T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR VERİLERİ TEMELİNDE WEB TABANLI DEPREM BİLGİ ARAYÜZÜ GELİŞTİRİLMESİ

SAMED ADALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. UMUT GÜNEŞ SEFERCİK

OCAK 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR VERİLERİ TEMELİNDE WEB TABANLI DEPREM BİLGİ ARAYÜZÜ GELİŞTİRİLMESİ

SAMED ADALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ

DANIŞMAN: PROF. DR. UMUT GÜNEŞ SEFERCİK

OCAK 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

DEVELOPMENT OF WEB-BASED EARTHQUAKE INFORMATION INTERFACE BASED ON SYNTHETIC APERTURE RADAR DATA

SAMED ADALI

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHICAL INFORMATION TECHNOLOGIES PROGRAM

ADVISOR: PROF. DR. UMUT GÜNEŞ SEFERCİK

JANUARY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 21/01/2025 tarih ve 2025/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/01/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Samed ADALI'nın tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

ÜYE : Doç. Dr. İsmail ÇÖLKESEN

ÜYE : Prof. Dr. Naci YASTIKLI

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

……/……./..…… tarih ve …..…/…..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasında, farklı coğrafyalarda meydana gelen büyük depremlerin yüzey deformasyonlarına etkileri, uydu tabanlı radar interferometri yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, 6 Şubat 2023'te Türkiye'nin Kahramanmaraş ilinde meydana gelen ve geniş bir alanı etkileyen 7.8 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler, 20 Şubat 2023'te Hatay'ın Defne ilçesinde meydana gelen 6.4 büyüklüğündeki deprem ile 2016 yılında Japonya'nın Kumamoto bölgesinde meydana gelen Mw 7.0 büyüklüğündeki deprem analiz edilmiştir. Bu depremler, yüzey deformasyonlarının yüksek hassasiyetle modellenmesi için Sentinel-1 uydu görüntüleri ve DInSAR tekniklerinin kullanıldığı kapsamlı bir çalışma alanı oluşturmuştur.

Yüzey deformasyonlarının tespiti ve mekânsal analizleri için interferogramlar ve yer değiştirme (displacement) haritaları üretilmiş ve bu veriler kullanılarak deformasyonun büyüklüğü ve dağılımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. İnterferometrik radar verilerinden elde edilen sonuçlar, hem yatay hem de düşey yer değiştirme miktarlarının hassas bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Tez çalışmasında üretilen bu haritalar, bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) platformu olan GeoServer kullanılarak yayınlanmış ve kullanıcı dostu bir web uygulaması üzerinde sunulmuştur. Uygulama, React.js, Tailwind CSS, Ant Design ve MapLibre GL gibi modern web teknolojileri kullanılarak geliştirilmiş, haritaların dinamik ve etkileşimli bir şekilde görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bu sistem, depremler sonrası oluşan yüzey deformasyonlarının hem bilimsel hem de kamuya açık bir şekilde paylaşılmasına olanak tanımıştır.

Sonuç olarak, bu tezde geliştirilen yöntem ve teknolojiler, depremler sonrası yüzey deformasyonlarının hassas bir şekilde izlenmesi, analiz edilmesi ve paylaşılmasına yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Çalışma, aynı zamanda afet yönetimi ve risk analizi süreçlerine destek olacak yenilikçi bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: DInSAR, GeoServer, React.js, MapLibre GL, CBS tabanlı web uygulaması.

ABSTRACT

This thesis analyzes the impact of major earthquakes in different geographical regions on surface deformations using satellite-based radar interferometry methods. The study examines the 7.8 and 7.6 magnitude earthquakes that occurred on February 6, 2023, in Türkiye's Kahramanmaraş province, the 6.4 magnitude earthquake that struck Hatay's Defne district on February 20, 2023, and the Mw 7.0 earthquake that occurred in 2016 in Japan's Kumamoto region. These earthquakes provided a comprehensive study area for modeling surface deformations with high precision using Sentinel-1 satellite imagery and DInSAR techniques.

Interferograms and displacement maps were produced to detect and analyze the spatial patterns of surface deformations. The results derived from interferometric radar data allowed for the accurate assessment of both horizontal and vertical displacements.

The maps created in this thesis were published using GeoServer, a geographic information system (GIS) platform, and presented via a user-friendly web application. The application was developed using modern web technologies, including React.js, Tailwind CSS, Ant Design, and MapLibre GL, enabling dynamic and interactive visualization of the deformation data. This system facilitated both scientific research and public access to information on earthquake-induced surface deformations.

In conclusion, the methods and technologies developed in this study provide significant contributions to the precise monitoring, analysis, and dissemination of surface deformations following major earthquakes. The work also introduces an innovative approach to supporting disaster management and risk analysis processes.

Keywords: DInSAR, GeoServer, React.js, MapLibre GL, GIS-based web application.

TEŞEKKÜR

Bitirme tezi kapsamında yapılan çalışmaların yürütülmesinde her konuda bilgi, birikim ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK hocama,

Lisans ve lisansüstü hayatım boyunca ders alma şansı bulduğum, her konuda bilgi ve desteklerini yanı başımızda hissettiğim, öğrencileri olduğum için mutluluk ve gurur duyduğum tüm hocalarıma,

Hayatımın her döneminde sağlamış oldukları maddi ve manevi destekleri ile bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme,

