR'ın çevresel değişim izleme alanında ne kadar değerli bir araç olduğunu göstermektedir. SAR'ın sağladığı detaylı ve kapsamlı görüntüler, çevresel değişimlerin izlenmesi ve anlaşılması için önemli bir kaynaktır ve bu da doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir bir çevrenin sağlanması için kritiktir (Ashry ve ark., 2020).

SAR teknolojisi, yüzeydeki değişiklikleri son derece hassas bir şekilde tespit edebilir ve zamanlama konusunda çok hassastır. Bu, özellikle depremler gibi doğal afetlerin ardından meydana gelen yer değiştirmeleri gibi ince değişimleri tespit etmek için son derece yararlıdır. Depremler gibi doğal afetlerin ardından meydana gelen yer değiştirmeleri, yer altı hareketlerinin yüzeye yansmasıyla ortaya çıkar (Wu ve Hou, 2021). SAR, bu tür değişimleri milimetre düzeyinde tespit edebilir ve zaman içindeki değişiklikleri izleyebilir. Bu, deprem sonrası hasarın belirlenmesi, toprak kaymaları veya kırıkların izlenmesi gibi kritik bilgilerin elde edilmesine yardımcı olur. Ayrıca, SAR'ın hassas zamanlama yetenekleri, tarım alanlarındaki toprak deformasyonlarını, su kaynaklarının seviyelerindeki değişimleri veya kıyı bölgelerindeki erozyonu izleme gibi çeşitli uygulamalarda da kullanılabilir. Bu, çevresel değişimlerin izlenmesi ve doğal kaynakların yönetilmesi için çok değerli bir araçtır. SAR'ın hassas zamanlama

yetenekleri, yüzeydeki ince değişimleri tespit etme ve izleme konusunda çok değerli bir araç sağlar. Bu özellik, çeşitli alanlarda doğal afetlerin izlenmesi, çevresel değişimlerin belirlenmesi ve kaynak yönetimi gibi önemli uygulamalarda kullanılabilir.

2.2.4. Uygulama Alanları ve Örnekler

SAR teknolojisi, farklı dalga boyundaki radyo dalgalarını kullanarak nesnelerin veya yüzey özelliklerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini oluşturmayı sağlayan gelişmiş bir radar sistemidir (Yamada ve Diğerleri, 2017). Bu teknoloji, optik sistemlerin işlev göremediği kötü hava koşulları veya gece gibi durumlarda bile yeryüzünün detaylı görüntülerini elde etmek için kullanılır. SAR teknolojisinin birçok uygulama alanı vardır ve çeşitli örneklerle bu alanlar daha iyi anlaşılabilir.

2.2.4.1. SAR Teknolojisinin Uygulama Alanları

SAR, özellikle uzaktan algılama teknolojisinde kullanılan gelişmiş bir sistemdir. SAR, yüzey özelliklerini günün her saati ve her türlü hava koşulunda tespit edebilme yeteneği ile ön plana çıkar (Chen ve Wang, 2014). SAR sistemleri, mikrodalga frekansında elektromanyetik dalgalar yayar. Bu dalgalar Dünya'nın yüzeyine çarpar ve yüzeyin özelliklerine bağlı olarak farklı şekillerde yansır. Yansıyan mikrodalga sinyalleri, radar tarafından toplanır. Bu toplanan veriler, yüzeyin yapısal özellikleri hakkında bilgi içerir. Toplanan veriler işlenerek, yüzeyin yüksek çözünürlüklü görüntüleri oluşturulur. Bu görüntüler, yüzeyin topografyasını, dokusunu ve diğer özelliklerini detaylı bir şekilde gösterir.

SAR teknolojisinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar, SAR'ı çeşitli alanlarda etkili bir araç haline getirmekte ve onu diğer algılama teknolojilerinden ayırmaktadır. SAR, yağmur, kar, sis ve bulut gibi kötü hava koşullarının görüşü engellenmesinden etkilenmez. Bu özellik, özellikle meteoroloji, doğal afet yönetimi ve çevresel izleme gibi alanlarda son derece yararlıdır. SAR sistemleri, gece veya gündüz fark etmeksizin çalışabilir. Bu, geleneksel görüntüleme sistemlerinin aksine, gece koşullarında bile yüzey bilgilerini toplayabilmesini sağlar. SAR, oldukça detaylı ve yüksek çözünürlüklü görüntüler üretebilir. Bu özellik, arazi yapısının ve yüzey özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesine olanak tanır. SAR sistemleri, geniş bir alanı kısa sürede tarama kapasitesine sahiptir. Bu, büyük coğrafi bölgelerin hızlı bir şekilde haritalanmasını ve izlenmesini sağlar (Wu ve Hou, 2021). SAR verileri, fiziksel özellikler ve yüzey değişiklikleri hakkında farklı türde bilgiler sağlar. Örneğin, nem seviyeleri, toprak türleri ve diğer çevresel özellikler hakkında değerli veriler elde edilir. SAR interferometrisi, çok zamanlı SAR görüntülerinden elde edilen faz bilgilerini kullanarak yüzeydeki çok küçük değişiklikleri (örneğin, yer hareketleri) tespit edebilir. Bu, özellikle deprem sonrası analiz ve kentsel yerleşim takibi gibi alanlarda kullanılır. SAR, askeri ve stratejik uygulamalar için de değerlidir. Sınır güvenliği, düşman hedeflerinin tespiti ve izlenmesi gibi konularda önemli bilgiler sağlar. Ormanların yok oluşu, erozyon ve diğer çevresel değişiklikler SAR kullanılarak etkili bir şekilde izlenebilir. Bu avantajlar, SAR teknolojisini özellikle zorlu koşullar altında veya kapsamlı izleme gerektiren durumlarda tercih edilen bir yöntem yapmaktadır.

2.2.4.1.1. Çevresel İzleme

SAR, çevresel izleme konusunda önemli bir araçtır ve birçok alanda kullanılabilir. SAR, ormanların izlenmesi ve korunmasında çok değerli bir araçtır. Orman kaybı ve değişiminin haritalanması, ağaç kesimi, orman yangınları gibi tehditlerin izlenmesi ve zararın değerlendirilmesi gibi konularda SAR verileri kullanılabilir. Ayrıca, SAR, orman alanlarının büyüklüğünü, dağılımını ve sağlığını değerlendirebilir. SAR, toprak erozyonu ve çölleşme süreçlerinin görselleştirilmesi ve analizinde etkili bir araçtır. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri, toprak kaybı ve değişikliklerini belirlemek ve erozyonun etkilerini izlemek için kullanılabilir. SAR, toprak nem seviyelerinin tespiti, sulak alanların ve su yollarının izlenmesi gibi su kaynaklarının yönetimi konusunda da önemli bir rol oynar. SAR verileri, su kaynaklarının durumunu izlemek, sulama yönetimini optimize etmek ve su kirliliğini tespit etmek için kullanılabilir. Bu uygulamaların hepsi, çevresel izleme ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından önemlidir. SAR teknolojisi, uzaktan algılama ve çevre bilimleri alanlarında kullanılan güçlü bir araçtır ve doğal ekosistemlerin izlenmesi, korunması ve sürdürülebilir yönetimi için önemli bir rol oynar (Wall ve Diğerleri, 2005).

2.2.4.1.2. Doğal Afet Yönetimi

SAR, doğal afet yönetimi açısından çok değerli bir araçtır ve birçok alanda kullanılabilir. SAR, sellerin izlenmesi ve analizinde önemli bir rol oynar. Yoğun yağışlar veya nehir taşkınları gibi etkenler nedeniyle oluşan sellerin haritalanması, sel riski taşıyan bölgelerin belirlenmesi ve su taşkınlarının etkilerinin değerlendirilmesi için SAR verileri kullanılabilir. SAR, yer kabuğu hareketlerinin ve deprem sonrası yüzey değişikliklerinin tespitinde kullanılabilir. Deprem sırasında veya sonrasında oluşan toprak deformasyonları, bina hasarı, yer hareketleri ve tsunamilerin etkileri gibi değişiklikler SAR verileriyle izlenebilir. SAR, potansiyel çığ ve heyelan bölgelerinin belirlenmesi ve izlenmesinde kullanılabilir. SAR görüntüleri, yamaç eğimleri, kar birikintileri ve diğer jeolojik faktörlerin analiziyle çığ ve heyelan riski taşıyan bölgelerin belirlenmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, SAR, çığ veya heyelan sonrası oluşan yüzey değişikliklerini de izleyebilir. Bu uygulamalar, doğal afetlerin izlenmesi, etkilerinin değerlendirilmesi ve afet yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemlidir. SAR, afet öncesi ve sonrası alanları tarayarak, hasarın boyutunu belirlemeye ve etkilenen alanları haritalamaya yardımcı olur (Wall ve Diğerleri, 2005). Bu bilgiler, acil müdahale ekiplerinin afet bölgelerine yönlendirilmesi, kurtarma operasyonlarının planlanması ve hasarın onarılması için kaynakların yönetilmesi gibi önemli kararların alınmasına yardımcı olur. SAR teknolojisi, hava koşullarından etkilenmeyen ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak, afetlerin izlenmesi ve müdahale süreçlerine katkıda bulunur (Aşçı, 2021). Bu da afetlerin etkilerinin azaltılması ve insanların güvenliğinin artırılmasına yardımcı olur.

2.2.4.1.3. Kentsel Planlama ve İzleme

SAR) kentsel planlama ve izleme alanında önemli bir araçtır ve birçok uygulama sunar. SAR, şehirlerin genişlemesini ve kentsel dönüşümü izlemek için kullanılabilir. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri, şehirlerin büyüme eğilimlerini, yeni yerleşim alanlarını, sanayi bölgelerini ve altyapı gelişimini izlemek için kullanılabilir. SAR, kritik

altyapı unsurlarının durumunu sürekli olarak izlemek için kullanılabilir. Köprüler, yollar, demiryolları, limanlar gibi kritik altyapıların deformasyonları, çatlakları veya hasarları SAR görüntüleriyle tespit edilebilir. Bu veriler, altyapı bakımı ve güvenliği açısından kritik olan yerlerin belirlenmesine ve uygun bakım veya onarımların planlanmasına yardımcı olur (Doerry, 2020). Bu uygulamalar, kentsel planlama ve altyapı yönetimi süreçlerini destekler ve kentlerin sürdürülebilir büyümesini ve gelişmesini sağlar. SAR teknolojisi, hava koşullarından etkilenmeyen ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak, kentsel alanlardaki değişiklikleri ve altyapı durumunu sürekli olarak izlemeyi mümkün kılar. Bu da kentsel gelişimin etkilerinin değerlendirilmesine ve uygun kararların alınmasına yardımcı olur. Bu teknoloji, kentsel alanlardaki nüfus artışı, arazi kullanımı değişiklikleri, altyapı projeleri ve çevresel etkiler gibi konularda karar vericilere önemli bilgiler sağlar ve kentsel yaşam kalitesini artırmak için stratejik planlamaya olanak tanır.

2.2.4.1.4. Tarım ve Arazi Kullanımı

SAR, tarım ve arazi kullanımı alanında önemli bir rol oynar ve çeşitli uygulamalar sunar. SAR, tarım arazilerinin izlenmesi ve sağlığının değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri, mahsul sağlığı, sulama ihtiyacı, toprak nem içeriği ve tarım arazilerinin kullanımı gibi konularda değerli bilgiler sağlar. Bu teknoloji, tarım uygulamalarında verimliliği artırmak, kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamak ve tarımsal riskleri azaltmak için çiftçilere ve tarım uzmanlarına değerli bir araç sunar. Bu veriler, tarım alanlarının yönetimi ve verimliliğinin artırılması için değerli bilgiler sunar. SAR, mahsul verimi ve sağlığı üzerine analizler yaparak tahminlerde bulunmak için kullanılabilir. SAR verileri, mahsul büyüme sürecini izler, mahsul yoğunluğunu belirler ve mahsul verimi üzerine tahminlerde bulunur (Öçer, 2020). Bu tahminler, tarım planlaması, hasat zamanlaması ve verimliliği artırma gibi amaçlarla kullanılabilir. Bu uygulamalar, tarım sektöründe verimliliği artırmak, kaynakları etkin bir şekilde kullanmak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek için önemlidir. SAR teknolojisi, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak tarım arazilerinin detaylı izlenmesini sağlar ve tarım yönetimi için değerli bir araçtır. Bu da tarımsal üretimde verimliliği artırabilir ve gıda güvenliği sağlanmasına katkıda bulunabilir.

2.2.4.1.5. Jeoloji ve Jeofizik Araştırmaları

Synthetic Aperture Radar (SAR), jeoloji ve jeofizik araştırmalarında önemli bir araçtır ve çeşitli uygulamalar sunar (Mehra ve Diğerleri, 2019). SAR, jeolojik yapıların ve maden yataklarının haritalanmasında kullanılır. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri, jeolojik katmanlar, fay hatları, kayaç yapıları ve maden yataklarının belirlenmesine yardımcı olur. Bu veriler, madencilik endüstrisi için potansiyel maden rezervlerinin keşfedilmesi ve izlenmesi açısından değerlidir. SAR, volkanik aktivitenin izlenmesinde kullanılır. Volkanik bölgelerdeki yer kabuğu hareketleri, lav akışları, volkanik konilerin değişimi ve diğer volkanik aktiviteler SAR verileriyle izlenebilir. Bu veriler, volkanik patlamaların önceden tespit edilmesine ve volkanik risklerin yönetilmesine yardımcı olabilir. Bu uygulamalar, jeoloji ve jeofizik araştırmalarında kullanılan geleneksel yöntemlere ek olarak SAR'ın sağladığı avantajları içerir. SAR teknolojisi, yüksek çözünürlüklü ve geniş kapsamlı görüntüler sağlayarak jeolojik

yapıların ve volkanik aktivitelerin detaylı bir şekilde izlenmesini sağlar (Wilmanski ve Diğerleri, 2016). Bu da doğal kaynakların keşfedilmesi, jeolojik risklerin belirlenmesi ve doğal afetlerin izlenmesi gibi birçok alanda önemli katkılar sağlar. Jeodezik açıdan yapılan bir çalışma; zengin yeraltı kaynakları sebebiyle Zonguldak'ta aktif olan madencilik faaliyetleri nedeniyle meydana gelen yeryüzünde oluşan deformasyonlarının tespitidir (Şanlı, 2012).

2.2.4.1.6. Askeri ve Güvenlik Uygulamaları

SAR, askeri ve güvenlik uygulamalarında önemli bir rol oynar ve çeşitli alanlarda kullanılır. SAR, sınırların ve stratejik bölgelerin sürekli izlenmesinde kullanılır. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri, sınır bölgelerindeki faaliyetleri, sınıra yakın tesisleri ve sınıra yaklaşan kişileri izlemek için kullanılabilir. Bu veriler, sınır güvenliği ve gözetimi için erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olur. SAR, askeri tesislerin ve hareketlerin gizli bir şekilde gözlemlenmesinde kullanılabilir. Gece ve kötü hava koşullarında dahi yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilen SAR, gizli operasyonlar sırasında düşman faaliyetlerini izlemek ve değerlendirmek için etkili bir araçtır (Adamo ve Diğerleri, 2010). Ayrıca, düşman tesislerinin tespiti ve izlenmesinde de kullanılabilir. Bu uygulamalar, askeri istihbarat toplama, sınır güvenliği ve stratejik alanların izlenmesi gibi konularda önemlidir. SAR teknolojisi, yüksek çözünürlüklü ve geniş kapsamlı görüntüler sağlayarak askeri operasyonların planlanması ve yürütülmesinde kritik bir rol oynar. Bu da askeri güçlerin etkinliğini artırabilir ve ulusal güvenliğin sağlanmasına katkıda bulunabilir.

SAR, askeri istihbarat ve gözetleme operasyonlarında çok önemli bir rol oynar. Geleneksel optik sistemlerin aksine, SAR aktif radar kullanır ve bu da ona gece ve gün boyunca, hava koşullarından etkilenmeden çalışabilme yeteneği verir. Bu özellikle bulut örtüsü altında veya gece operasyonlarında önemlidir (Gökçay, 2009). SAR, yüksek çözünürlüklü görüntüler üretebilir ve bu da düşman birliklerinin yerleşimini, hareketlerini ve askeri tesislerini detaylı bir şekilde izlemeyi mümkün kılar. Ayrıca, yüksek penetrasyon gücü sayesinde, yer altı tesislerini ve hatta binaların içindeki yapıları dahi tespit edebilir. Örneğin, NASA'nın UAVSAR (Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar) programı, yer altındaki boşlukları ve tünelleri belirlemek için kullanılmıştır (NASA). Bu özellikler, askeri stratejilerin planlanması, hedef belirleme ve izleme, sınır güvenliği ve kurtarma operasyonları gibi birçok alanda SAR'ın etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar (Mehra ve Diğerleri, 2019).