Manevi desteklerini daima hissettiğim tüm arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon	1
1.2. Çalışmanın Yapısı	2
2. LİTERATÜR	4
2.1. Haritacılık Teknolojileri İçinde Uzaktan Algılama	4
2.2. Yapay Açıklıklı Radar Teknolojisi	8
2.3. SAR Teknolojisi ile Afet İzleme	10
2.3.1. Heyelan	11
2.3.2. Tasman	13
2.3.3. Volkanik Aktivite	15
2.3.4. Sel	17
2.3.5. Deprem	18
2.4. Bilgi Sistemleri	20
2.5. Arayüz Oluşturma	21
3. METODOLOJİ	23
3.1. Deprem Bilgi Sisteminin Oluşturulması	23
3.1.1. Harita Kütüphanelerinin Karşılaştırılması	23
3.1.1.1. Leaflet	23
3.1.1.2. Mapbox GL JS	23
3.1.1.3. OpenLayers	24
3.1.1.4. Esri JavaScript API	24
3.1.1.5. MapLibre	24
3.1.2. Kullanıcı Arayüzü Geliştirilmesi	25
3.1.2.1. Ant Design	25
3.1.2.2. Tailwind CSS	26
3.1.2.3. Ant Design ve Tailwind CSS'nin Birlikte Kullanımı	26
3.1.3. GeoServer Kurulumu	27
3.2. SAR Görüntülerinden Deprem Haritalarının Üretilmesi	32
3.3. SAR Haritalarının Deprem Bilgi Sistemine Entegrasyonu	35
4. UYGULAMA VE BULGULAR	38
4.1. Kahramanmaraş Depremleri	38
4.2. Hatay Defne Depremi	44
4.3. Japonya Kumamoto Depremi	46
4.4. Geliştirilmiş Deprem Bilgi Sistemi Uygulaması	49

5. SONUÇLAR VE GELECEK HEDEFLERİ 56

KAYNAKLAR 58
ÖZGEÇMİŞ 64
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR 65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DSM	: Sayısal Yüzey Modeli
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KBS	: Kent Bilgi Sistemleri
km	: Kilometre
LOS	: Görüş Hattı
m	: Metre
mm	: Milimetre
Mw	: Magnitude
RADAR	: Radio Detection and Ranging
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması
WMS	: Web Map Service

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1: Uzaktan Algılama Sistemleri 7
Şekil 3.1: İşlem Adımları 34
Şekil 4.1: Kahramanmaraş Depremi Çalışma Alanı 38
Şekil 4.2: Kahramanmaraş ilinde meydana gelen 7.8 ve 7.6 büyüklüğündeki iki depremin ve ≥5 Mw büyüklüğündeki çok sayıda artçı depremin diferansiyel interferogramı 40
Şekil 4.3: Kahramanmaraş Depremi Görüş Hattı (LOS) Yer Değiştirme Haritası 42
Şekil 4.4: Kahramanmaraş Depremi Dikey (solda) ve yatay yönlerde (sağda) deformasyon haritaları 43
Şekil 4.5: Hatay Defne Depreminin Diferansiyel İnterferogramı 45
Şekil 4.6: Hatay Defne Depremi Görüş Hattı (LOS) Yer Değiştirme Haritası 46
Şekil 4.7: Japonya Depreminin Diferansiyel İnterferogramı 48
Şekil 4.8: Japonya Depremi Görüş Hattı (LOS) Yer Değiştirme Haritası 49
Şekil 4.9: Uygulama İlk Açılış Ekranı 50
Şekil 4.10: Son 30 Güne Ait Depremlerin Gösterimi 50
Şekil 4.11: Magnitude Filtresi 51
Şekil 4.12: Ülke Filtresi 51
Şekil 4.13: Filtre Sonuç Bulamazsa Gözüken Ekran 52
Şekil 4.14: Adres Arama 52
Şekil 4.15: Ölçüm Aracı Mesafe ve Alan 53
Şekil 4.16: Katmanlar Liste Görünümü 53
Şekil 4.17: Katmanlar Detay 54
Şekil 4.18: Harita Eklenen Katman Görünümü 54
Şekil 4.19: Katman Opaklık Ayarı 55

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1: Kahramanmaraş Depreminde Kullanılan Uydu Görüntüleri	39
Tablo 4.2: İl İl İnterferogramlar	41
Tablo 4.3:Hatay Defne Depreminde Kullanılan Uydu Görüntüleri	44
Tablo 4.4: Japonya Depreminde Kullanılan Uydu Görüntüleri	47

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

Depremler, yerkürenin doğal dinamiklerinin bir sonucu olarak insanlık tarihinde önemli yıkımlara ve kayıplara yol açan afetler arasında yer almaktadır. Yer kabuğunda meydana gelen ani enerji boşalmaları, sadece fiziksel çevreyi değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik yapıları da derinden etkilemektedir. Özellikle deprem sonrası süreçlerde, afetin etkilerinin doğru ve hızlı bir şekilde tespit edilmesi, hasar analizi yapılması ve afet yönetimi stratejilerinin uygulanabilmesi için güvenilir verilere olan ihtiyaç oldukça kritiktir.

Son yıllarda, uzaktan algılama teknolojileri ve yer gözlem uydularının yanı sıra coğrafi bilgi sistemleri (CBS) alanında yaşanan gelişmeler, doğal afetlerin etkilerinin tespit edilmesi ve görselleştirilmesi için güçlü araçlar sunmaktadır. Depremlerin yol açtığı deformasyonların hassas bir şekilde analiz edilmesi, bu teknolojilerin sunduğu yüksek çözünürlüklü ve geniş kapsamlı veri setleri sayesinde mümkün hale gelmiştir. Özellikle, uzaktan algılama verilerinin CBS ile entegrasyonu, afet yönetimi ve karar destek sistemleri için kritik bir altyapı oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, Diferansiyel İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (DInSAR) yöntemi, uydu tabanlı radar görüntülerinin analizi ile yer yüzeyindeki hareketlerin hassas bir şekilde haritalanmasına olanak tanımaktadır. DInSAR, farklı zamanlarda alınan radar görüntüleri arasındaki faz farklarını kullanarak, yüzeydeki milimetre düzeyindeki deformasyonları dahi tespit edebilmektedir. Bu yöntem, yalnızca büyük depremler sonrası hasar analizlerinde değil, küçük ölçekli yer hareketlerini anlamak ve uzun vadeli deformasyon süreçlerini izlemek için de sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Türkiye'de son dönemde meydana gelen Kahramanmaraş depremleri başta olmak üzere farklı depremlere ait deformasyon haritaları, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca, USGS (Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu) tarafından sağlanan gerçek zamanlı deprem verileri de entegrasyonu sağlanarak, dinamik ve güncel bir bilgi sistemi oluşturulmuştur.

Çalışmanın odak noktası, üretilen deformasyon haritalarının ve gerçek zamanlı deprem verilerinin kullanıcı dostu bir web tabanlı platformda görselleştirilmesidir. Bu amaçla React, MapLibre ve Tailwind gibi modern web teknolojileri kullanılarak bir bilgi sistemi geliştirilmiş ve GeoServer üzerinden sunulan verilerle etkileşimli bir deneyim sağlanmıştır. Bu sistem, kullanıcıların hem geçmiş hem de güncel verilere erişimini kolaylaştırarak, afet yönetimi süreçlerine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Deprem sonrası bilgilere erişimi hızlandırmak ve bu bilgileri herkes için erişilebilir hale getirmek, bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu kapsamda, geliştirilen sistemin yalnızca bilimsel çalışmalara değil, aynı zamanda karar alıcılar ve afet yönetim birimleri için de pratik bir araç olarak hizmet etmesi amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Yapısı

Bu tez çalışması, deprem bilgi sistemi oluşturulması ve web tabanlı sunumu konusunu ele almakta olup beş ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan Giriş bölümünde, çalışmanın amacı, kapsamı ve önemi ele alınmaktadır. Depremler ve doğal afetlerin etkilerinin yönetiminde bilgi sistemlerinin rolü vurgulanarak çalışmanın neden gerekli olduğu açıklanmaktadır. Ayrıca, motivasyon alt başlığında, bu çalışmayı yürütme gerekçesi ve problemin çözümüne dair genel bir yaklaşım sunulmaktadır. Çalışmanın yapısı alt başlığında ise tezin genel içeriği ve bölümler arası ilişki detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

İkinci bölüm olan Literatür bölümünde, çalışmanın teorik altyapısını oluşturan kavramlar ve bu alandaki önceki çalışmalar ele alınmaktadır. Öncelikle, uzaktan algılama teknolojilerinin haritacılık alanındaki yeri ve önemi tartışılmakta, ardından yapay açıklıklı radar (SAR) teknolojisinin temel prensipleri açıklanmaktadır. SAR teknolojisinin afet yönetimi ve özellikle depremlerin izlenmesindeki uygulamalarına dair literatürdeki örnekler sunulmaktadır. Ayrıca, coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) afet yönetiminde sağladığı katkılar ve kullanıcı dostu arayüz tasarımı için dikkate alınması gereken temel prensipler ele alınarak bilgi sistemleri ve arayüz oluşturma konularına odaklanılmıştır.

Üçüncü bölüm olan Metodoloji kısmında, çalışmada kullanılan yöntemler ve veri işleme süreçleri detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle bir

deprem bilgi sisteminin nasıl tasarlandığı ve hangi işlevleri içerdiği ele alınmaktadır. Ardından, Sentinel-1 uydu verileri kullanılarak DInSAR yöntemiyle deformasyon haritalarının üretilme süreci ve bu haritaların deprem bilgi sistemine entegrasyonu için kullanılan teknikler ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır.

Dördüncü bölüm olan Uygulama ve Bulgular kısmında ise geliştirilen sistemin uygulanma süreci ve elde edilen bulgular ele alınmaktadır. Bu bölümde, çalışma alanları olarak belirlenen dünya ölçeğinde yapılan üretimler, Kahramanmaraş ve Japonya depremleri detaylı bir şekilde incelenmektedir. Ayrıca, geliştirilen deprem bilgi sisteminin görselleştirme yetkinlikleri ekran görüntüleriyle sunulmakta ve sistemde yer alan özellikler açıklanmaktadır. Üretilen SAR deformasyon haritalarının Kahramanmaraş ve Japonya depremleri için elde edilen sonuçları detaylandırılmış ve bu haritaların sistem içerisindeki entegrasyonu aktarılmıştır.

Son olarak, Sonuçlar ve Gelecek Hedefler bölümünde, çalışmanın temel bulguları özetlenmekte ve elde edilen sonuçların literatüre ve uygulamaya katkıları tartışılmaktadır. Ayrıca, gelecekte yapılabilecek çalışmalar ve bu sistemin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR

2.1. Haritacılık Teknolojileri İçinde Uzaktan Algılama

Haritacılık teknolojileri, yeryüzünün fiziksel ve coğrafi özelliklerini detaylı bir şekilde haritalandırmayı amaçlayan yöntemlerin sürekli gelişim gösterdiği bir alandır. Uzaktan algılama, bu teknolojilerin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Uzaktan algılama; inceleme altındaki herhangi bir cisim, alan, herhangi bir obje hakkında temas olmadan bir aygıt tarafından onlar hakkında toplanan verilerin çözümlenmesi yoluyla bilgi elde etmenin bilim ve sanatıdır **[Lillesand vd., 2018]**. Yüksek çözünürlüklü, doğru ve hızlı veri elde etme kapasitesiyle uzaktan algılama, haritacılığın geleneksel yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Uydu ve hava tabanlı sensörler aracılığıyla yeryüzünün büyük alanlarını kısa sürede kapsayabilmesi, özellikle geniş ölçekli projelerde etkili bir çözüm sunar.

Uzaktan algılamanın en önemli avantajlarından biri, geçmişe ait verilere ulaşma imkânıdır. Uydu görüntüleri ve diğer uzaktan algılama verileri, yıllar öncesine dayanan kayıtları sağlayarak, çevresel değişimlerin, kentleşmenin veya doğal afetlerin etkilerinin uzun vadeli analizine olanak tanır. Bu durum, tarihsel veri analizleri gerektiren çalışmalarda eşsiz bir kaynak oluşturur. Diğer bir avantaj ise zorlu coğrafi koşullarda veri toplama kapasitesidir. Dağlık bölgeler, yoğun bitki örtüsü veya ulaşılması güç alanlar gibi zorlu araziler, geleneksel haritacılık yöntemleriyle kapsamlı bir şekilde haritalandırılamazken, uzaktan algılama bu engelleri aşarak yüksek doğrulukla veri toplayabilir.