2.2.4.1.7. Bilimsel Araştırmalar

SAR, bilimsel araştırmalarda çeşitli alanlarda kullanılan güçlü bir araçtır. SAR, atmosferin üst katmanlarında bulunan gazlar ve partiküllerin incelenmesinde kullanılabilir. SAR verileri, atmosferik koşulları izlemek, hava kirliliği düzeyini belirlemek ve atmosferdeki değişiklikleri incelemek için kullanılabilir. Özellikle SAR interferometrisi, atmosferik deformasyonların tespitinde ve atmosferik basınç, sıcaklık ve nem gibi parametrelerin belirlenmesinde kullanılabilir. SAR, küresel iklim değişikliğinin izlenmesinde önemli bir rol oynar. Özellikle kutup bölgelerindeki buzulların erimesi ve deniz seviyesindeki değişikliklerin izlenmesinde SAR verileri kullanılır. SAR

görüntüleri, buzul hareketleri, buzul erimesi, deniz buzlarının incelenmesi gibi fenomenleri izlemek ve küresel iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu uygulamalar, SAR teknolojisinin atmosfer ve iklim bilimleri alanındaki potansiyelini göstermektedir (Zhu ve Diğerleri, 2021). SAR, uzaktan algılama yöntemleri arasında atmosferik ve iklim değişikliklerinin izlenmesi için önemli bir araçtır ve bu alanlarda daha fazla araştırma ve keşif için büyük potansiyel sunmaktadır.

2.2.4.1.8. Arkeoloji

SAR teknolojisi arkeolojik çalışmalarda önemli bir rol oynar. Gömülü veya toprak altındaki arkeolojik kalıntıların tespiti ve belirlenmesi için SAR'ın kullanımı giderek daha yaygın hale gelmektedir (Zhu ve Diğerleri, 2021). SAR, yüksek çözünürlüklü radar görüntülerini kullanarak toprak altındaki yapıları ve özellikleri görüntüleyebilir. Bu özellikle, eski yerleşim alanlarının, antik yapıların, gömü alanlarının ve diğer arkeolojik kalıntıların tespiti ve haritalanması için çok değerlidir. SAR'ın penetrasyon gücü, yeraltındaki yapıları ve objeleri görebilme yeteneği sayesinde, arkeologlara toprak altındaki yapıların yerini belirleme ve kazı alanlarını daha etkili bir şekilde belirleme konusunda yardımcı olur. Bu, arkeolojik çalışmaların daha verimli ve kapsamlı olmasını sağlar ve tarih öncesi veya antik dönemlere ait bilgilerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur (Boyoğlu ve ark., 2024).

2.2.4.2. SAR Teknolojisine Sahip Uydu Örnekleri

Sentinel-1 Uyduları:

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen Sentinel-1 uyduları, SAR teknolojisini kullanarak dünya çapında çeşitli çevresel ve güvenlikle ilgili görevlerde önemli bir rol oynarlar (Zoraya ve Bolaños, 2020). Bu uydular, çevre koruma, doğal afet izleme, kentsel planlama, tarım izleme gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılır. Sentinel-1 uyduları, yüksek çözünürlüklü radar görüntüleri toplarlar ve bu sayede dünya yüzeyindeki değişiklikleri ve olayları izlemeye olanak tanır. Özellikle çevre koruma ve doğal afetlerin izlenmesi gibi alanlarda, Sentinel-1 uydularının SAR yetenekleri, hava koşullarından etkilenmeyen ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme imkanı sunması nedeniyle büyük bir avantaj sağlar. Bu uydular, ormansızlaşma, su kaynaklarının izlenmesi, buzulların erimesi, depremler, sel ve heyelan gibi doğal afetlerin izlenmesi gibi çevresel ve güvenlikle ilgili birçok alanda bilgi sağlarlar. Bu bilgiler, çevre koruma ajansları, kurtarma ekipleri, şehir planlamacıları ve diğer paydaşlar için önemli karar alma süreçlerine katkıda bulunur (Arca,2012).

TerraSAR-X:

TerraSAR-X, Almanya'nın geliştirdiği bir uydu olup yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri sağlar. Bu uydu, özellikle kentsel gelişim, arkeolojik araştırmalar ve çevre gözetimi gibi alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. TerraSAR-X'in yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri, şehirlerin büyüme eğilimlerini, altyapı değişikliklerini, yapılaşma durumunu ve diğer kentsel özellikleri izlemek için kullanılır. Ayrıca, arkeolojik araştırmalarda toprak altındaki yapıların tespiti ve belirlenmesi için de kullanılabilir.

Çevre gözetimi ve doğal kaynakların izlenmesi açısından da TerraSAR-X'in görüntüleri değerlidir. Ormansızlaşma, su kaynaklarının yönetimi, doğal habitatların izlenmesi gibi çevresel konuların takibi için kullanılabilirler. TerraSAR-X gibi uydu sistemleri, dünya çapında birçok uygulama alanında önemli bir rol oynar ve bilim insanları, araştırmacılar ve karar vericiler için değerli veriler sağlarlar. (Chen ve Wang, 2017).

Capella Space:

Capella Space, özel bir şirket olarak ticari SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) uydularını işletir ve dünya çapında güncel ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sunar. Şirketin sunduğu bu görüntüler, özellikle güvenlik, savunma ve stratejik planlama gibi alanlarda değerli bilgiler sağlar. Capella Space'in SAR uyduları, hava koşullarından etkilenmeyen ve her zaman aktif çalışabilen özelliklere sahiptir (Konuslu ve Diğerleri, 2016). Bu da istikrarlı ve güvenilir bir görüntüleme sağlar. Yüksek çözünürlüklü görüntüler, askeri stratejilerin planlanması, hedef belirleme, askeri tesislerin izlenmesi gibi savunma amaçlı uygulamalarda kullanılabilir. Ayrıca, Capella Space'in sunduğu görüntüler, sınır güvenliği izleme, deniz ve kara taşımacılığı izleme, acil durum müdahaleleri ve afet yönetimi gibi alanlarda da kullanılabilir. Bu tür uygulamalar, hızlı ve doğru karar alma süreçlerini destekleyerek güvenlik ve kamu güvenliği açısından önemli bir rol oynar (Kaynarca ve Demir, 2018). Capella Space gibi ticari SAR uydusu işleten şirketler, özellikle devletlerin veya büyük kuruluşların kendi uydu ağlarını kurmak yerine, uydu görüntülerine erişim sağlamak için önemli bir alternatif oluştururlar. Bu da daha geniş bir kullanıcı kitlesine yüksek çözünürlüklü SAR görüntülerinin ulaşılabilirliğini artırır.

ALOS (Advanced Land Observing Satellite) uyduları:

ALOS, Japon Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından geliştirilen ve işletilen bir uydu serisidir. İlk uydu, ALOS-1 (Daichi), 24 Ocak 2006 tarihinde fırlatılmış ve Nisan 2011'e kadar görev yapmıştır. ALOS-1'in ana yükleri arasında PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) ve AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) bulunmaktaydı. Bu yükler, dünya yüzeyini yüksek çözünürlüklü görüntülerle gözlemleme, doğal afetler sonrası hasar tespiti, haritalama ve kaynak yönetimi gibi uygulamalarda kullanıldı. ALOS-2 (Daichi-2), 24 Mayıs 2014 tarihinde fırlatılmış ve daha yüksek çözünürlük ve hızda veri iletimi sağlamıştır. Ana yükü PALSAR-2, geliştirilmiş L-band sentetik açıklıklı radar sistemi olup, daha yüksek çözünürlük ve hassasiyet sunmaktadır. Gelecekteki ALOS-3 misyonu ise yüksek çözünürlüklü optik görüntüleme sensörüne sahip olacak ve önceki ALOS uydularının görevlerini genişletecektir. ALOS uyduları, doğal afet yönetimi, haritalama ve coğrafi bilgi sistemleri, kaynak yönetimi ve çevresel izleme gibi birçok alanda önemli katkılar sağlamaktadır. Bu uydular, yüksek çözünürlüklü ve hassas veriler sağlayarak birçok alanda önemli katkılar sağlamaktadır (Tadono, 2004).

2024 yılında aktif olan RADAR/SAR uyduları ve bant özellikleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. 2024 yılında aktif olan RADAR Uyduları

Uydu Adı	Ülke/Organizasyon	Bant	Başlatma Tarihi	Ana Uygulamalar
Sentinel-1A	ESA	C-bandı	2014	Çevresel izleme, afet yönetimi (https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-1)
ALOS-2 (Daichi-2)	JAXA	L-bandı	2014	Topografya, haritalama, afet izleme (https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/overview.htm)
RISAT-1A	ISRO	C-bandı	2022	Tarım, ormancılık, güvenlik (https://www.isro.gov.in/RISAT_1.html)
RISAT-2B	ISRO	X-bandı	2019	Tarım, ormancılık, güvenlik (https://www.eoportal.org/satellite-missions/risat-2)
RADARS AT-2	CSA	C-bandı	2007	Deniz buzu, kar örtüsü, tarım, ormancılık, çevresel izleme (https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat)
RADARS AT Constellation Mission (RCM)	CSA	C-bandı	2019	Daha hızlı ve geniş kapsamlı radar görüntüleme (https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat)
Gaofen-3	CNSA	C-bandı	2016	Denizcilik, afet izleme, çevresel izleme (https://www.eoportal.org/satellite-missions/gaofen-1)
Huanjing-1C	CNSA	S-bandı	2012	Çevresel izleme, afet yönetimi (https://www.eoportal.org/satellite-missions/hj-1)
COSMO-SkyMed	ASI	X-bandı	2007-2010 (4 uydu)	Doğal afetler, çevresel izleme, güvenlik (https://www.eoportal.org/satellite-missions/cosmo-skymed)
TerraSAR-X	DLR	X-bandı	2007	Yüksek çözünürlüklü radar görüntüleme, DEM oluşturma (https://earth.esa.int/eogateway/missions/terrasar-x-and-tandem-x)

Çizelge 2.1. devamı

TanDEM-X	DLR	X-bandı	2010	Yüksek çözünürlüklü radar görüntüleme, DEM oluşturma (https://earth.esa.int/eogateway/missions/terrasar-x-and-tandem-x)
KOMPSAT-5	KARI	X-bandı	2013	Çevresel izleme, doğal kaynak yönetimi, güvenlik (https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5)
GOES-16	NOAA	L-bandı	2016	Hava durumu izleme, çevresel izleme (https://www.noaasis.noaa.gov/GOES/goes_overview.html)
GOES-18	NOAA	L-bandı	2022	Hava durumu izleme, çevresel izleme (https://www.noaasis.noaa.gov/GOES/goes_overview.html)

2.3. Interferometrik SAR (InSAR) Teknikleri

Interferometrik SAR (InSAR) teknikleri, yeryüzünün haritalarını oluşturmak ve yüzey hareketlerini izlemek için kullanılan gelişmiş SAR uygulamalarıdır. Bu teknikler, iki veya daha fazla SAR görüntüsünün kombinasyonu yoluyla elde edilen faz farklarını analiz ederek yeryüzünde zaman içindeki değişiklikleri saptar (Onat ve Özkazanç, 2020). InSAR, özellikle yer kabuğu hareketleri, depremler, volkanik aktiviteler ve diğer jeolojik olayların izlenmesinde kullanılır.

2.3.1. Diferansiyel Interferometrik SAR (DInSAR)

DInSAR, iki farklı zamanda alınan SAR görüntülerinin faz bilgilerini karşılaştırarak yüzey deformasyonlarını ölçmek için kullanılır. Bu teknik, özellikle kısa süre içinde meydana gelen yer hareketlerini, örneğin depremler ve yer çökmesi gibi olayları tespit etmek için idealdir (Bamler, 1998).

2.3.2. Uygulama Alanları

2.3.2.1. Deprem Sonrası Yer Değiştirme Analizi

DInSAR, depremler gibi yer hareketlerini izlemek ve haritalamak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, SAR görüntülerinin farklarını kullanarak yüzeydeki yer değişimlerini tespit eder. DInSAR, özellikle büyük depremlerin neden olduğu yer hareketlerini, yer altı fay hatlarının hareketini ve yerel deformasyonları haritalamak için kullanılır. İki farklı zaman diliminde alınan SAR görüntülerinin farkı hesaplanarak, yer yüzeyindeki yer değişimleri (örneğin, kırık hatlar boyunca yer değişimi veya zemin yükselmesi veya alçalması gibi) hassas bir şekilde belirlenebilir. Bu teknik, depremlerin etkilerini belirlemek, fay hatlarının hareketini izlemek ve riskli bölgeleri tanımlamak için

önemli bir araçtır. Ayrıca, afet yönetimi ve risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi için de önemli veriler sağlar. DInSAR, uzaktan algılama ve jeodezi alanlarında kullanılan gelişmiş bir analiz tekniği olup, deprem analizi ve doğal afetlerin etkilerinin değerlendirilmesi gibi birçok uygulama alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Richards, 2014).

Yapılan bir çalışmada, 12 Kasım 2017 tarihinde İran-Irak sınırında Halepçe bölgesinde meydana gelen 350 kişinin ölümüne, 2500 kişinin yaralanmasına neden olan 7.2 büyüklüğündeki depremin etkilerini DInSAR teknikleriyle incelemişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan Sentinel-1 verilerini ve yine bu verileri işlemek için de ESA tarafından ücretsiz sunulan SNAP görüntü işleme ve analiz yazılımı kullanmışlardır (ESA, 2021). Çalışma sonucunda elde edilen interferometre sonucuna göre, bölgede deprem kaynaklı-0.45 m ile 0.49 m arası bir deformasyon tespit edilmiştir (Gunce ve San,2018).

İnterferometri tekniği kullanılarak, İmamoğlu ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada Bolvadin’de meydana gelen, genel bir jeodezik olay olan zemin kayması incelenmiştir ve bölgenin meydana gelen zamansal olarak yer değiştirme miktarları elde edilmiştir (İmamoğlu ve ark., 2020).

Jeodezik açıdan yapılan diğer bir çalışma ise zengin yeraltı kaynakları sebebiyle Zonguldak’ta aktif olan madencilik faaliyetleri nedeniyle meydana gelen yeryüzünde oluşan deformasyonlarının tespiti (Şanlı, 2012).

Günümüz sorunlarından olan iklim değişikliğinin artması sonucunda buzulların erimesi ile buzullarda meydana gelen deformasyonların tespiti de İnterferometri tekniği ile yapılabilmektedir (Kutoğlu ve ark., 2014).

2021 yılının mart ayında yapılan bir çalışmada Sentinel-1 uydu verisi ile deprem kaynaklı yüzey çökme analizi yapılmıştır. Çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fay Hattında bulunan Elâzığ-Sivrice, Malatya-Doğanyol ve Malatya-Pütürge bölgeleri seçilmiştir. Bu bölgelerden alınan görüntüler doğrultusunda deprem deformasyonları belirlenmiş ve gelecekte olası büyük deformasyon alanları hakkında tahminlerde bulunulmuştur. Bu çalışma sonucunda 4 Ocak 2020 ve 4 Mart 2020 tarihler arasında elde edilen verilerde +26 cm ile -17 cm çökme değerleri, 14 Haziran 2019 ile 8 Haziran 2020 tarihlerindeki verilerde ise +32 cm ile -19 cm çökme değerleri tespit edilmiştir (Karshoğlu ve ark., 2021).

SAR verisinin özellikleri kullanılarak geliştirilen DInSAR tekniği ile Konya ilinin Karapınar ilçesi için yapılan bölgesel çökme analizinde, ortalama çökmenin 5-10 cm/yıl, maksimum çökmenin ise 23,7 cm/yıl olduğu tespit edilmiştir. Çökme oluşumlarına genellikle depremler sebep olsa da çalışma alanına bakılarak yer altı sularının bilinçsiz kullanımı ve madencilik gibi başka koşullarında bu oluşuma sebep olabileceği göz önüne alınmıştır (Karshoğlu, 2020).