Bunun yanı sıra, uzaktan algılama teknolojisi, yalnızca geçmiş verilerle sınırlı kalmayıp, anlık ve sürekli gözlem olanağı sağlayarak kriz yönetiminde de kritik bir rol oynar. Doğal afetler, savaş veya çevresel felaketler sırasında uydu ve hava tabanlı sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı bilgi edinmek mümkündür. Bu, afet müdahale ekiplerinin daha etkili planlama yapmasına ve müdahale süreçlerinin hızlanmasına olanak tanır. Örneğin, sel, yangın veya volkanik patlamalar sırasında hasar gören bölgelerin hızla haritalandırılması, yaşam kurtarıcı önlemlerin alınmasını kolaylaştırır.

Uzaktan algılama, aynı zamanda tekrarlayan veri toplama olanağı sunar. Sensörler aracılığıyla aynı bölgenin belirli aralıklarla gözlemlenmesi, arazi kullanımı değişiklikleri, tarımsal faaliyetler veya doğal afetlerin etkilerinin düzenli olarak izlenmesini mümkün kılar. Bu özellik hem çevresel yönetim hem de planlama süreçleri için kritik bir avantajdır. Ayrıca, geniş bir spektral aralıkta veri toplama yeteneği sayesinde, yeryüzü malzemelerinin özellikleri hakkında bilgi edinme ve sınıflandırma gibi uygulamalar da uzaktan algılama ile gerçekleştirilebilir.

Uzaktan algılama teknolojisi, geniş bir coğrafi alanda homojen veri sağlayabilmesiyle de öne çıkar. Geleneksel ölçüm yöntemlerinde, özellikle büyük alanların haritalandırılmasında, ölçüm noktalarının homojenliği sağlamak zordur. Uzaktan algılama ise geniş alanların tamamını yüksek çözünürlükte kapsayarak hem doğru hem de tutarlı veriler elde edilmesini sağlar. Bu, bölgesel veya küresel ölçekte analiz yapılmasını mümkün kılar.

Bir diğer önemli avantaj ise maliyet ve zaman tasarrufu sağlamasıdır. Geleneksel arazi ölçüm yöntemleri, yoğun iş gücü, uzun zaman dilimleri ve yüksek maliyet gerektirirken, uzaktan algılama geniş alanlarda kısa sürede veri toplama yeteneği ile bu süreçleri büyük ölçüde optimize eder. Bununla birlikte, elde edilen veriler dijital formatta olduğu için, analiz ve entegrasyon süreçlerinde modern coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile kolayca uyumlu hale getirilebilir.

Ayrıca, uzaktan algılama farklı bilim dalları arasında entegrasyonu kolaylaştırır. Tarım, ormancılık, su yönetimi, jeoloji ve şehir planlama gibi birçok disiplinde kullanılabilen bu teknoloji, disiplinler arası projelerde önemli bir veri kaynağıdır. Örneğin, tarımsal faaliyetlerde mahsul sağlığının izlenmesi, sulama ihtiyaçlarının belirlenmesi veya toprak yapısının analiz edilmesi gibi süreçler, uzaktan algılama ile daha verimli hale gelir.

Uzaktan algılama, karbon emisyonları, buzulların erimesi veya deniz seviyesindeki değişimler gibi küresel çevre sorunlarının izlenmesinde de önemli bir araçtır. Özellikle polar bölgeler gibi ulaşılması güç ve çevresel değişimlere karşı hassas bölgelerde sağladığı sürekli veri akışı, bu tür çalışmalarda vazgeçilmezdir. Sürekli gelişen algoritmalar ve yapay zekâ tabanlı analiz yöntemleri sayesinde, uzaktan algılama teknolojisi daha karmaşık ve yüksek doğruluklu modellemelerin yapılmasına olanak

tanır. Bu, sadece mevcut durumun analizi değil, aynı zamanda gelecekteki senaryoların tahmin edilmesi açısından da büyük bir avantaj sağlar.

Uzaktan algılama sayesinde dijital formatta görüntüler elde edilerek, projeye uygun analizler gerçekleştirilebilir. Kullanılan sensörler ve bu analizler sayesinde nesnelerin gözle görülemeyen özellikleri tespit edilebilmektedir. Tehlikeli ve ulaşılması güç alanlarda kolaylıkla veri elde etme olanağı da bir diğer avantajıdır.

Uzaktan algılama sistemleri başlıca bulundukları platformun konumuna ve kullandıkların sensör tipine göre sınıflandırılmaktadırlar. Bulundukları platformun konumuna göre üç sınıfa ayrılır. Bunlar;

- Uzay Platformları ile Uzaktan Algılama: Uzaya gönderilen platformlara entegre edilen sensörler ile veri toplama türüdür. Çok geniş alanlarda yıllarca çalışabilirler. Ancak mekânsal çözünürlükleri diğer türlere göre düşüktür.

- Hava Araçlarından Uzaktan Algılama: Uçak, İHA gibi araçlara entegre edilen algılayıcı sistemler vasıtasıyla yapılan uzaktan algılamadır. Özellikle İHA'ların uçaklara göre çok daha alçak irtifadan uçabilme olanakları sebebiyle çok yüksek çözünürlüklü veriler elde edilebilmektedir.