24 Ocak 2020 Sivrice Depremi'nin merkez üssü ve çevresinin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışma, önemli bulgular ve sonuçlar ortaya koymuştur. InSAR analizleri, deprem sırasında meydana gelen yer değiştirmeleri ayrıntılı bir şekilde ortaya koymuş, batıya doğru 1 metreye kadar ve doğuya doğru 0,5 metreye kadar yatay yer değiştirmeler ile -30 cm ile 30 cm arasında değişen dikey yer değiştirmeler tespit edilmiştir. Merkez üssü konumlarının zaman içindeki değişimleri, farklı bloklar üzerinde yer almaları nedeniyle tutarlı bir desen göstermemiştir. Çalışmada, InSAR ve hava fotogrametrisi

kullanılarak belirlenen merkez üslerinin çoğunun diğer sismik verilerle uyumsuz olduğu ve sismik coğrafi verilerin mevcut kırık verileri ile manuel veya yapay zekâ araçları kullanılarak gözden geçirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Yürür ve ark, 2023).

2.3.2.2. Toprak Kayması İzleme

Diferansiyel İnterferometrik SAR (DInSAR), toprak kayması gibi yüzey hareketlerini izlemek için önemli bir araçtır. Bu teknik, SAR görüntülerinin farklarını analiz ederek yüzeydeki yer değişimlerini tespit eder. Toprak kayması alanlarında, toprak yüzeyinin sürekli izlenmesi önemlidir çünkü bu tür olaylar ani ve genellikle önceden tahmin edilemezdir (Charvat ve Diğerleri, 2012). DInSAR, iki farklı zaman diliminde alınan SAR görüntülerinin farkını hesaplayarak yüzeydeki değişiklikleri tespit eder. Bu sayede, toprak kayması bölgelerindeki yüzey hareketleri sürekli olarak izlenebilir ve potansiyel riskler belirlenebilir. DInSAR, toprak kayması izleme ve analizinde çok faydalıdır çünkü uzaktan algılama yöntemi kullanılarak geniş alanlar etkin bir şekilde taranabilir. Bu, toprak kayması riski taşıyan bölgelerin tanımlanmasını, yerel yönetimlerin uygun önlemleri almasını ve afet risklerini azaltıcı stratejilerin geliştirilmesini sağlar. Toprak kayması izleme ve analizi, DInSAR gibi teknolojilerin kullanımıyla giderek daha etkin hale gelmektedir ve bu, afet önleme ve afet yönetimi açısından önemli bir adımdır.

2.3.2.3. Altyapı İzleme

DInSAR, büyük yapıların sağlık durumunu izlemek için önemli bir araçtır. Bu yapılar arasında barajlar, köprüler, tüneller gibi kritik altyapı unsurları bulunur. DInSAR, SAR görüntülerinin farklarını analiz ederek yapıların yüzeyindeki değişiklikleri tespit eder. Büyük yapılar genellikle çevresel faktörler, yer hareketleri veya yapısal bozulmalar gibi nedenlerle değişebilir veya hasar görebilir. DInSAR, bu tür değişiklikleri tespit ederek yapıların sağlık durumunu izlemeye yardımcı olur (Wei ve Diğerleri, 2011). Özellikle barajlar gibi su yapıları için, DInSAR uzaktan algılama yöntemiyle yapısal deformasyonları ve yer hareketlerini izleyerek potansiyel güvenlik risklerini belirlemede önemli bir rol oynar. Köprüler ve tüneller gibi ulaşım altyapısı için de aynı şekilde, DInSAR yapıların sağlık durumunu sürekli olarak izlemek ve gerekirse bakım veya onarımları planlamak için kullanılır. DInSAR'ın altyapı izleme yetenekleri, büyük yapıların güvenliğinin sağlanması ve uzun vadeli bakım stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritiktir. Bu teknoloji, altyapı mühendisleri ve yöneticileri için önemli bir araçtır ve yapısal güvenliği sağlamak için etkin bir şekilde kullanılabilir.

2.3.3. Sabit Yansıtıcılara Dayalı İnterferometre (Persistent Scatterer Interferometry, PSI)

PSI, yüzey hareketlerini sabit yansıtıcılar (yüzeyler) yardımıyla izleyen, interferometre tekniğidir; ikinci nesil InSAR olarak da bilinir (Ferretti, 2001).

PSI, uzun bir zaman dilimi boyunca elde edilen çok sayıda SAR görüntüsünden faydalanan daha kapsamlı ve sürekli yüzey hareketi analizi yapar. Bu yöntem, yüzey hareketlerinin çok küçük ölçeklerde ve uzun süreçlerde izlenmesine olanak tanır, böylece çok yavaş değişimler bile tespit edilebilir (Hooper, 2012).

PSI, uydu bazlı çoklu radar görüntülerinin analizi yardımıyla, yeryüzünde meydana gelen deformasyonların yüksek doğrulukla ölçülmesine imkân sağlayan gelişmiş bir InSAR teknolojisidir. Bu teknikle, belirli bir zaman farkında hesaplanan sinyal faz değişimleri sabit radar yansıtıcıları kullanılarak ölçülür. PSI tekniği, birden fazla ham SLC formatında elde edilmiş SAR verilerinden üretilen çoklu interferogramları esas alır. (Ferretti ve ark., 2000; Hanssen, 2001) Elde edilen interferogramlar çeşitli sayısal ve istatistiksel analizlere tabi tutularak, olası bazı belirsizliklerden arındırılmaya çalışılır. Sinyal fazındaki atmosferik bozulma veya farklı bitki örtüsü, erozyon ya da ters geometri edinimi gibi diğer bozucu etkenlerin tanınması ve kaldırılması için bu analizlerin yapılması şarttır. Böylesi bir arındırma sayesinde, yer değiştirme büyüklükleri güvenli bir biçimde tahmin edilebilmektedir. InSAR ölçümleri topografya, yer (zemin) hareketi, atmosferik koşullar, uydular arasındaki konumsal farklılıklar ve yerin elektriksel özellikleri gibi etkenlere karşı duyarlıdır. Bu faktörler, PSI tekniğinin matematiksel temelini oluşturur (Ferretti ve diğ., 2001; Colesanti ve diğ., 2003). InSAR faz gözlemleri, genellikle ortalama değişimleri temsil ederken, geri kalanlar genellikle gürültü olarak kabul edilir. Araştırma alanına bağlı olarak, faz denklemi bileşenleri farklı şekillerde yorumlanabilir. Örneğin, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturmayı amaçlıyorsak, deformasyon genellikle gürültü olarak kabul edilirken, ters bir senaryoda, yer değişimi incelenirken topografik faz bileşeninin gözlemlerden çıkarılması gerekebilir (Bamler, 2001).

PSInSAR tekniği ile yapılan ölçümlerin hassasiyetini etkileyen üç temel faktör bulunmaktadır (Hooper ve diğ., 2004):

- Yetersiz görüntü sayısı,
- Seçilen PS (Persistan Scatterer) noktalarının hareketliliği,
- PS'nin referans noktasına olan uzaklığının fazlalığı.

Her PS için hesaplanan ortalama yer değiştirme oranı, o noktaya ilişkin korelasyon düzeyiyle birlikte anlamlılık kazanır. PSI sonuçları genellikle doğruluk; işlenen veri setlerinin kalitesine (görüntü edinim frekansına bağlı olarak) ve referans noktasına olan uzaklığa bağlı olarak yılda 0.1 ila 1 mm arasında değişmektedir (Hooper ve diğ., 2004).

PS uygulamalarının esas prensibine dayanarak, çoklu interferometre uygulamalarında, görüntü çiftlerinden elde edilen interferogramların bir zaman serisi olacak şekilde eşleştirilmesi için geliştirilmiş birçok farklı algorithmadan bahsedilebilir. Bu farklı yaklaşımlardan birçoğu, uygulama alanı ve deformasyon türüne göre tasarlanmıştır.

2.3.3.1. Uygulama Alanları

PSI, yer yüzeyindeki deformasyonları izleyerek depremler, yeraltı hareketleri, volkanik aktiviteler gibi jeolojik olayların etkilerini izler. Ayrıca, madencilik faaliyetleri, yeraltı suyu çekilmesi gibi insan kaynaklı aktivitelerin neden olduğu arazi deformasyonlarını da izleyebilir. PSI, doğal afetlerin izlenmesinde ve yönetiminde önemli bir rol oynar. Depremler, volkanik patlamalar, toprak kaymaları gibi afetlerin etkilerini izleyerek acil müdahale ekiplerine ve yerel yönetimlere değerli bilgiler sağlar. Yer yüzeyindeki su kaynaklarının izlenmesi ve yönetilmesi açısından PSI önemlidir. Yeraltı suyu seviyelerindeki değişimleri izleyerek su kaynaklarının yönetimi konusunda

bilgi sağlar (Ganveer ve Diğerleri, 2016). Büyük şehirlerdeki kentsel gelişim, altyapı değişiklikleri ve yapıların sağlık durumunun izlenmesi PSI ile yapılabilir. Özellikle köprüler, barajlar, tüneller gibi kritik altyapı unsurlarının izlenmesi ve bakımının planlanması için PSI önemlidir. Tarım arazilerinin ve ormanlık alanların izlenmesi, toprak kullanımı değişikliklerinin takibi ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından PSI kullanılabilir. PSI, uzaktan algılama ve jeodezi alanlarında kullanılan gelişmiş bir analiz tekniği olup, birçok uygulama alanında değerli bilgiler sağlar.

PSI tekniği kullanılarak yapılan bir çalışmada ise Hindistan, Yeni Delhi'nin zemin çökme analizi yapılmıştır. Bu çalışma doğrultusunda Sentinel-1A verileri kullanılarak gözlemlenen yer değiştirmenin -2 ila 16mm/y olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda PSI, SAR sensörünün zaman serisi verilerini kullanarak yüzey hareketini algılamak için oluşturulmuş hassas bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır (Malik,2022).

2.4. Yüzey Yer Değiştirme Sebepleri ve Etkileri

2.4.1. Yüzey Yer Değiştirme

Yüzey deformasyonu, Dünya'nın yüzeyinde veya yakın yüzeyinde meydana gelen her türlü şekil, konum veya hacim değişikliğini ifade eder. Bu değişiklikler doğal süreçler veya insan faaliyetleri sonucunda olabilir ve genellikle yüzeyin çökmeleri, kabarmaları, yarılması veya yüzey şekillerinin diğer değişiklikleri şeklinde görülür. Yüzey deformasyonu jeoloji, jeofizik ve mühendislik gibi alanlarda önemli bir konudur çünkü bu değişiklikler yerleşim yerleri, altyapılar, çevre ve doğal kaynaklar üzerinde ciddi etkilere sahip olabilir. Yüzey deformasyonunun bilimsel incelemesi, jeoloji ve jeofizik bilimlerinin gelişimiyle yakından ilişkilidir (Cheng ve Diğerleri, 2006). Modern teknikler ve anlayışlar, 20. yüzyılın başlarından itibaren, özellikle levha tektoniği teorisinin kabulüyle (1960'lar) ve uydu tabanlı gözlem teknolojilerinin gelişimiyle büyük bir ivme kazanmıştır (Sol, 1991-1992-1993).

İnsanlar, yeryüzü şekillerinin ve değişikliklerinin farkında olsalar da, bu süreçlerin nedenleri hakkında bilimsel bir anlayışa sahip değillerdir. Antik Yunan ve Roma'daki filozoflar, depremlerin ve volkanların nedenlerini çeşitli doğaüstü açıklamalarla yorumlamaya çalışmışlardır. Jeolojik süreçlerin daha sistemli bir şekilde incelenmeye başlandığı bir dönemdir (Mehra ve Diğerleri, 2019). Bu dönemde, yüzey deformasyonlarının ve yer hareketlerinin daha detaylı haritaları çıkarılmaya başlanmıştır. Tektonik levhaların keşfi ve yer hareketlerinin küresel dinamiklerle açıklanması, yüzey deformasyonu çalışmalarında çığır açan bir gelişme olmuştur. GPS ve diğer uydu tabanlı izleme sistemlerinin devreye girmesiyle, deformasyonlar çok daha hassas bir şekilde ölçülmeye ve anlaşılmaya başlanmıştır. İleri uydu teknolojileri, bilgisayar modelleri ve sensör ağlarının entegrasyonu ile yüzey deformasyonları, gerçek zamanlı ve çok detaylı olarak izlenebilmekte ve analiz edilebilmektedir. Bu teknolojiler sayesinde, özellikle risk yönetimi ve erken uyarı sistemleri geliştirilmiştir. Yüzey deformasyonunun tarihçesi, bilimsel tekniklerin ve teorilerin gelişimiyle doğrudan ilişkilidir ve bu süreç, jeolojik ve çevresel olayları anlamada devrim yaratmıştır (Chen ve Wang, 2014).

2.4.2. Doğal Sebepler

Yüzey deformasyonunun doğal sebepleri geniş bir yelpazeye yayılır ve Dünya'nın jeolojik, hidrolojik ve atmosferik süreçlerine bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Doerry, 2020). Bu doğal süreçler, yüzey şekillerinin ve yeryüzü yapısının zamanla değişimine neden olur. Doğal sebepler alt başlıklar halinde aşağıda ifade edildiği gibidir.

2.4.2.1. Tektonik Hareketler

Yüzey deformasyonu, doğal sebeplerden kaynaklanan birçok faktörün sonucunda ortaya çıkar. Dünya'nın litosferi, bir dizi büyük ve küçük tektonik levhaya bölünmüştür. Bu levhalar, astenosfer üzerinde yüzer ve zamanla hareket ederler. Levhaların çarpışmaları, kaymaları ve ayrılması sonucunda fay hatları boyunca yüzeyde deformasyonlar meydana gelir (Konuşlu ve Diğerleri, 2016). Örneğin, iki levhanın birbirine çarpması sonucu ortaya çıkan kıvrımlar ve dağ oluşumları gibi büyük ölçekli deformasyonlar meydana gelebilir. Tektonik levhaların birbirlerine göre hareket etmesi sonucu enerji birikir. Bu birikmiş enerji, levhalar arasındaki gerilmenin aniden serbest bırakılmasıyla depremlere neden olur. Depremler, yer kabuğunda ani hareketler ve yüzey kırılmaları şeklinde meydana gelir. Bu kırılmalar ve yer değişimleri, yüzeyde belirgin deformasyonlara neden olabilir ve çevredeki yapıları etkileyebilir. Bu doğal süreçler, dünya yüzeyinde sürekli olarak değişikliklere neden olur ve jeolojik formasyonların oluşumunda önemli bir rol oynar. Yüzey deformasyonu, levha tektoniği ve depremler gibi doğal süreçlerin sonucunda ortaya çıkar ve jeolojik olarak zengin bir çeşitlilik oluşturur. Bu süreçlerin anlaşılması, jeolojik risklerin belirlenmesi ve önlenmesi için önemlidir (İlerisoy, 2022).

2.4.2.2. Volkanik Aktiviteler

Yüzey deformasyonu, volkanik aktivitelerin bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. Yer kabuğunun altında bulunan magma odalarında biriken magma, yer kabuğu üzerinde basınç oluşturarak yüzeye doğru hareket edebilir. Bu magma hareketleri, yüzeyde kabarmalara, kubbe oluşumlarına ve çatlaklara neden olabilir. Özellikle magmanın yüzeye doğru hareket ettiği durumlarda, yüzeyde belirgin deformasyonlar meydana gelebilir. Volkanik patlamalar, genellikle büyük miktarda lav, kül ve diğer volkanik materyallerin yüzeye çıkmasıyla gerçekleşir (Ding ve Diğerleri, 2018). Bu patlamalar, çevredeki yüzey yapılarında ciddi değişimlere ve deformasyonlara yol açabilir. Özellikle büyük patlamalar, kraterlerin oluşumu, volkanik konilerin büyümesi ve çevredeki arazinin şekillenmesi gibi belirgin yüzey deformasyonlarına neden olabilir. Bu volkanik aktiviteler, yüzeyde önemli ölçüde deformasyon ve değişikliklere yol açabilir. Yüzeydeki bu değişiklikler, volkanik faaliyetlerin izlenmesi ve anlaşılması için önemlidir. Ayrıca, volkanik risklerin belirlenmesi ve yerel toplulukların güvenliği için bu tür aktivitelerin izlenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir.