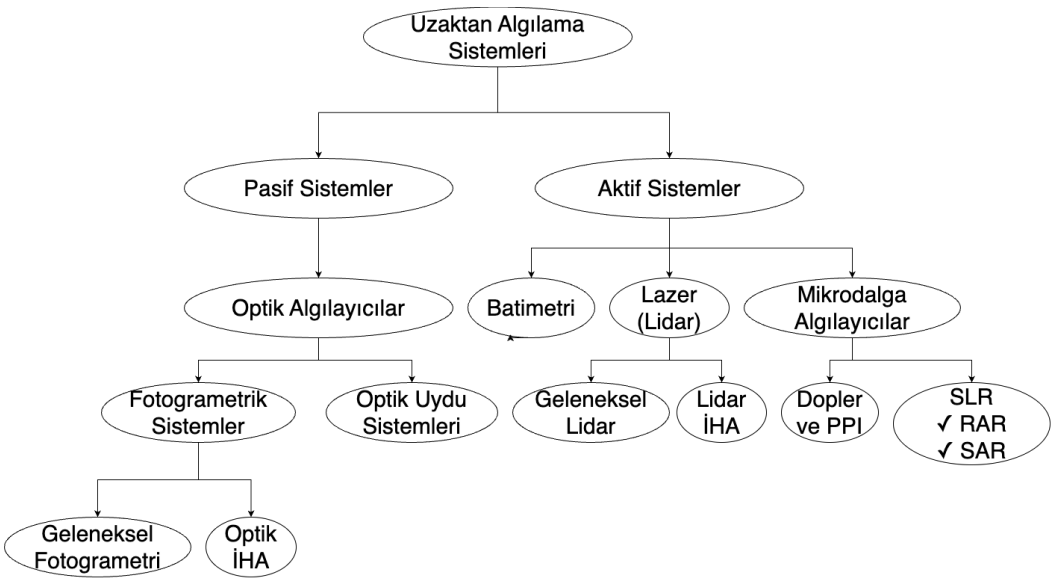
- Yer Platformları ile Uzaktan Algılama: Görüntü alınan alanın çok küçük olduğu ve detaylı araştırma isteyen projelerde tercih edilen, platformunda alana yakın olması sebebiyle çok yüksek mekânsal çözünürlük elde edilebilen platformlardır.

Platformlara entegre edilen algılayıcıların kullandıkları enerji türüne göre pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılır.

- Pasif algılayıcılar; güneşten gelen enerjiyi kullanarak, objeden yayılan veya yansıyan enerjiden gelen dalga boyuna göre veri elde ederler. Genellikle daha ekonomik algılayıcılardır. Kendi enerjileri olmadığından, bağlı olduğu enerji kaynağının veriminden etkilenir ve buna bağlı olarak gece kullanılamazlar. Optik kameralar, multispektral/hiperspektral kameralar, termal kızılötesi sensörler başlıca örnekleridir.

- Aktif algılayıcılar; kendi enerji kaynakları vardır. Veri almak istedikleri objeye gönderdikleri ışıma veya elektronun dönüş şiddetine, süresine bağlı olarak çıkarım yaparlar. Kendi enerjileri olduğundan hava şartlarından etkilenmezler, gece de çalışabilir. Güneşten gelen dalga boyu aralıklarında (mikrodalga gibi) görüntüleme

imkânı vardır. Bunların yanında yüksek maliyetlidirler. Radar, lidar ve sonar sistemler başlıca bilinen aktif sensörlerdir.



Şekil 2.1: Uzaktan Algılama Sistemleri

Aktif algılama ise, kendi enerji kaynağını kullanarak hedef yüzeye elektromanyetik dalgalar gönderir ve bu dalgaların yansımasını ölçer. RADAR (Radio Detection and Ranging) teknolojisi, bu aktif algılama yöntemlerinden biridir ve bu özelliği sayesinde gece-gündüz fark etmeksizin veri toplayabilir. Ayrıca, yoğun bulut örtüsü, sis, kar veya yağmur gibi hava koşullarından etkilenmeden çalışabilmesi, RADAR'ı zorlu coğrafi ve meteorolojik koşullarda vazgeçilmez bir araç haline getirir.

Uzaktan algılama teknolojileri, aktif ve pasif algılama yöntemlerinin sağladığı çok yönlü avantajlarla haritacılık alanında vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Bu yöntemlerin sağladığı yüksek çözünürlüklü, kapsamlı ve güvenilir veri toplama kapasitesi, yeryüzünün daha iyi anlaşılmasını, daha verimli yönetilmesini ve farklı disiplinler arası çözümler sunulmasını mümkün kılmaktadır. RADAR teknolojisinin bu bağlamdaki katkıları, özellikle zorlu koşullarda ve karmaşık analizlerde ön plana çıkmaktadır ve haritacılık uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır.

2.2. Yapay Açıklıklı Radar Teknolojisi

Radar teknolojisi, optik algılama sistemlerinin sınırlamalarını aşmak için geliştirilmiş ve günümüzde geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılan bir yöntemdir. Optik algılama sistemleri, kamera düzeneklerine dayanan pasif sistemler olarak, algılayıcı sensör ile hedef yüzey arasına bulut, sis, yoğun bitki örtüsü veya kar gibi engellerin girmesi durumunda işlevlerini yitirir. Ayrıca, optik sistemlerin gece çalışma kapasitesi bulunmadığından, güneş ışığına bağımlılık, bu sistemlerin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu tür sınırlamaları aşma gereksinimi, radar teknolojisinin ortaya çıkışına zemin hazırlamıştır.

Radar, ilk olarak askeri amaçlarla, özellikle II. Dünya Savaşı sırasında gece bombardımanları için geliştirilmiştir. Bu teknoloji, anten boyutunun büyüklüğü ile doğru orantılı olarak çözünürlük sağlama prensibine dayanmaktadır. Ancak, pratikte anten boyutunun artırılması sınırlamalar yaratmıştır. Bu sorun, antenin uzunluk etkisinin matematiksel yöntemlerle yapay olarak simüle edilmesiyle aşılmış ve Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar - SAR) teknolojisi geliştirilmiştir. SAR, hareketli bir radar anteninin farklı konumlardan elde ettiği yansımaları birleştirerek büyük bir antenin sağlayacağı çözünürlüğü "yapay" olarak üretir.