2.4.2.3. Erozyon ve Sedimentasyon

Doğal yüzey deformasyonu, erozyon ve sedimentasyon gibi süreçlerin etkisiyle oluşabilir. Nehirler, yağmur suyu ve seller gibi su akışları, toprak ve kaya malzemelerini aşındırır ve taşır. Bu süreçler, yüzeyde derin vadilerin oluşmasına, toprak kaymalarının meydana gelmesine ve yüzey şekillerinin değişmesine neden olabilir. Özellikle eğimli

arazilerde ve erozyona açık bölgelerde su erozyonu belirgin bir deformasyon kaynağıdır (Massonnet ve Souyris, 2008). Özellikle kuru ve açık alanlarda, rüzgar taşınan kum ve diğer partiküllerle yüzeyi aşındırır ve değiştirir. Bu süreç, kumulların oluşmasına, kum taşınması ve toprak kaybına neden olabilir. Rüzgar erozyonu, çöl bölgelerinde ve kıyı şeritlerinde belirgin bir deformasyon kaynağıdır. Buzulların ilerlemesi ve geri çekilmesi sırasında, büyük miktarda toprak ve kaya buzul tarafından taşınır veya yerinden oynatılır. Bu süreç, yüzeyde çeşitli deformasyonlara neden olabilir, özellikle buzul hareketlerinin etkisiyle oluşan vadiler, çanaklar ve moranlar gibi jeomorfolojik özelliklerin oluşmasına katkıda bulunabilir. Bu doğal süreçler, yüzeyde önemli ölçüde deformasyona ve değişikliklere yol açabilir. Erozyon ve sedimentasyon, jeomorfolojik yapıların oluşumunda ve şekillenmesinde önemli bir rol oynar ve yerel çevrelerin ve ekosistemlerin sağlığı üzerinde etkilidir. Bu süreçlerin anlaşılması, erozyonla mücadele ve toprak koruma stratejilerinin geliştirilmesi için önemlidir (Wei ve Diğerleri, 2011).

2.4.2.4. Yer Altı Su Etkinlikleri

Yer altı su etkinlikleri, yüzey deformasyonuna doğal olarak katkıda bulunabilir. Karstik süreçler, çözünabilir kayaçların, özellikle kireç taşı ve jips gibi, yer altı suyu tarafından aşındırılması sonucu oluşur. Bu süreçte, yer altı suyu, kayaçların çatlaklarını ve boşluklarını genişleterek mağaralar, yer altı nehirleri ve yer çökmesi gibi yapıların oluşmasına neden olur (Aşçı, 2021). Özellikle kireç taşı gibi çözünür kayaçlar, uzun zaman dilimlerinde yer altı suyunun etkisiyle büyük ölçüde erozyona uğrayabilir, bu da yüzeyde belirgin deformasyonlara yol açabilir. Aşırı yer altı su kullanımı, yer altı su seviyelerinin düşmesine ve toprakta oturma ve çökme gibi deformasyonlara neden olabilir. Yer altı suyunun çekilmesi, yeraltı boşluklarının çökmesine ve toprakta boşlukların oluşmasına yol açabilir. Bu da yüzeyde çeşitli deformasyonlara ve çukurluklara neden olabilir. Bu doğal süreçler, yer altı suyunun yüzeydeki etkilerini gösterir ve çevresel değişikliklerin belirlenmesi ve yönetilmesi açısından önemlidir. Özellikle karstik bölgelerde, yer altı suyunun etkisiyle oluşan yapılar ve deformasyonlar, jeolojik yapıların ve yer şekillerinin anlaşılması için önemli ipuçları sağlar (Onat ve Özkazanç, 2020). Bu süreçlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve toprak koruma açısından önemlidir.

2.4.2.5. Doğal Afetler

Doğal afetler, yüzey deformasyonuna doğal olarak katkıda bulunabilir. Sel ve tsunami gibi büyük su kütlelerinin ani hareketleri, toprakların yıkanmasına, yer değiştirmesine ve geniş alanlarda erozyona neden olabilir. Büyük sel olayları, nehirlerin taşması, yoğun yağışlar veya buzların erimesi gibi sebeplerle oluşabilir. Bu sel suları, toprağın erozyonunu artırabilir, nehir yataklarını değiştirebilir ve çevredeki yapıları ve araziye etkileyebilir. Tsunamiler ise genellikle deniz tabanındaki depremler, volkanik patlamalar veya deniz altı toprak kaymaları sonucu meydana gelir (Charvat ve Diğerleri, 2012). Bu dev dalgalar, kıyı bölgelerine çarptığında geniş alanlarda hasara ve yüzeyde deformasyona yol açabilir. Bu doğal afetler, yüzeyde önemli ölçüde deformasyon ve değişikliklere neden olabilir. Sel ve tsunami gibi su tabanlı afetler, erozyon ve toprak kaymaları gibi süreçleri tetikleyerek, yüzey şekillerinde belirgin değişikliklere ve deformasyonlara yol açabilir. Bu afetlerin etkileri, çevresel değişikliklerin belirlenmesi, afet risklerinin yönetilmesi ve yerel toplulukların güvenliğinin sağlanması için önemlidir (Marin ve Diğerleri, 2014).

2.5. Etkiler

Yüzey deformasyonu, doğal süreçler veya insan etkinlikleri sonucu meydana gelir ve genellikle hem çevresel hem de sosyoekonomik olarak önemli etkilere sahiptir. Yüzeyde meydana gelen bu değişiklikler, yerel topluluklar, ekosistemler, altyapılar ve ekonomiler üzerinde geniş çaplı ve uzun süreli etkiler yaratabilir. Yüzey deformasyonunun başlıca etkileri aşağıda ifade edildiği gibidir (Wu ve Hou, 2021).

2.5.1. Altyapıya Zarar

Yüzey deformasyonunun altyapıya olan zararlı etkileri oldukça çeşitlidir (Wall ve Diğerleri, 2005). Yüzeydeki çökme, kabarma veya kayma, binalarda çatlaklara ve yapısal hasarlara neden olabilir. Bu durum, binaların güvenliğini tehlikeye atar ve onarım maliyetlerini artırır. Yollardaki deformasyonlar ise araçların güvenliğini tehlikeye atabilir ve yol kullanımını engelleyebilir, bu da trafik sıkışıklığına ve ulaşım kesintilerine yol açar. Büyük onarım maliyetleri ve kullanım kesintileri, yerel hükümetler ve topluluklar için önemli bir yük olabilir. Yüzey deformasyonu, köprülerin ve demiryolu hatlarının yapısını bozabilir ve güvenlik riski oluşturabilir. Özellikle demiryolu hatlarında, yüzeydeki deformasyonlar rayların düzgün çalışmasını engelleyebilir, bu da tren seferlerinde aksamalara ve hatta kazalara yol açabilir. Köprülerdeki deformasyonlar, taşıma kapasitesini etkileyebilir ve köprünün güvenliğini tehlikeye atabilir, sonuç olarak uzun vadeli bakım ve onarımlar gerekebilir. Bu sebeplerle, yüzey deformasyonlarının periyodik olarak izlenmesi ve acil müdahale edilmesi gereklidir. Profesyonel mühendislik değerlendirmeleri ve düzenli bakım, altyapı sistemlerinin sağlıklı ve uzun ömürlü bir şekilde çalışmasını temin etmek için önemli bir rol oynar (Papson ve Narayanan, 2006).

2.5.2. Doğal Afet Riskinin Artması

Yüzey deformasyonları, doğal afet riskini artırabilir ve çeşitli etkilere yol açabilir. Yüzeydeki deformasyonlar, tektonik hareketlerin bir belirtisi olabilir. Özellikle yer kabuğunun altında gerilim biriktiğinde veya fay hatları üzerinde stres artışı olduğunda, yüzeyde çatlaklar, kırılmalar ve yükselmeler meydana gelebilir (Hao ve Diğerleri, 2019). Bu durum, yaklaşan büyük depremleri veya volkanik patlamaları işaret edebilir. Yüzey deformasyonlarının izlenmesi ve analizi, bu doğal afetlerin erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Yüzeydeki değişiklikler, su akışını yönlendirebilir ve suyun toprağı taşıma kapasitesini artırabilir (Konuslu ve Diğerleri, 2016).

2.5.3. Çevresel Etkiler

Yüzey deformasyonunun çevresel etkileri önemlidir. Yüzey deformasyonları, doğal yaşam alanlarında önemli değişikliklere neden olabilir. Özellikle kırılmalar, çöküntüler veya toprak erozyonu gibi deformasyonlar, bitki örtüsünün ve yaban hayatının yaşam alanlarını etkileyebilir. Bu durum, habitat kaybına veya parçalanmasına yol açabilir, bu da yerel ekosistemlerdeki dengenin bozulmasına ve biyoçeşitlilik üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Yüzey deformasyonları, yer altı su yollarının ve akiferlerin şeklini ve akışını değiştirebilir. Bu, yer altı su kaynaklarının yer değiştirmesine veya kurumasına yol açabilir. Ayrıca, deformasyonlar suyun akışını ve filtrelenmesini etkileyebilir, bu da su kalitesi sorunlarına neden olabilir. Özellikle yer altı su kaynaklarının değişen konumu, suyun erişilebilirliğini etkileyebilir, yerel topluluklar için

su temininde zorluklar yaratabilir. Bu nedenlerle, yüzey deformasyonlarının çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalı ve çevresel etkileri azaltmak için uygun önlemler alınmalıdır (Ashry ve Diğerleri, 2020). Bu, habitatların korunması, biyoçeşitliliğin desteklenmesi ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemlidir. Ayrıca, yüzey deformasyonlarının çevresel etkilerini azaltmak için altyapı projelerinin planlanması ve uygulanması sırasında dikkatli bir yaklaşım benimsenmelidir (Massonnet ve Souyris, 2008).

2.5.4. Ekonomik Etkiler

Tarım ve turizm gibi sektörler, yüzeydeki değişikliklerden oldukça etkilenebilir. Bu etkilerin yanı sıra, diğer sektörlerde de benzer etkiler gözlemlenebilir. Yüzey deformasyonu, altyapı projelerini etkileyebilir. Yol yapımı, bina inşaatı ve altyapı geliştirmelerinde zeminin stabil olmaması, maliyet artışına ve projelerin gecikmesine neden olabilir. Yeraltı kaynaklarına erişimde zorluklar, enerji endüstrisini etkileyebilir. Petrol, doğalgaz veya kömür gibi enerji kaynaklarının çıkarılması ve nakliyesinde zorluklar yaşanabilir, bu da enerji maliyetlerini artırabilir. Yol yüzeyindeki deformasyonlar, araçların bakım maliyetlerini artırabilir ve yol güvenliğini azaltabilir. Ayrıca, demiryolu hatlarında veya havaalanlarında yüzey deformasyonları, taşımacılık sektörünü de olumsuz etkileyebilir. Bu kapsamda yüzey deformasyonunun ekonomik açıdan geniş bir yelpazede etkileri olabileceğini göstermektedir (Chen ve Wang, 2014).

2.5.5. Toplumsal ve Sağlık Etkileri

Bu etkiler, yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Yüzey deformasyonları, yerleşim alanlarının zarar görmesine veya kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. Özellikle sel, heyelan veya toprak erozyonu gibi doğal afetlerin sık yaşandığı bölgelerde, insanlar yaşamlarını ve geçim kaynaklarını kaybedebilirler. Bu durum, zorunlu göçlere ve yerinden edilmelere yol açabilir, toplumların dağılmasına veya yeni yerleşim alanları aramalarına neden olabilir. Yüzey deformasyonları, su kaynaklarının kirlenmesine veya tahrip olmasına neden olabilir. Bu durum, içme suyu temininde sorunlar yaratabilir ve su kaynaklarının kirlenmesiyle birlikte su yoluyla bulaşan hastalıkların yayılmasına yol açabilir. Ayrıca, yüzey deformasyonları çevresel koşulları değiştirerek hava kalitesini etkileyebilir ve solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunlarının artmasına neden olabilir. Bu nedenlerle, yüzey deformasyonlarının toplumsal ve sağlık etkileri oldukça ciddidir ve bu etkilerin azaltılması veya önlenmesi için doğru önlemlerin alınması önemlidir (Cheng ve Diğerleri, 2006). İklim değişikliği gibi büyük ölçekli sorunlarla mücadelede, yüzey deformasyonlarının toplumsal ve sağlık etkileri de göz önünde bulundurulmalı ve uygun stratejiler geliştirilmelidir (Kaynarca ve Demir, 2018).

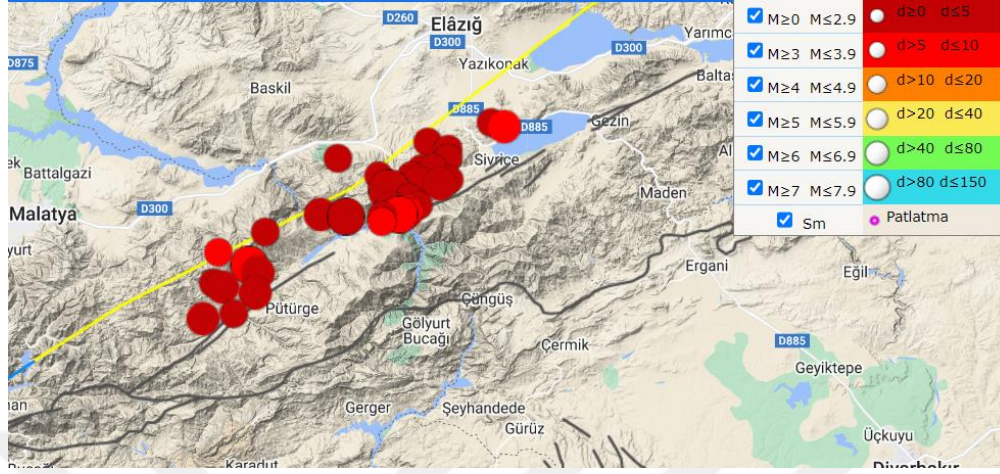
2.5.6. Jeolojik Araştırmalar ve Eğitim

Bu etkiler, jeoloji alanında yapılan çalışmaların önemini ve toplumun bu konuda bilinçlenmesini vurgulamaktadır. Yüzey deformasyonları, Dünya'nın jeolojik yapısını anlamak için çok önemli veriler sağlar. Özellikle levha tektoniği, depremler, volkanizma

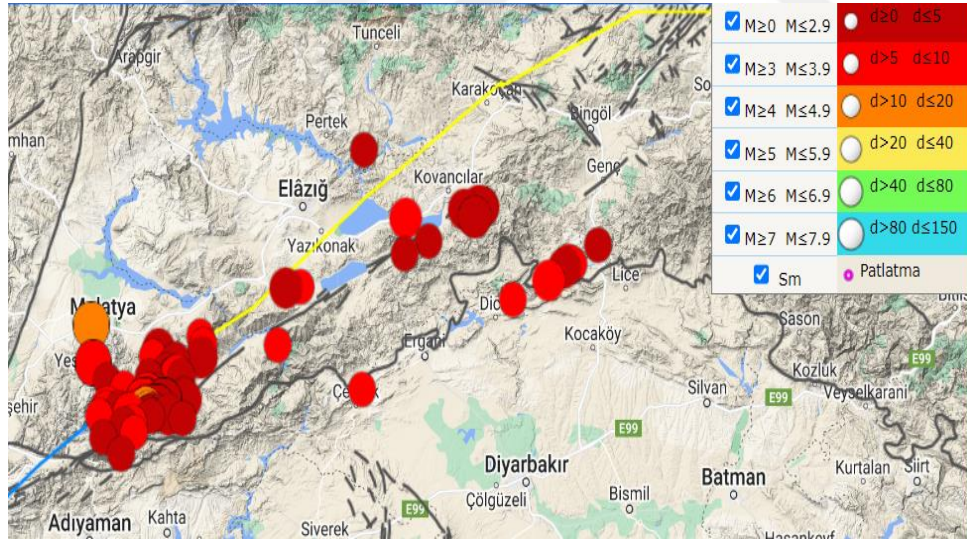
ve erozyon gibi doğal süreçleri anlamak için yüzey deformasyonları üzerinde yapılan araştırmalar önemlidir (Zoraya ve Bolaños, 2020). Bu araştırmalar, jeolojik risklerin belirlenmesi, doğal afetlerin önceden tahmin edilmesi ve kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılması gibi konularda bilgi sağlar. Yüzey deformasyonları ve etkileri, eğitim materyalleri ve programları aracılığıyla topluma aktarılabilir. Özellikle okullarda jeoloji dersleri veya çevre bilinci konularında yapılan eğitimlerde, yüzey deformasyonlarının nedenleri, sonuçları ve nasıl önlenebileceği gibi konular işlenebilir. Bu şekilde, toplumun bu konularda bilinçlenmesi ve çevreye daha duyarlı olması sağlanabilir. Jeolojik araştırmalar ve eğitim, yüzey deformasyonlarının nedenleri, etkileri ve yönetimi konusunda çok önemlidir (Richards, 2014).