SAR teknolojisi, elektromanyetik dalgaları kullanarak gece ve gündüz, tüm hava koşullarında yüksek çözünürlüklü görüntüler oluşturma kapasitesine sahiptir. Özellikle doğal engellerin ötesini görme yeteneği, bu sistemi arazi analizi, doğal afet yönetimi ve çevresel değişimlerin izlenmesi gibi kritik alanlarda vazgeçilmez kılmaktadır. SAR verileri, interferometri (InSAR) gibi gelişmiş matematiksel yöntemlerle işlenerek, yüzey deformasyonlarının milimetre düzeyinde ölçülmesini sağlar. Bu teknoloji, depremler, volkanik aktiviteler ve altyapı deformasyonlarının analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, polaryometri ve zaman serisi analizleri, yüzeyin fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi ve uzun vadeli değişimlerin izlenmesi için önemli katkılar sağlamaktadır.

Uzay tabanlı Radar sistemlerinin sivil amaçlarla ilk kullanımı, 1978 yılında SeaSat-1 deneysel Dünya gözlem misyonuyla gerçekleşmiştir. Ardından, 1982 yılında NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilen Shuttle Imaging Radar (SIR-A), askeri olmayan ilk Radar sistemi olarak uzaya fırlatılmıştır. Bu dönemde, Fransa, Rusya ve Japonya gibi ülkeler de ABD'yi izleyerek uzay Radar misyonlarını

geliştirmeye başlamıştır. Bu teknolojiler, dünya yüzeyinin geniş alanlarda haritalanması ve değişimlerin izlenmesi gibi bilimsel ve pratik uygulamalara olanak tanımıştır.

2000 yılında gerçekleştirilen Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), uzay Radar teknolojisinin bilimsel çalışmalarda kullanımını önemli ölçüde artırmıştır. Bu misyon, 11 günlük kısa görev süresi boyunca, Dünya'nın yaklaşık ±60° kuzey ve güney enlemleri arasındaki bölgelerini kutuplar hariç görüntüleyerek, küresel dijital yüzey modellerinin interferometrik yöntemlerle üretilmesine olanak sağlamıştır. SRTM, yüksek çözünürlüklü topografik verilerin oluşturulmasında bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir.

Radar teknolojisinde büyük bir sıçrama, 2007 yılında Alman TerraSAR-X misyonuyla yaşanmıştır. Bu misyon, 1 metre geometrik çözünürlüğe ulaşarak, yüksek doğruluklu görüntüleme ve analizlerde devrim niteliğinde bir ilerleme kaydetmiştir. TerraSAR-X'in 2010 yılında TanDEM-X adlı ikiz uyduyla birlikte çalışması, interferometrik dijital yüzey modellerinin daha yüksek bir doğrulukla üretilmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler, SAR teknolojisinin hem bilimsel hem de ticari alanlarda kullanımını yaygınlaştırmıştır.

SAR teknolojisi günümüzde doğal afet yönetimi, tarım ve ormancılık, şehir planlama, çevresel analiz ve denizcilik gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Deprem, sel ve toprak kayması gibi afetlerin etkilerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi, tarım arazilerinin izlenmesi, kentleşme oranlarının analizi ve buzulların hareketlerinin gözlemlenmesi gibi pek çok alanda SAR verilerinden faydalanılmaktadır **[Lillesand vd., 2018]**.

SAR, bağımsız çalışabilme kapasitesi, yüksek çözünürlük ve geniş uygulama alanıyla uzaktan algılama teknolojileri arasında ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Bu teknoloji, yeryüzü değişimlerinin izlenmesi ve afet yönetimi gibi kritik konularda sağladığı faydalarla, modern bilimin vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir.

2.3. SAR Teknolojisi ile Afet İzleme

Son yıllarda, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen Sentinel-1 uydu görevi, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) verilerine dünya çapında erişimi artırarak afet yönetiminde devrim yaratmıştır. Sentinel-1, yaklaşık 5.55 cm dalga boyunda C-bandı SAR verisi sağlamakta ve çoklu polarizasyon modları sayesinde sadece depremlerin değil, aynı zamanda heyelanlar, volkanik aktiviteler, sel ve yangınlar gibi çeşitli doğal afetlerin izlenmesinde ve yüksek kaliteli Sayısal Yüzey Modellerinin (DSM) üretilmesinde kullanılmaktadır **[Sefercik vd., 2018]**. SAR görüntüleri genellikle iki bileşenden oluşmaktadır: genlik ve faz. Yoğunluk (intensity) görüntüleri, hedefin dokusal özelliklerine bağlı olarak radar sinyalinin geri yansıyan gücünü ölçerken, faz görüntüleri sensör ile hedef arasındaki mesafeyi belirler. Deprem sonrası topografik değişikliklerin belirlenmesinde, afet öncesi ve sonrası aynı SAR sensörü ile alınan görüntüler arasındaki faz farkı kullanılarak diferansiyel interferogramlar oluşturulmaktadır. Bu interferogramlar, yüzey deformasyonlarını milimetre hassasiyetinde tespit etmeyi mümkün kılmaktadır. Faz çözme (phase unwrapping) işleminden sonra elde edilen deformasyon haritaları, yüzeydeki dikey ve yatay yer değiştirmelerin yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır.

SBAS tekniği, sentetik açıklıklı radar görüntü çiftleri arasındaki geometrik baz uzunluklarının sınırlandırılması ile birden fazla interferogramın analizine dayanır. Bu yöntem, deformasyon sinyallerini atmosferik etkilerden ayrıştırarak geniş alanlarda düşük hızda meydana gelen yüzey hareketlerini etkili bir şekilde izler. SBAS'ın geniş ölçekli deformasyon analizlerine uygunluğu, heyelan, volkanik aktiviteler ve deprem sonrası deformasyonların izlenmesinde büyük bir avantaj sunar. Zaman serisi analizleri, yüzey hareketlerinin dinamik olarak modellenmesine olanak tanır ve atmosferik bozulmaları azaltarak analizlerin doğruluğunu artırır.

PSI tekniği ise radar sinyalini sürekli olarak yansıtan kararlı noktaların analizine dayanır ve deformasyonların milimetre hassasiyetinde ölçülmesini sağlar. Bu yöntem, genellikle radar sinyali açısından kararlı olan binalar, kayaçlar ve metal yüzeyler üzerinde odaklanır. PSI, uzun bir zaman serisi boyunca kararlı saçıcı noktaların detaylı analizini yaparak özellikle kentleşmiş bölgelerde yüksek doğruluk sağlar. Kent alanlarındaki binaların çökme riski, altyapı deformasyonları ve madencilik

faaliyetlerinden kaynaklanan yüzey değişimlerinin izlenmesinde bu yöntemden sıklıkla faydalanılır.

Yapay Açıklıklı Radar Tomografisi ise çoklu yörünge radar görüntülerinin üç boyutlu analizine dayanır ve yüzey nesnelerinin derinlik bilgisini çıkarmayı hedefler. Bu yöntem, çoklu görüş açıları kullanarak sentetik bir radar açıklığı oluşturur ve karmaşık yüzey özelliklerinin ya da çok katmanlı yapıların modellenmesinde ileri düzey bir teknik sağlar. Özellikle yüzey altı özelliklerin incelenmesi, yoğun bitki örtüsü altındaki biyokütle tahminleri ve heyelanlardaki tabaka analizleri gibi uygulamalarda tercih edilmektedir. SAR Tomography, şehir alanlarında yapıların detaylı şekilde incelenmesini sağlayarak yıkım risklerinin değerlendirilmesine de katkıda bulunur.

Bu bağlamda, farklı InSAR yöntemlerinin etkin bir şekilde bir araya getirilmesi, afet sonrası yüzey deformasyonlarının izlenmesinde ve önleyici müdahalelerin planlanmasında kritik bir rol oynamaktadır.

2.3.1. Heyelan

Yoğun veya uzun süreli yağışlar, depremler, hızlı şekilde gerçekleşen kar erimesi, volkanik aktiviteler ve çeşitli insan faaliyetleri gibi olaylar heyelan oluşumuna sebep olabilmektedir **[Guzzetti vd., 2012]**. Yerleşim yerlerinde veya yakın bölgelerde gerçekleşen heyelanlar, can kaybına, bina ve altyapıda hasar oluşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle bu bölgelerde gerçekleşen heyelan olaylarının izlenmesi ve buna karşı önlem alınması gerekmektedir.

Heyelan envanter haritaları, hava fotoğraflarının yorumlanıp arazi çalışmalarıyla desteklenmesi gibi geleneksel yöntemlerle veya optik uydu ve SAR sistemleri gibi modern uzaktan algılama teknikleriyle elde edilmektedir. Bu haritalar sayesinde belirli bir zaman aralığında bir bölgede gerçekleşen heyelan olayları tespit edilip kayıt altına alınmaktadır. Heyelan envanter haritalarından yararlanılarak heyelan riski taşıyan bölgeler belirlenip duyarlılık analizleri gerçekleştirilmekte, çok zamanlı olarak oluşturulan envanterler ise heyelan olaylarının izlenmesine olanak sağlamaktadır **[Guzzetti vd., 2000]**.

InSAR teknikleri, bir bölgedeki heyelan olayının tespit edilmesi **[Rosi vd., 2018]**, heyelan etki alanının sınırlarının belirlenmesi **[Dai vd., 2021]**, heyelan yer değiştirme veya deformasyon hızının tahmin edilmesi **[Cenni vd., 2021]**, heyelan aktivite

durumunun belirlenmesi **[Tiwari vd., 2021]** ve heyelan tipinin sınıflandırılmasında **[Crippa vd., 2021]** kullanılmaktadır.

Polonya Karpat Dağları bölgesindeki Roznow Gölü çevresinde heyelan envanter haritasının güncellenmesi amacıyla Pawluszek-Filipiak ve diğerleri, farklı tarih ve yörüngelerdeki ALOS PALSAR, Sentinel-1A ve Sentinel-1A/B SAR görüntülerini kullanarak PSI yöntemiyle heyelan olaylarını tespit etmişlerdir. Çalışmada, 205 adet heyelan olayından 130 tanesi için faaliyet durumu güncellenmiş ve potansiyel hasar haritaları üretilmiştir. Ayrıca Sentinel-1A/B görüntülerinin daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir **[Pawluszek-Filipiak vd., 2021].**

Kuzeybatı Sicilya'da yer alan Piana degli Albanesi ve Marineo bölgelerinde heyelan envanter haritalarını yenilemek için COSMO-SkyMed uydusundan elde edilen SAR görüntüleri ile SBAS analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda 84 adet heyelan doğrulanmış, 67 yeni heyelan tespit edilmiş ve 79 adet heyelana ait aktivite durumu güncellenmiştir **[Novellino vd., 2017]**.

Yoğun bitki örtüsüne sahip Malezya Cameron Dağlık Bölgesi'ndeki heyelanları tespit etmek amacıyla, yüksek dalga boyuna sahip ALOS PALSAR uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Yapılan DInSAR analizi sonucunda yatay yer değiştirme hareketinin 1 ile 10 m arasında değiştiği tespit edilmiş ve sonuçlar GNSS gözlemleriyle karşılaştırılarak yüksek doğruluk elde edilmiştir **[Jebur vd., 2015]**.

Çin'in Sichuan vilayetinde 2008 yılında gerçekleşen Wenchuan Depremi sonucunda meydana gelen Daguangbao heyelanının deformasyon zaman serilerini incelemek için 2008-2011 yılları arasındaki ALOS PALSAR-1 ve 2015-2020 yılları arasındaki Sentinel-1 görüntüleri kullanılarak SBAS yöntemiyle heyelan analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, düşey yönde maksimum 80 mm/yıllık ve doğu-batı yönünde ±35 mm/yıllık deformasyon hızları tespit edilmiştir **[Luo vd., 2020]**.