Kahramanmaraş bölgesinde ise Pazarcık depreminden önce 59, Pazarcık ve Elbistan depremleri arasında 101 kez depremde sonra ise 545 kez deprem meydana gelmiştir.



Şekil 3.2. 01.12.2019 ile 28.02.2020 tarihleri arasında Sivrice bölgesinde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi)

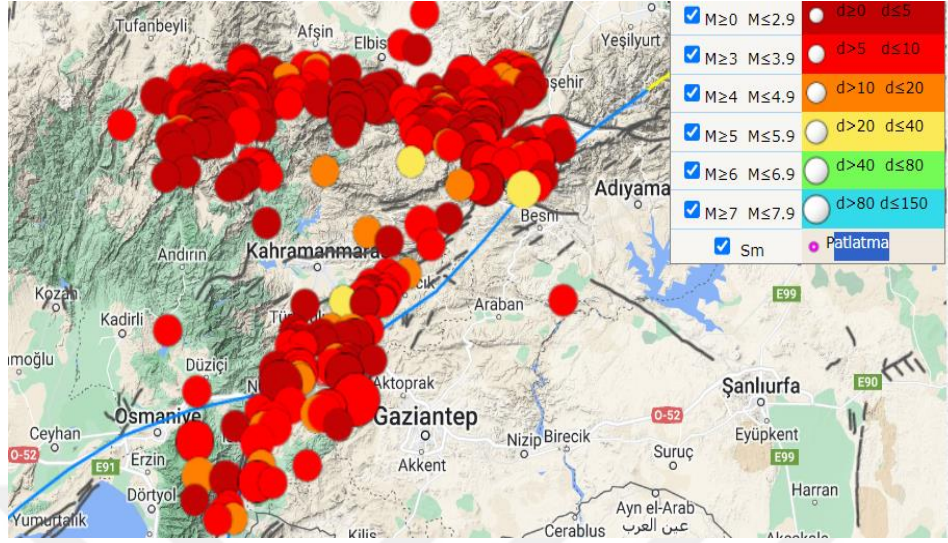


Şekil 3.3. 01.01.2023 ile 01.03.2023 tarihleri arasında Elâzığ bölgesinde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi)

3.2. Araştırmanın Modeli

Yapılacak olan çalışmada interferogramlar oluşturularak DInSAR ve PSI analizleri uygulanmıştır. İnterferogramlar, interferometri adı verilen bir teknikle elde edilen görsel verilerdir. En yaygın olarak kullanılan interferometri türlerinden biri de

radar interferometrisidir. Radar interferometrisinde, aynı bölgeyi farklı zamanlarda veya farklı bakış açılarından alınan veriler kullanılır.



Şekil 2.5.6.4. 01.01.2023 ile 01.03.2023 tarihleri arasında Kahramanmaraş bölgesinde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi)

Alınan veriler, birbirleriyle karşılaştırılarak interferogramlar oluşturulur. İnterferogramlar, radar dalgalarının yüzeyle etkileşimini gösteren karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yapı, yüzeydeki değişiklikler veya hareketler hakkında bilgi sağlar. İnterferogramlar genellikle noktasal bir hedefin konumunu ve hareketini izlemek, arazi deformasyonlarını veya yer yüzeyindeki diğer değişiklikleri belirlemek için kullanılır. İnterferometri, depremlerin neden olduğu arazi deformasyonlarını izlemek, buzulların hareketini incelemek, yer altı su kaynaklarını tespit etmek ve volkanik aktiviteyi izlemek için kullanılabilir. İnterferometri, jeodezi, jeofizik, çevre bilimleri ve uzaktan algılama gibi birçok alanda çeşitli uygulamalara sahiptir. Özellikle uzaktan algılama ve jeodezi alanlarında, yüzeydeki değişiklikleri uzaktan ve hassas bir şekilde izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

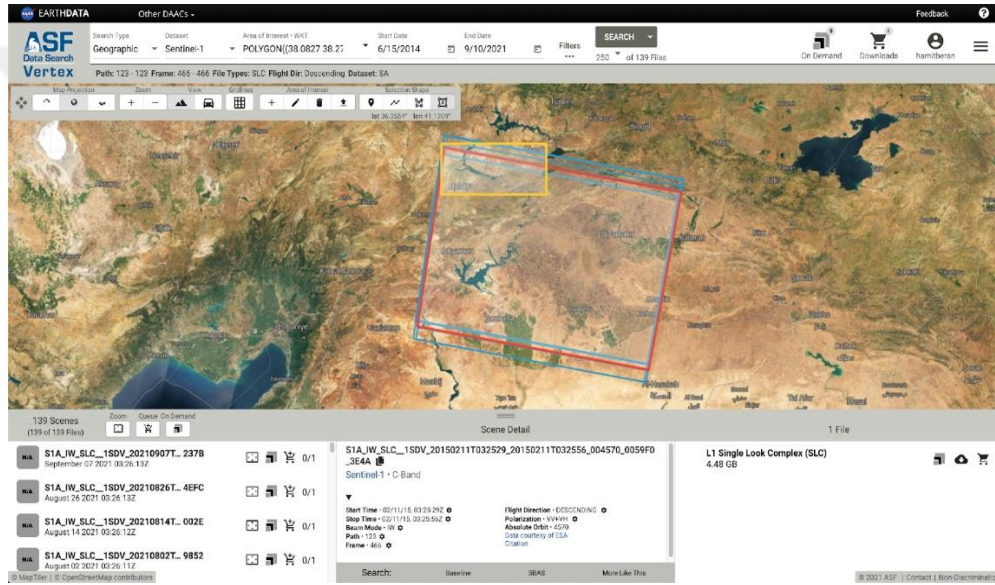
İnterferogramlar, PSI, InSAR ve DInSAR gibi radar görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturur. InSAR, iki veya daha fazla radar görüntüsünün karşılaştırılmasıyla yapılan bir tekniktir. Karşılaştırma ise yüzeydeki değişiklikleri ve hareketleri ölçmek için kullanılır. Özellikle arazi deformasyonlarını, yeraltı hareketlerini, buzul akıntıları ve volkanik aktiviteyi izlemek için yaygın olarak kullanılır. DInSAR, iki farklı zaman veya farklı koşullarda alınan İnterferogramlar arasındaki farkların incelenmesine dayanan bir tekniktir. Bu farklar, genellikle yüzeydeki deformasyonların veya hareketlerin tespit edilmesine olanak tanır. InSAR tekniğinin yanı sıra oluşturulan interferogramların birleştirilmesiyle yapılan PSI, birden fazla interferogram kullanır ve InSAR tekniğine göre daha hassas bir çalışma tekniğidir. PSI tekniği, çoklu interferogramlar ile işlem yapmaktadır. Tekniğin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için en az 15 - 20 görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır. (Ferretti ve ark., 2000; Hanssen, 2001). Özellikle yer yüzeyindeki küçük değişiklikleri hassas bir şekilde izlemek için kullanılır. Her iki yöntem de radar görüntülerini kullanarak yüzeydeki değişiklikleri izlemek ve analiz etmek için güçlü

araçlardır. Bu teknikler, arazi değişikliklerini, jeolojik olayları, çevresel değişimleri ve yapısal deformasyonları tespit etmek için geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

3.3. Verilerin Toplanması

Depremin bölgede yarattığı deformasyonu gözlemlemek amacıyla, Alaska Satellite Facility (ASF) portalı üzerinden; 2014-2021 yılları arasında azalan yörüngede 123 iz numarasına sahip toplam 139 Sentinel-1 RADAR görüntüsü, SLC (Side Look Complex) formatında elde edilmiştir.

Kahramanmaraş depreminin analizi için Elazığ bölgesini içeren 04.02.2023 ile 28.02.2023 tarihilerindeki 2 veri, Kahramanmaraş bölgesi için ise 06.02.2023 ile 13.04.2023 tarihleri arasında Sentinel-1 yükselen yörüngede (ascending) uydusuna ait 5 RADAR verisi kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Alaska Satellite Facility (ASF) portalı

Sentinel-1 uydusu dört farklı modda veri toplayabilmektedir. Bunlar, şerit modu (SM: stripmap), interferometrik çalışmalarda kullanılan interferometrik geniş tarama alanı modu (IW: interferometric wide-swath), büyük alan çalışmalarında kullanılan ekstra geniş tarama alanı modu (EW: extra wide swath) ve dalga modudur (WV: Wave). Elde edilen veriler, ham veri formatı olan RAW, genlik ve faz gibi karmaşık görüntüler olan SLC (Single Look Complex), çok bakış yoğunluklu format GRD (Ground Range Detected) ve okyanusun jeofizik parametreleri barındıran format OCN (Ocean) formatlarında sunulmaktadır. Her modun tarama açısı, şerit alan genişliği ve çözünürlüğü gibi temel özellikleri birbirinden farklıdır.

SLC formatındaki ürünler, azimut yönünde eğik menzil mesafesinde oluşturulan görüntülerdir. Bu görüntülerdeki her piksel için genlik ve faz bilgilerini içeren karmaşık değerlerle temsil edilir. SLC formatında ürünlerin işlenmesiyle tek bir görüntü elde edilir. Görüntüler, uydu yörüngesi ve yükseklik verileri ile jeoreferanslandırılır (Bourbig et al., 2016). Yapılan bu çalışmada, IW modunda edinilmiş SLC formatındaki görüntüler

kullanılmıştır. İnterferometrik tarama alanı modunda elde edilmiş veriler, 250 kilometrelik alanı kapsamaktadır. Bir IW SLC ürünü, IW1, IW2 ve IW3 olarak isimlendirilmiş üç farklı alt şerit alan içerir. Bir alt şerit alan görüntüsü bir dizi patlamayı (burst) içerir.

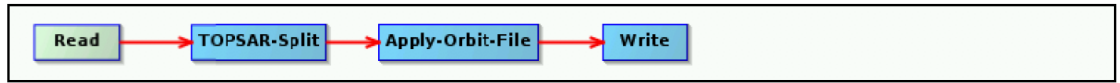
Tüm ürün, burst ve alt şerit alanlarının birleşiminden sonra oluşturulur. Bu işlem sırasında ScanSAR veya TOPSAR tekniği kullanılmaktadır. Bu çalışmada TOPSAR tekniği kullanılmıştır. Sentinel-1 görüntülerinin çözünürlüğü, her seviye ve ürün için farklılık gösterir. Proje kapsamında kullanılan IW modundaki SLC verilerinin azimut ve menzil çözünürlüğü sırasıyla 20 metre ve 5 metredir.

3.4. Verilerin Analizi

3.4.1. Verilerin Hazırlanması

Elde edilen veriler ilk olarak optimum ana görüntüyü seçmek için dikey taban çizgisi değerlerinin (baz mesafesi) dağılımını mümkün olduğu kadar düşük ve interferometrik yığının tutarlılığını maksimize eden SNAP yazılımı altında Stack Overview aracı kullanılmıştır.

Master Veri seçildikten sonra ham RADAR verinin içerisinde çalışma alanı belirlenirken verinin IW3 ve IW2 subswath'ları için VV polarizasyon, 1-4 burst değerleri seçilmiştir.

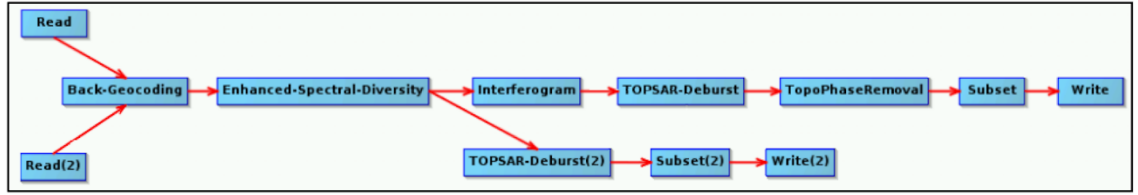


Şekil 3.6. Verilerin hazırlanmasında uygulanan işlem adımları

Elde edilen bu veriler sadece çalışma alanı içerecek şekilde biçimlendirmek için “TOPSAR-Split” işlemi IW3 ve IW2 subswath'ları için VV/VH polarizasyon, 1-4 burst değerleri seçilerek yapılmıştır. Uydular zamanla dış etkenlerden dolayı (Güneş rüzgarları, Atmosferik sürüklenme) sapmalara uğradıkları için periyodik düzeltmelere ihtiyaç duyulur. Bu düzeltmeler “Apply-Orbit File” operatörü ile yapılmıştır. Sentinel-1 verileri için yörünge düzeltmesi yapmak amacıyla "Apply Orbit File" verilerini Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) web sitesinden temin edebilirsiniz. Bu veriler genellikle ESA'nın Sentinel-1 veri merkezi olan Copernicus Open Access Hub üzerinden erişilebilmektedir.

3.4.2. İnterferogramların Oluşturulması

PSInSAR analizinde kullanılacak interferogramların oluşturulması için bir dizi işlem (Şekil 6) uygulanmıştır.



Şekil 3.7. İnterferogram oluşturma adımları

Geri coğrafik kodlama (Back Geocoding) ile bütün görüntüler bir yığın haline getirilerek yörünge bilgileri ve sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak çakıştırılmıştır. SNAP yazılımı tarafından kullanılabilen SRTM 1 Sec HGT kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modelinin yeniden örnekleme metodu (DEM resampling) olarak ‘bilinear’ seçilmiştir.

Enhanced-Spectral-Diversity adımı, çapraz korelasyon kullanılarak bölünmüş olan S-1 SLC verisinin tüm alt alanları için sabit bir öteleme değerini tahmin eder. Her bir radar veri parçası (burst) için yapılan bu tahmin işlemi, patlamanın merkezinde küçük bir veri topluluğu kullanılarak yapılır. Daha sonra tüm alt alana ait sabit aralık ötelemesini elde etmek için tahminlerin ortalaması alınır.

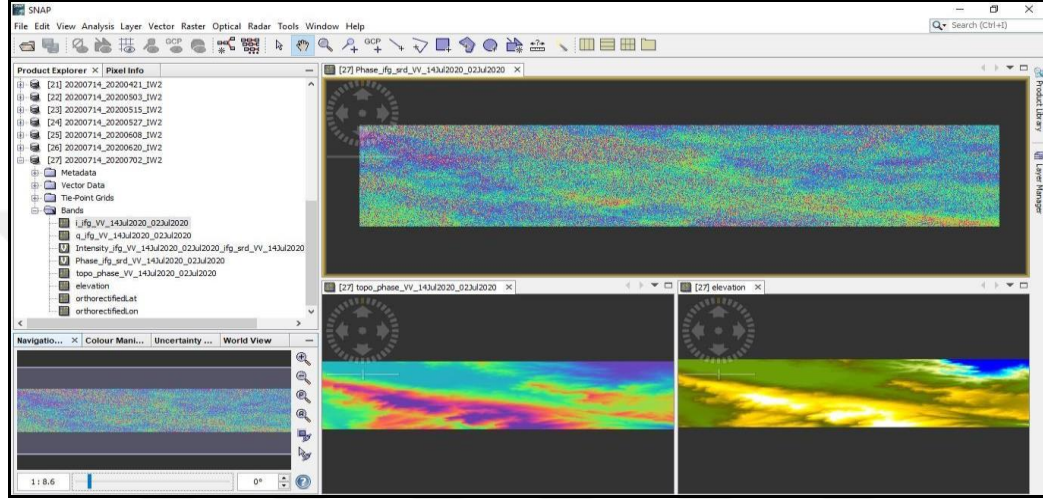
İki SAR görüntüsü, birleştirilerek üçüncü boyut bilgisini taşıyacak yeni bir görüntü haline getirilir, bu yeni görüntüye interferogram denir. Aynı bölgeye ait iki SAR görüntüsünün fazlarının girişim yaptırılarak birleştirilmesiyle elde edilen görüntüdür. Elde edilen interferogram, çeşitli radyometrik ayarlamalar ve geometrik doğrulama işlemleri ile gürültülerden arındırılmak için filtrelemelere tabi tutulur. Bu aşamalardan sonra, faz katlarının açılması (phase unwrapping) adı verilen özel bir işlem gerçekleştirilir. Faz katlarının açılması işlemi, faz farklarının $-\pi$ ile $+\pi$ arasında katlanmış olduğu interferogramın, sürekli bir faz farkı haritasına dönüştürülmesini sağlar. Katlanma etkisi giderilmiş faz farkı, yükseklik dönüşüm tekniklerinden biri kullanılarak yükselti farkı bilgisine dönüştürülür (Eren, 2009).

TOPSAR modu, geniş alanları yüksek çözünürlükte ve hızlı bir şekilde taramak için kullanılan bir SAR modudur. Bu modda, radar sinyalleri belirli aralıklarla "burst" adı verilen kısa süreli kesitler halinde gönderilir ve alınır. Her bir burst, radar anteninin farklı bir konumdayken alınan sinyalleri içerir, bu da görüntünün her bir kısmının farklı zamanlarda ve açılarda alınmasına neden olur. TOPSAR modunda elde edilen verilerde, burstlar arasında boşluklar bulunur ve bu durum, görüntülerin kesintili olmasına yol açar. Bu kesintileri gidermek ve sürekli bir görüntü elde etmek için "deburst" işlemi uygulanır. Deburst işlemi, farklı burstlar arasında bulunan boşlukların giderilmesi ve burstların birleştirilerek kesintisiz bir görüntü elde edilmesiyle başlar. Ardından, burstlar arasında oluşabilecek faz ve genlik farkları düzeltilir, böylece birleşmiş görüntüde tutarlılık sağlanır. Son olarak, birleştirilen burstların geometrik olarak hizalanması ve doğru coğrafi konumlara yerleştirilmesi sağlanır.

Oluşturulan interferogramdan topografik fazı tahmin eden “Topographic Phase Removal” adımı, ilk olarak çalışma alanının Dijital Yükseklik Modelini (DEM) oluşturur ve sonrasında bu modeli karmaşık interferogramdan çıkarır.

Subset adımı ise bu adımların sonucu olan interferogram alanını sadece çalışma alanına indirgemek için verilen değerler doğrultusunda uzamsal alt kümeye uygular.

Diferansiyel SAR interferometrisi tekniğiyle oluşturulan interferogramlar, yerkabuğu yüzeyinde meydana gelen yer değiştirmelerin yüzeydeki nokta ve uydu arasındaki bir çizgi üzerinde bulunan bileşenlerini korurlar. İnterferogramlarda, basitçe iç içe geçmiş halkalar olarak görünen örgeler (fringe); merkezden içe veya dışa doğru, iki aynı renk tonu arasındaki deformasyon miktarı, uydunun radar sinyali dalga boyunun (Sentinel 1 için $\lambda=5.66$ cm) yarısı kadardır. 14.07.2020 ve 02.07.2020 tarihli verilerden elde edilen interferogram fazı, topo-faz ve yükseklik verileri Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. 14.07.2020 ve 07.02.2020 tarihli veri ile oluşturulan interferogram (IW 2 alt alanı)

İnterferogram fazı, dalga interferansının sonucu olarak elde edilen ve dalgalar arasındaki faz farklarını ifade eden veridir. Topo-faz, bir nesnenin yüzey topografisiyle ilişkili olarak dalga interferometrisi veya benzeri bir teknikle elde edilen faz bilgisini ifade eder. Yani, nesnenin yüzeyindeki topografik değişikliklerle ilişkili olarak dalgalar arasındaki faz farklarına dayalı olarak elde edilen verilerdir.

3.4.3. Yer Değiştirme Haritasının Elde Edilmesi

Elde edilen İnterferogramlar, Matlab üzerinde Stamps adımları uygulanarak mm/yıl cinsinden yer değiştirme haritası edilmiştir. Stamps adımları şu şekildedir;

STAMPS(1,1); Stamps(1,1) adımı uygulayarak, ilk seçilen PS pikselleri için verileri yükler ve bunları MATLAB çalışma alanı dosyalarını saklar.

STAMPS(2,2); Dosya alt yapısı oluşturulduktan sonra zamansal tutarlılığı (coherence) hesaplamak için her bir aday piksel için faz gürültüsü değerini tahmin eden yenilemeli adım uygulanmalıdır. Bunun için Stamps(2,2) adımı uygulanmaktadır.

STAMPS(3,3); Bu adım, rastgele veriler için sonuçlarla karşılaştırarak olasılığa dayalı bir PS seçimi yapar. Bu genellikle iki kez yapılır. İlk seçimden sonra, seçilen her pikselin zamansal tutarlılığı pikselin kendisini uzamsal olarak tahminden çıkararak daha doğru bir şekilde yeniden tahmin edilir. Daha sonra seçim işlemi tekrarlanır (A. Hooper, 2018).

STAMPS(4,4); Bir önceki stamps adımımda seçilen pikseller ayıklanır ve sinyalden kaynaklı olan, çok gürültülü olarak kabul edilenler pikseller çıkarılır.

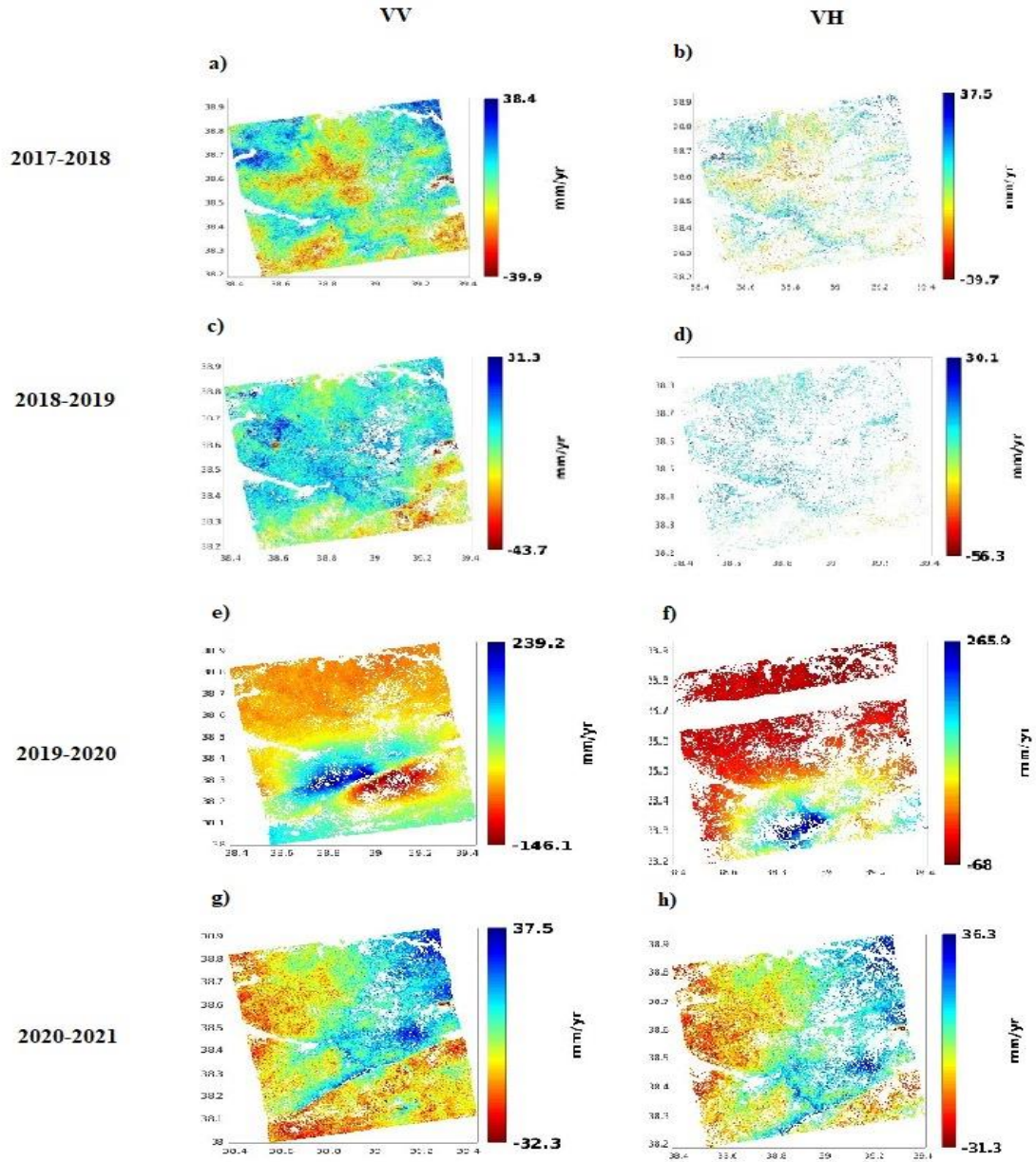
STAMPS(5,5); Artık gerekli tüm yamaları işledikten sonra, faz düzeltme adımını çalıştırılabilir hale gelmiştir. Bu seçilen piksellerin sarılmış aşaması, uzamsal olarak ilişkisiz bakış açısı (DEM) hatası için düzeltilir.

STAMPS(6,6); Fazı ölçtüğümüzde, sadece 0 ile 2π aralığında ölçülebilir. Bu yüzden herhangi bir noktadaki fark veya interferometrik faz, 0 ile 2π artı herhangi bir bilinmeyen sayı arasındaki değerdir. Faz belirsizliği, faz açma hesaplanması işlem ile çözülür. Bu "sarılmış" temsilden orijinal faz kaymasını yeniden inşa etmek; faz görüntüsünü mümkün olduğunca pürüzsüz hale getirmek için uygun yerlerden 2'nin katlarını çıkarmak içindir.

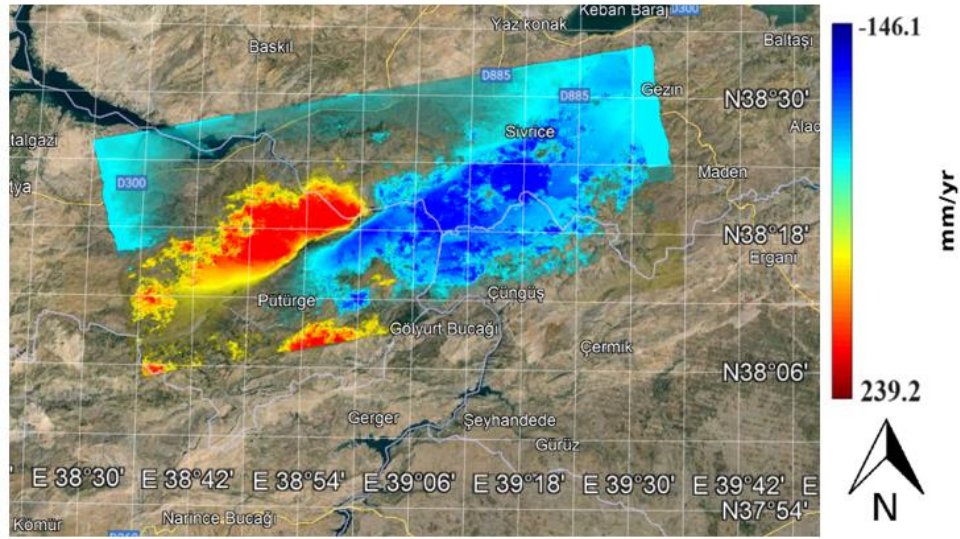
STAMPS(7,7); Stamps(7,7)'de uzamsal olarak ilişkili hataları tahmin edilir ve TRAIN ile troposferik düzeltme doğrusal olarak hesaplanır. Train (Doğrusal troposferik düzeltme) faz ve topografik bilgilere dayalı olarak doğrusal bir troposferik düzeltme hesaplanır.

Son olarak radyan biriminde oluşan sonuçları mm/yıl (velocity) olarak dönüştürüldü ve sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir.

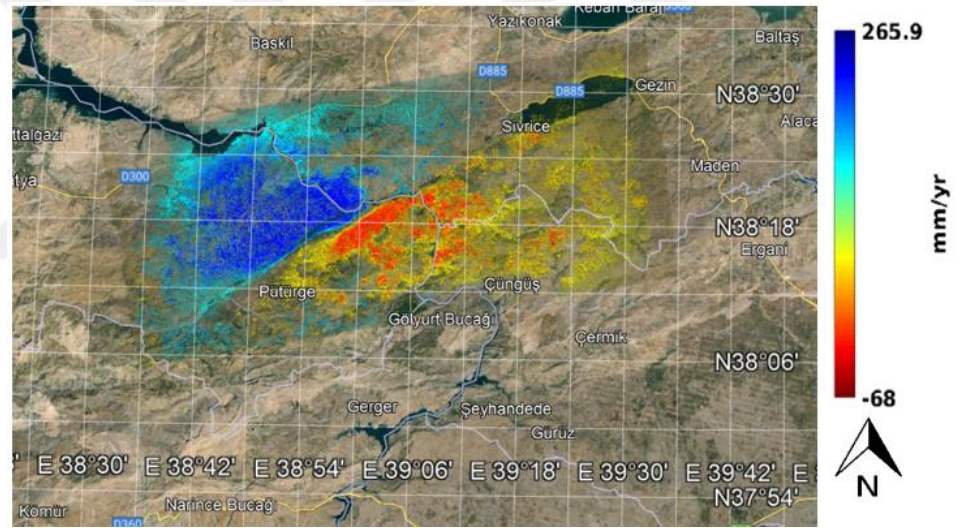
4. BULGULAR ve TARTIŞMA



Şekil 4.1. Yükselen modu ile elde edilen veriler ile yapılan PSI analiz sonuçlarının a) VV polarizasyonu ile yapılan 2017-2018 yılları arasındaki yer değiştirme haritası b) VH polarizasyonu ile yapılan 2017-2018 yılları arasındaki yer değiştirme haritası c) VV polarizasyonu ile yapılan 2018-2019 yılları arasındaki yer değiştirme haritası d) VH polarizasyonu ile yapılan 2018-2019 yılları arasındaki yer değiştirme haritası e) VV polarizasyonu ile yapılan 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritası f) VH polarizasyonu ile yapılan 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritası g) VV polarizasyonu ile yapılan 2020-2021 yılları arasındaki yer değiştirme haritası h) VH polarizasyonu ile yapılan 2020-2021 yılları arasındaki yer değiştirme haritası



Şekil 4.2. Yükselen modu ile elde edilen verilerin VV polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi



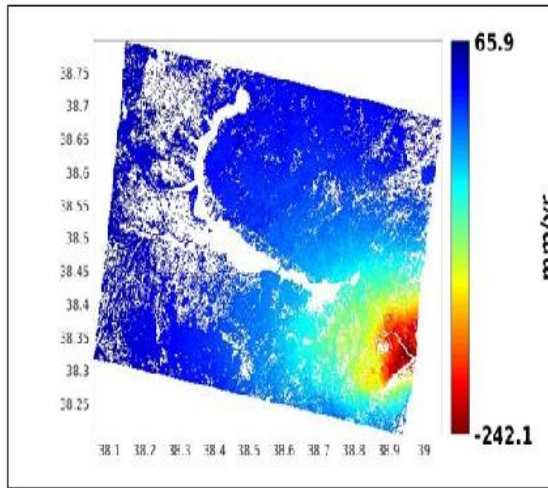
Şekil 4.3. Yükselen modu ile elde edilen verilerin VH polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi

Sentinel-1 Yükselen (Ascending) mod verileri ile VV polarizasyonu kullanılarak yapılan PSI analizinde 2017-2018 yılları arasında bölgede LOS doğrultusunda; -3.99 cm çökme +3.84 cm yükselme (a), 2018-2019 yılları arasında -4.37 cm çökme + 3.13 cm yükselme (c), 2019-2020 yılları arasında -14.61 cm çökme + 23.9 cm yükselme (e), 2020-2021 yılları arasında 3.23 cm çökme +3.75 cm yükselme (g) meydana gelmiştir. VH polarizasyonu kullanılarak yapılan PSI analizinin sonucunda 2017-2018 yılları arasında; -3.97 cm çökme +3.75 cm yükselme (b) , 2018-2019 yılları arasında -5.63 cm çökme +3.01 cm yükselme (d), 2019-2020 yılları arasında -6.8 cm çökme +26.5 cm yükselme (f), 2020-2021 yılları arasında -3.13 cm çökme +3.63 cm yükselme (h) meydana geldiği tespit edilmiştir.

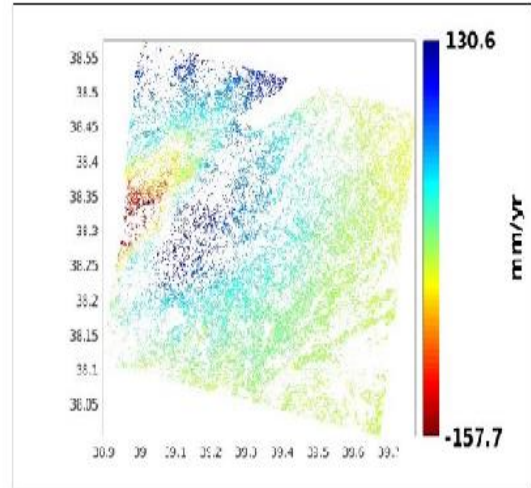
Çizelge 4.1. Sivrice Depreminde Elâzığ bölgesinde uydu bakış doğrultusunda (LOS) meydana gelen yer değiştirmelerin PSI analizleri sonucunda elde edilen miktarları

Doğrultu	Polarizasyon	Yıl	Yer Değiştirme hareketi (mm/yr)
Yükselen	VH	2017-2018	-39,7 / 37,5
Yükselen	VH	2018-2019	-56,3 / 30,1
Yükselen	VH	2019-2020	-68 / 265,9
Yükselen	VH	2020-2021	-31,3 / 36,3
Yükselen	VV	2017-2018	-39,9 / 38,4
Yükselen	VV	2018-2019	-43,7 / 31,3
Yükselen	VV	2019-2020	-146,1 / 239,2
Yükselen	VV	2020-2021	-32,3 / 37,5

a)

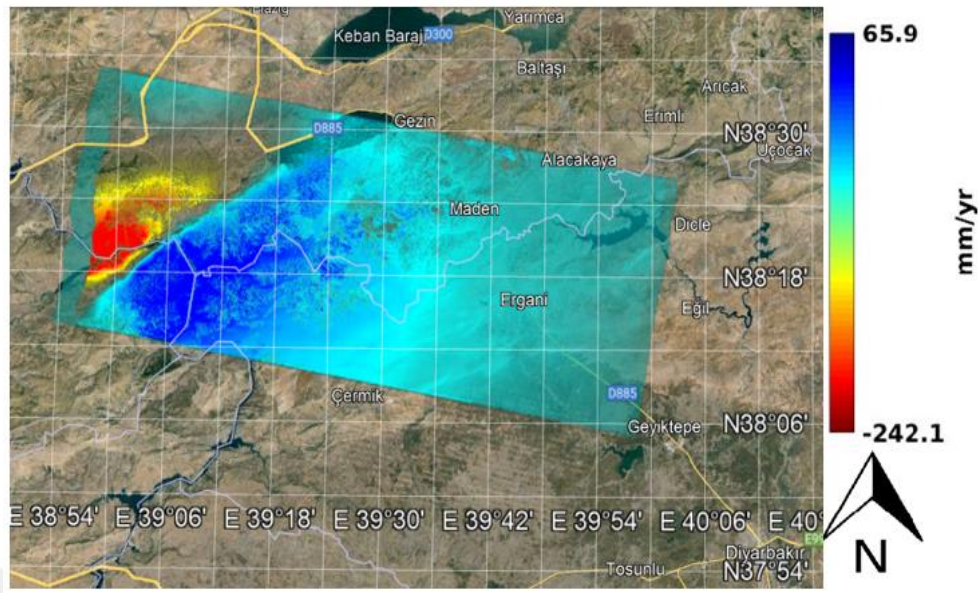


b)

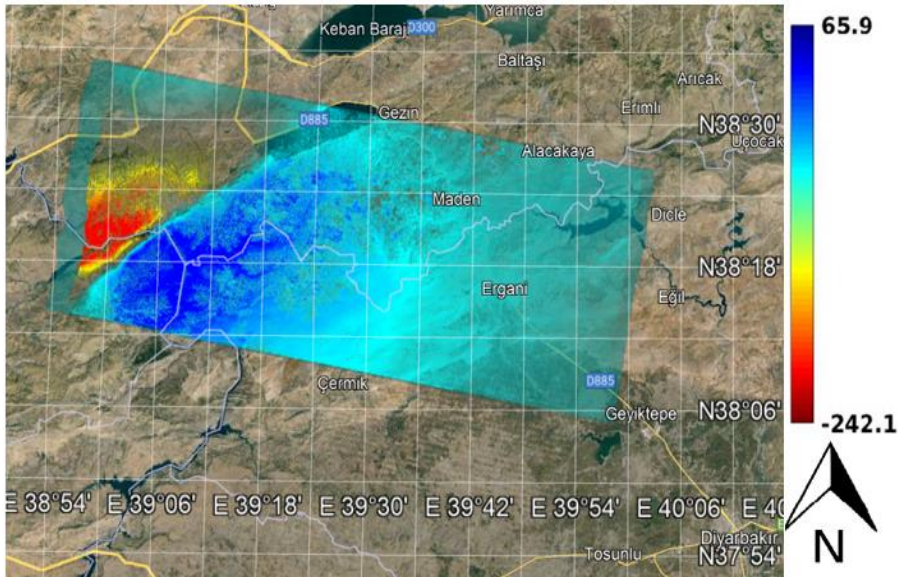


Şekil 4.4. a) Alçalan (descending) modu ile Ağustos 2019- Ağustos 2020 tarihleri arasında elde edilen radar verilerinin IW3 bölgesi için PSI analizi sonucunda oluşan Yer değiştirme haritası b) Alçalan (descending) modu ile Ağustos 2019- Ağustos 2020 tarihleri arasında elde edilen radar verilerinin IW2 bölgesi için PSI analizi sonucunda oluşan yer değiştirme haritası

Sentinel-1 Alçalan (Descending) modu ile Ağustos 2019- Ağustos 2020 tarihleri arasında alınan veriler ile yapılan PSI analiz sonucunda IW2 bölgesinde -15.77 cm çökme +13.00 cm yükselme, IW3 bölgesinde -24.21 cm çökme +6.5 cm yükselme meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.4).

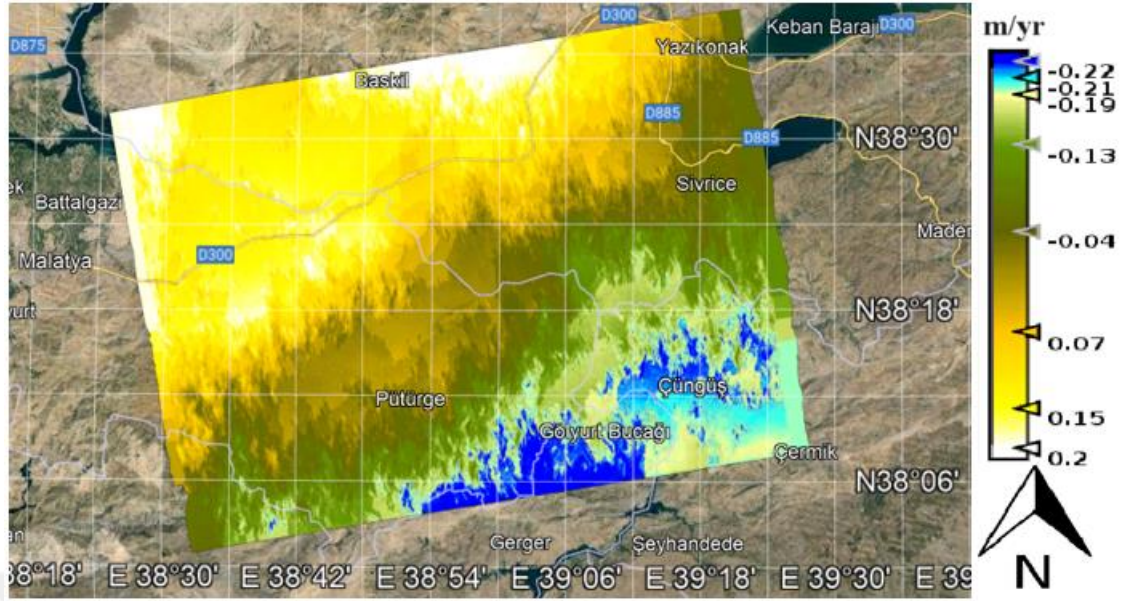


Şekil 4.5. Alçalan modu ile elde edilen verilerin VV polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi



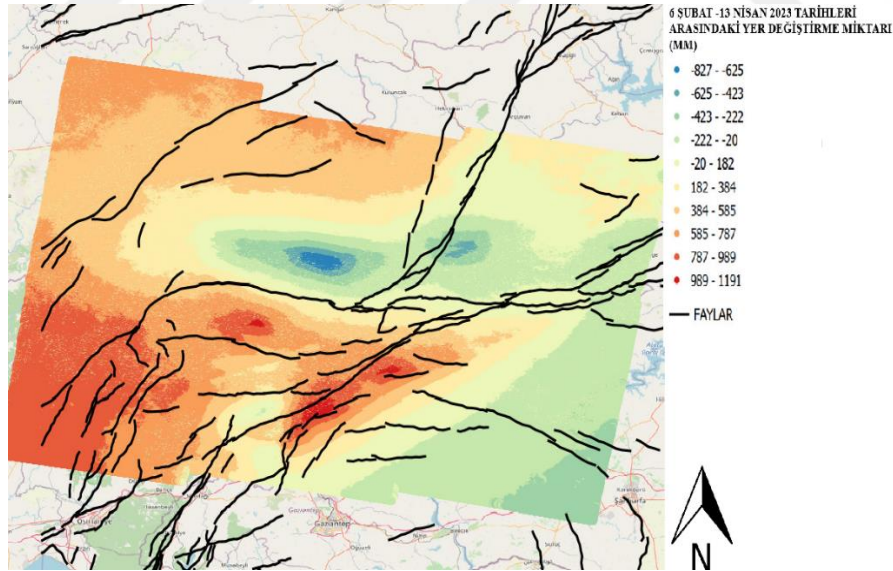
Şekil 4.6. Alçalan modu ile elde edilen verilerin VH polarizasyonu ile yapılan PSI analiz sonuçlarının 2019-2020 yılları arasındaki yer değiştirme haritasının Landsat 8 Uydu görüntüsü üzerinde gösterimi

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi için Elâzığ bölgesini içeren Sentinel-1 Yükselen modda alınan 04.02.2023 ile 28.02.2023 verilerinde IW3 alanı için VV polarizasyonu kullanılarak yapılan DInSAR analiz sonucunda -22 cm çökme +20 cm yükselme meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yükselen modu ile 06.02.2023- 28.02.2023 tarihleri arasında elde edilen radar verilerinin IW3 bölgesi için DInSAR analizi sonucunda oluşan yer değiştirme haritası

Deprem merkezi olan Kahramanmaraş'taki yer değiştirme miktarının hesaplanması için 6 Şubat – 13 Nisan 2023 tarihleri arasında alınan 5 görüntü ile PSI analizi yapılmıştır.



Şekil 4.8. Kahramanmaraş bölgesinde 6 Şubat -13 Nisan 2023 tarihlerinde meydana gelen yer değiştirme miktarı (mm)

Elde edilen sonuçlara bakıldığında LOS doğrultusunda -62.5 cm çökme 119.1 cm yükselme meydana geldiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, Sentinel-1 uydu verileri kullanılarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi ve analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, PSI (Persistent Scatterer Interferometry) ve DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) yöntemleri kullanılarak, özellikle 2017-2021 yılları arasında yüzeyde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen bulgular, radar verilerinin yüzey deformasyonlarını yüksek hassasiyetle tespit etme kapasitesini ortaya koymaktadır. Özellikle, farklı polarizasyon modları (VV ve VH) kullanılarak yapılan analizlerde, belirgin çökme ve yükselme değerleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, literatürde benzer yöntemlerle elde edilen bulgularla karşılaştırıldığında, radar interferometrisinin yüzey deformasyonlarını izleme konusunda etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, Sentinel-1 verilerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilen PSI ve DInSAR analizleri sonucunda yüzey deformasyonlarının belirlenmesiyle ilgilidir. Özellikle, 2017-2021 yılları arasında farklı polarizasyon modları (VV ve VH) kullanılarak yapılan analizlerde belirgin çökme ve yükselme değerleri tespit edilmiştir. Bu bulgular, literatürde benzer yöntemlerle elde edilen sonuçlarla uyumlu olup, radar verilerinin yüzey deformasyonlarını hassas bir şekilde tespit etme konusundaki etkinliğini doğrulamaktadır (Massonnet ve Souyris, 2008; Wei ve diğerleri, 2011).

Bu çalışma, özellikle yüzey deformasyonlarının izlenmesi ve doğal afetlerin etkilerinin anlaşılması konusunda önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle Kahramanmaraş depremi gibi büyük ölçekli doğal afetlerin ardından yapılan DInSAR analizleri, deprem sonrası yüzeyde meydana gelen deformasyonları tespit ederek, afet yönetimi ve zarar azaltma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu tür analizler, sadece akademik alanda değil, aynı zamanda pratik uygulamalarda da büyük öneme sahiptir.

Çalışmada kullanılan PSI ve DInSAR yöntemleri, yüksek hassasiyetli yüzey deformasyonu ölçümleri sağlamaktadır ve bu sayede yüzeydeki ince değişikliklerin tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, bu yöntemlerin bazı sınırlamaları bulunmaktadır ve bu sınırlamalar, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyebilmektedir. Özellikle interferometrik analizlerde, atmosferik etkiler ve verilerin geometrik doğruluğu büyük bir öneme sahiptir. Atmosferik değişkenlikler, sinyal yayılımını etkileyerek ölçümlerde hatalara neden olabilirken, geometrik doğruluk, yörünge bilgileri ve görüntülerin doğru hizalanması ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımı kullanılarak atmosferik düzeltmeler ve yörünge bilgileri optimize edilmiştir. SNAP yazılımı, interferometrik analizlerde kullanılan verilerin işlenmesinde yaygın olarak tercih edilen bir araç olup, atmosferik etkilerin azaltılması ve yörünge bilgileri ile ilgili doğruluğun artırılması için çeşitli algoritmalar ve modeller içermektedir. Ancak, gelecekteki çalışmalarda bu faktörlerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Özellikle atmosferik düzeltmelerin daha hassas yapılabilmesi ve geometrik doğruluğun artırılması için yeni yöntemlerin geliştirilmesi, bu alandaki araştırmaların ilerlemesine önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, farklı atmosferik koşullar ve coğrafi bölgelerde yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılarak, yöntemlerin genel geçerliliği ve uygulanabilirliği konusunda daha kapsamlı veriler elde edilebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, daha uzun dönemli veri setleri kullanarak yüzey deformasyonlarının zaman içindeki değişimlerini daha detaylı inceleyebilir. Ayrıca, farklı bölgelerde benzer analizler yapılarak, yöntemin genel geçerliliği ve farklı coğrafi koşullardaki performansı değerlendirilebilir. Bunun yanında, diğer uzaktan algılama teknikleriyle (örneğin, optik uydu verileri) entegre analizler yapılarak, çoklu veri kaynaklarının kullanımıyla daha kapsamlı değerlendirmeler yapılabilir.

Sivrice depremi için Karşlıoğlu ve ark. tarafından yapılan çalışmada -17cm çökme ile +26 cm yükselme meydana geldiği tespit edilmiştir (Karşlıoğlu ve ark.). Yürür ve ark. tarafından yapılan çalışmada ise daha küçük bir alan analiz edilip 05 metre ile 1 metre arasında yer değiştirmeler meydana geldiği görülmüştür. Bu tez çalışmasının çalışma alanı ise daha geniş olup, VV ve VH olmak üzere iki farklı polarizasyon özelliği ile analiz yapılmıştır. Bunun yanı sıra 2017'den 2021 yılına kadar olan yıllık değişimlere de yer verilmiştir.

Genel olarak, bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, Sentinel-1 radar verilerinin kullanımıyla yüzey deformasyonlarının tespitinde yüksek doğruluk sağlandığını göstermektedir. Çalışmanın bulguları, literatürdeki diğer çalışmalarla uyumlu olup, yöntemlerin geçerliliğini ve güvenilirliğini desteklemektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Sentinel-1 uydu verileri kullanılarak PSI ve DInSAR yöntemleriyle yüzey deformasyonlarının belirlenmesi ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında 2017-2021 yılları arasında elde edilen radar verileri kullanılarak, Sivrice Depreminde Elâzığ bölgesinde meydana gelen yüzey deformasyonları incelenmiştir. Bunun yanı sıra Kahramanmaraş Depremlerinde, Elâzığ ve Kahramanmaraş bölgesindeki yer değiştirme miktarları elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, aşağıda özetlenmiştir.

1. **Yüzey Yer Değiştirme Miktarının Tespiti:** Sentinel-1 verileri kullanılarak gerçekleştirilen PSI ve DInSAR analizleri sonucunda, Kahramanmaraş bölgesinde belirgin yüzey deformasyonları tespit edilmiştir. Özellikle, deprem ve diğer doğal afetler sonrası meydana gelen çökme ve yükselme değerleri yüksek hassasiyetle belirlenmiştir.
2. **Polarizasyon Modlarının Karşılaştırılması:** Çalışmada kullanılan farklı polarizasyon modları (VV ve VH), yüzey deformasyonlarının tespitinde farklı hassasiyetler göstermiştir. VV polarizasyon modunun, VH moduna kıyasla daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, literatürde radar interferometrisi kullanılarak yapılan benzer çalışmalarla uyum göstermektedir. Bu çalışma, radar verilerinin yüzey deformasyonlarını izleme konusundaki etkinliğini bir kez daha kanıtlamıştır. Özellikle doğal afetler sonrası yüzey değişikliklerinin tespiti ve izlenmesi, afet yönetimi ve zarar azaltma stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu tez çalışması, yüzey deformasyonlarının izlenmesi ve doğal afetlerin etkilerinin anlaşılması konusunda önemli pratik uygulamalara sahiptir. Deprem gibi büyük ölçekli doğal afetler sonrası yapılan analizler, afet yönetimi süreçlerinde kullanılabilir ve yerel yönetimlerin hızlı ve etkili kararlar almasına yardımcı olabilir. Ayrıca, yüzey deformasyonlarının izlenmesi, altyapı projelerinin planlanması ve yönetimi açısından da büyük öneme sahiptir.

Çalışmada kullanılan PSI ve DInSAR yöntemlerinin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Özellikle atmosferik etkiler ve verilerin geometrik doğruluğu, interferometrik analizlerin hassasiyetini etkileyen faktörlerdir. Bu çalışma kapsamında yapılan atmosferik düzeltmelere rağmen, bu faktörlerin gelecekte daha detaylı incelenmesi ve daha gelişmiş düzeltme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

1. **Daha Uzun Dönemli Veri Setleri:** Yüzey deformasyonlarının zaman içindeki değişimlerini daha detaylı incelemek için daha uzun dönemli veri setleri kullanılabilir.
2. **Farklı Bölgelerde Benzer Analizler:** Farklı coğrafi bölgelerde benzer analizler yapılarak, yöntemlerin genel geçerliliği ve farklı koşullardaki performansı değerlendirilebilir.

3. **Çoklu Veri Kaynaklarının Kullanımı:** Diğer uzaktan algılama teknikleriyle (örneğin, optik uydu verileri) entegre analizler yapılarak, çoklu veri kaynaklarının kullanımıyla daha kapsamlı değerlendirmeler yapılabilir.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, Sentinel-1 radar verilerinin kullanımıyla yüzey deformasyonlarının tespitinde VV-VH polarizasyon farkının etkin olduğunu, PSI analizinin daha DInSAR analizine göre hassas sonuçlar verdiğini göstermektedir. Çalışmanın bulguları, literatürdeki diğer çalışmalarla uyumlu olup, yöntemlerin geçerliliğini ve güvenilirliğini desteklemektedir. Bu sonuçlar, doğal afetler ve diğer çevresel değişimlerin izlenmesi konusunda önemli katkılar sunmakta ve gelecekteki araştırmalara yön vermektedir.



6. KAYNAKLAR

- Adamo, F., Brunner, D. & Bruzzone, L. (2010). *Building detection and radar footprint reconstruction from single VHR SAR images*. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 292-295, 25-30 July, Honolulu, USA.
- Alaska Data Set <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- Arca, D., Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi / Karaelmas Science and Engineering Journal 2 (2), 53-61, 2012.
- Ashry, M. M., Mashaly, A. S., & Sheta, B. I. (2020). *Comparative Analysis between SAR Pulse Compression Techniques*. 12th International Conference on Electrical Engineering (ICEENG), Cairo, 234-240.
- Aşçı, E. (2021). *Derin Öğrenme Yöntemi Kullanılarak Geliştirilen Yapay Zeka Uygulamasıyla Çocuklardan Alınan Panoramik Radyografilerde Çürük Dişlerin Tespiti*. Uzmanlık Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 100 s.
- Bamler, R., & Hartl, P. (1998). "Synthetic aperture radar interferometry." *Inverse Problems*, 14(4),
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst5.asp>
- Boyoğlu, C. S., Balz, T., and Sultanbekova, A.: Assessing Looting Holes by Using SAR Simulation, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-1-2024, 31–36, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-31-2024> .
- Charvat, G., Fenn, A.J. & Perry, B.T. (2012). *The MIT IAP radar course: Build a small radar system capable of sensing range, Doppler, and synthetic aperture (SAR) imaging*, pp. 138-144, 7-11 May, Atlanta, USA.
- Chen, S. & Wang, H. (2014). *SAR target recognition based on deep learning*. 2014. International Conference on Data Science and Advanced Analytics. 30 Oct.-1 Nov, Shanghai, China.
- Cheng, G., Zhao, W., Zhang, J., & Mao, S. (2006). *A Practical Kernel Criterion for Feature Extraction and Recognition of MSTAR SAR Images*. 8th International Conference on Signal Processing.
- Çomut, F.C., “Farklı yeryüzü özelliklerinde ileri InSAR teknikleri kullanılarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi”, Doktora Tezi, Konya, 2016.
- Ding, M., Liang, X., Tang, L., Wen, Z., Wang, X., & Wang, Y. (2018). *Micro FMCW SAR with high resolution for Mini UAV*. International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Chengdu, 1-3.
- Doerry, A. W. (2020). *Digital Signal Processing of Radar Pulse Echoes*; SAND 2020-9428, Albuquerque.
- Eren, Ö., Uydu Görüntülerinden 3. Boyut bilgisinin çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 65 s.

- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). "Permanent scatterers in SAR interferometry." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1), 8-20.
- İnik, Ö. & Ülker, E. (2017). *Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri*. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6(3): 85-104.
- Ganveer, N., Vishal, G., Rao, R. S., & Biradar, V. (2016). *SAR implementation using LFM signal*. IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology (RTEICT), Bangalore, 1094-1097.
- Gökçay, M. (2009). *Uydu Görüntülerinde Otomatik Nesne Tespiti İçin Genel Bir Yaklaşım*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-11.
- Gökçeoğlu, C., Yürür, T., Kocaman, S., Nefeslioğlu, H.A., Durmaz, M., Tavus, B., Karakaş, G., Büyükdemircioğlu, M., Atasoy, K., Yörük, İ., Can, R., Yalçın, İ., (2020) , “Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi RADAR İnterferometrisi ve Stereo hava fotogrametrisi ile Elazığ Sivrice depreminin (24 Ocak 2020,MW=6.8) incelenmesi”, Şubat, 2020, <https://www.researchgate.net/publication/339596648>
- Gunce, H. B., San, B. T. “Measuring Earthquake-Induced Deformation in the South of Halabjah (Sarpol-e-Zahab) Using Sentinel-1 Data on November 12, 2017”, *Proceedings* (2018), 2, 346; doi:10.3390/ecrs-2-05159.
- Han, P., Wu, R., Wang, Y., & Wang, Z. (2003). *An efficient SAR ATR approach*. *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '03/II)*, 429-432.
- Hao, J., Li, J., Pi, Y., & Fang, X. (2019). *A drone fleet-borne SAR model and threedimensional imaging algorithm*. *IEEE Sensors Journal*, 19(20), 9178-9186.
- Hooper, A., Bekaert, D., Spaans, K., & Arıkan, M. (2012). "Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation." *Tectonophysics*, 514-517, 1-13.
- Irak, H., 2009. SAR sistem ve teknolojileri, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 437, 86- 90.
- İlerisoy, Z.Y., Gökşen, F., Soyluk, A., Takva, Y., Deprem Kaynaklı İkincil Afetler ve Türkiye Örnekleme, *Online Journal of Art and Design* 10(2), 2022.
- Joyce, K. E., et al. (2009). "A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters." *Progress in Physical Geography*, 33(2), 183-207.
- Karşlıoğlu, A., Alkayış, M.H., Kalkan, K., Onur, M.İ., (2020), “Sentinel-1 uydusu ile Konya Karapınar ilçesi bölgesel çökme analizi” , *Disaster Science and Engineering*, 6 (2)-2020.
- Karşlıoğlu, A., Alkayış, M.H., Onur, M.İ., (2021), “Sentinel-1 uydusu ile deprem kaynaklı yüzey çökme analizi: Sivrice-Doğanyol-Pütürge örneği” , *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2021, 11 (2): 510-521
- Kaynarca, M. & Demir, N. (2018). *Detection of Urban Buildings by Using Multispectral Gokturk-2 and Sentinel 1A Synthetic Aperture Radar Images*. *MDPI Proceedings*, 2(7): 360.

- Konuslu, A. Y., Onat, E., Kurtoğlu, A., Sezer, B., (2016). *Uydu SAR İnterferometri ve Görüntü İstihbaratı Uygulamaları*, SAVTEK
- Malik, K., Kumar, D., Perissin, D., Pradhan, B., “Estimation of ground subsidence of New Delhi, India using PS-InSAR technique and Multi-sensor Radar data” , *Advances in Space Research*, 2022, 69 (4) . 1863-1882
- Mancini, F., Grassi, F., Cenni, N., “A Workflow Based on SNAP–StaMPS Open-Source Tools and GNSS Data for PSI-Based Ground Deformation Using Dual-Orbit Sentinel-1 Data: Accuracy Assessment with Error Propagation Analysis”, *Remote Sensing*, 2021, 13, 753.
- Marin, C., Bovolo, F. & Bruzzone, L. (2014). *Building Change Detection in Multitemporal Very High Resolution SAR Images*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(5): 2664-2682.
- Massonnet, D. & Souyris, J. (2008). *Imaging with synthetic aperture radar*. Lausanne, Switzerland: EPFL Press, 147.
- Mehra, A., Jain, N. & Srivastava, H. (2019). *A novel approach to use semantic segmentation based deep learning networks to classify multi-temporal SAR data*. *Geocarto International*, 37(1): 163-178.
- Onat, E., “Sentetik açıklıklı RADAR görüntülerinde interferometri ve radargrametri tekniklerinin füzyonu”, PhD Thesis, Istanbul, 2020.
- Onat, E & Özkazanç, Y., (2020). *Topographic Map Generation Using Synthetic Aperture Radar Images Via Interferometry (InSAR) Technique*, IEEE SIU
- Öçer, E. (2020). *Uzaktan algılama görüntülerinde derin öğrenme temelli yaklaşımlar kullanarak nesne tespiti*. Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, 109 s.
- Özdemir, C. (2012). *Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms*. (First edition). Hoboken: John Wiley and Sons, Inc, 50, 79-114.
- Papson, S. & Narayanan, R. (2006). *Modeling of Target Shadows for SAR Image Classification*. 35th IEEE Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop, AIPR, 3.
- Papson S. & Narayanan, R. (2012). *Classification via the Shadow Region in SAR Imagery*. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48(2): 969- 980.
- Rosen, P. A., et al. (2000). "Synthetic aperture radar interferometry." *Proceedings of the IEEE*, 88(3), 333-382.
- Roth A (2001) SAR Interferometrie: DHM Generierung. Münchner Sommerschule 2001
- Richards, M. A. (2014). *Fundamentals of Radar Signal Processing*. (Second edition). New York: McGraw-Hill Education, 43, 146, 182, 643-735.
- Ruohong, H.& Ruliang, Y. (2008). *SAR Target Recognition Based on MRF and Gabor Wavelet Feature Extraction*. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, II*, 907-910.

- Sarı, C., Akgül, C. B., & Sankur, B. (2013). *Combination of gross shape features, fourier descriptors and multiscale distance matrix for leaf recognition*. ELMAR, 2013 55th International Symposium, 23-26.
- Schumacher, R. & Schiller, J. (2005). *Non-cooperative target identification of battlefield targets - classification results based on SAR images*. IEEE International Radar Conference, 167-172.
- Sol, A., Levha Tektoniği: Jeolojide Bir Devrim mi? , İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji Eğitiminde 60.Yıl Özel Sayısı, 8, 1-3.
- Solmaz, D., Veziro, F., & Demir, N. (2022). Preliminary results of surface displacement of the Elazığ Sivrice region by comparing D-InSAR and SBAS methods. 4th Intercontinental Geoinformation Days (IGD),221-224, Tabriz, Iran.
- Tadono, T., et al. "Advanced Land Observing Satellite (ALOS) 'DAICHI' - Overview of ALOS and ALOS Data Nodes." Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004
- Tralli, D. M., et al. (2005). "Remote sensing and geospatial information for disaster management." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(6), 592-604.
- Turker, M., San, B.T. "Detection of collapsed buildings caused by the 1999 Izmit, Turkey earthquake through digital analysis of post-event aerial photographs". Int. J. Remote Sens. 2004, 25, 4701–4714, doi:10.1080/01431160410001709976.
- Wall, D., Herman, P. & Wielemaker, A. (2005). *Characterisation of surface roughness and sediment texture of intertidal flats using ERS SAR imagery*. Remote Sensing of Environment, 98(1): 96-109
- Wei, Z., Jie, W., & Jian, G. (2011). *An efficient SAR target recognition algorithm based on contour and shape context*. 3rd International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), 1-4.
- Wilmanski, M., Kreucher, C. & Lauer J. (2016). *Modern approaches in deep learning for SAR ATR*. Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XXIII. 9843: 195-204.
- Wu, Z. & Hou, B. (2021). *A Deep Detection Network Based on Interaction of Instance Segmentation and Object Detection for SAR Images*. Remote Sensing. 13(13): 2582.
- Yamada, H., Kobayashi, T., Yamaguchi, Y., & Sugiyama, Y. (2017). *Highresolution 2D SAR imaging by the millimeter-wave automobile radar*. IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA), Tsukuba, 149-150.
- Yurur, M.T. Kocaman, S. Tavus, B. Gokceoglu, C. (2023) An Assessment of the Epicenter Location and Surroundings of the 24 January 2020 Sivrice Earthquake, SE Türkiye. *Earth* 2023, 4, 806-822. <https://doi.org/10.3390/earth4040043>
- Zhu, X., Montazeri, S., Ali, M., Hua, Y., Wang, Y., Mou, L., Shi, Y., Xu, F. & Bamler, F. (2021). *Deep Learning Meets SAR*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. 9(4): 143-172.

Zoraya, A., & Bolaños, R. (2020). *Implementing the LFM-CW MIT Radar at the Ecuadorian Space Institute: Some Results*. Journal of Aerospace Technology and Management

<https://airbornescience.nasa.gov/instrument/UAVSAR>

<https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat>

<https://earth.esa.int/eogateway/missions/terrasar-x-and-tandem-x>

<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-1>

<https://sarkac.org/2022/04/sar-yapay-aciklikli-radar-nedir/>

<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/overview.htm>

https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/index_e.htm

<https://www.eoportal.org/satellite-missions/cosmo-skymed>

<https://www.eoportal.org/satellite-missions/gaofen-1>

<https://www.eoportal.org/satellite-missions/hj-1>

<https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5>

<https://www.eoportal.org/satellite-missions/risat-2>

https://www.isro.gov.in/RISAT_1.html

https://www.noaasis.noaa.gov/GOES/goes_overview.html

ÖZGEÇMİŞ

Dilara SOLMAZ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2021-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2017-2021	Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya

ESERLER

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. Solmaz, D., Veziro, F., & Demir, N. (2022). Preliminary results of surface displacement of the Elazig Sivrice region by comparing D-InSAR and SBAS methods. 4th Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 221-224, Tabriz, Iran
2. Solmaz, D., & Demir, N. (2023). Displacement analysis of aftershocks occurred after 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 6, 204-206, Baku, Azerbaijan