Heyelan analizlerinde SAR uydularının dışında optik veya LiDAR hava sistemlerinden ve yersel ölçme tekniklerinden de yararlanılmaktadır. Örneğin, İspanya'nın Alicante vilayetinde derin tabanlı bir heyelanı incelemek için DInSAR, LiDAR ve yersel gözleme dayalı teknikler entegre edilerek heyelan deformasyon hızları ±3 mm/yıllık ile -7.43 mm/yıllık arasında tespit edilmiştir **[Pastor Navarro vd., 2019]**.

Elde edilen deformasyon hızları, heyelanların aktivite durumunu, tipini ve ilerleme hızını sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Endonezya Yogyakarta Şehri'ndeki heyelan olaylarını tespit etmek için 4 adet ALOS PALSAR görüntüsü ile DInSAR analizi gerçekleştirilmiş ve yıllık deformasyon hızlarının 5.2 cm ile 57.9 cm arasında değiştiği belirlenmiştir **[Putri vd., 2013]**.

Yukarıda verilen örnekler, heyelan tespiti ve izlenmesi için kullanılan çeşitli uzaktan algılama yöntemlerinin etkinliğini göstermektedir. SAR verileri, özellikle yüksek çözünürlüklü ve farklı tarihli görüntülerle birlikte kullanıldığında, heyelanların zaman içindeki hareketlerini ve deformasyonlarını doğru bir şekilde izleme imkanı sunmaktadır. Bununla birlikte, farklı tekniklerin bir arada kullanılması, elde edilen sonuçların doğruluğunu artırmakta ve heyelan olaylarının daha detaylı bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Gelecekte, bu tür uzaktan algılama yöntemlerinin geliştirilmesi ve daha geniş bir alanda uygulanması, heyelan riski taşıyan bölgelerde daha etkili bir izleme ve müdahale imkanı sağlayabilir.

2.3.2. Tasman

Tasman, yer altında bulunan materyallerin hareketiyle yer yüzeyinin kademeli olarak alçalması veya ani çökmesi sonucu gerçekleşen bir doğa olayıdır **[Galloway vd., 1999]**. Tasman, deprem ve sel gibi ani doğal felaketlerle karşılaştırıldığında daha yavaş ilerleyen bir olay olmasına rağmen, bina, yol, elektrik hatları gibi insan yapımı yapılarda ciddi hasarlara yol açabilmektedir **[Strozzi vd., 2001]**. Bu sebeplerle tasman sonucu oluşan deformasyonun tespit edilmesi ve erken uyarı sistemlerinin kurulması, oluşabilecek hasarlara karşı önlem almak adına büyük önem taşımaktadır.

Almanya'daki Ren kömür yataklarında bulunan üç açık ocak maden alanında, şev stabilitesi ve deformasyon miktarlarının tespiti amacıyla Tang vd. (2020), Sentinel-1A ve TerraSAR-X görüntülerini kullanarak SBAS analizleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, bu alanlardaki deformasyon hızlarının sırasıyla 500 mm/yıl, 380 mm/yıl ve 310 mm/yıl değerlerini aştığı belirlenmiş ve bu deformasyonların nedenlerini araştırmak için yeraltı suyu miktarlarıyla karşılaştırmalar yapılmıştır **[Tang vd., 2020]**. Ancak SBAS tekniğinin genellikle çok sayıda ve çok zamanlı SAR görüntüsü gerektirmesi, erken uyarı sistemleri için hızlı müdahale olasılığını kısıtlayan bir etken olmuştur.

Çin'in Wuhan şehrinde meydana gelen geniş çaplı tasmanların belirlenmesi amacıyla Zhou vd. (2017), Sentinel-1A uydu görüntülerini kullanarak SBAS analizi yapmış ve elde edilen sonuçları yersel nivelman gözlemleriyle karşılaştırarak yüksek bir korelasyon elde etmiştir. Bu çalışmada, bölgedeki ortalama deformasyon miktarının -82 mm/yıl ile 18 mm/yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir **[Zhou vd., 2017]**. Aynı bölgede gerçekleştirilen başka bir çalışmada, RADARSAT-2 görüntüleri kullanılarak yapılan SBAS analizinde deformasyon miktarlarının -52 mm/yıl ile 28 mm/yıl arasında olduğu belirlenmiştir **[Zhang vd., 2019]**. İki çalışmanın farklı sonuçlar ortaya koymasının temel nedeninin, kısa zaman aralıklarında gerçekleşen tasman olaylarının uzun zamanlı gözlemlerle tespit edilememesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bitki örtüsünün yoğun olduğu kırsal alanlarda SBAS tekniği ile gerçekleştirilen analizlerde düşük yoğunluklu ve düzensiz bir kapsama alanı gibi zorluklarla karşılaşılmıştır. Bu tür durumların üstesinden gelmek amacıyla geliştirilen Aralıklı SBAS (ISBAS) yöntemi, yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda tasman miktarlarının tespit edilmesini mümkün kılmıştır **[Gee vd., 2016; Sowter vd., 2013]**.

Huang vd. (2019), Çin'in Shandong vilayetinde yer alan Ge-Ting kömür madenindeki tasman deformasyonlarını tespit etmek amacıyla ENVISAT SAR görüntülerini kullanarak PSI analizi gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda, yavaş ilerleyen deformasyon hareketlerinin 0 ile -58 cm/yıl arasında değişen oranlarda olduğu belirlenmiştir **[Huang vd., 2019]**.

İtalya'nın Toskana bölgesinde tasman kaynaklı deformasyonları haritalamak amacıyla Rosi vd. (2016), ENVISAT SAR görüntülerine dayalı PSI analizi yapmıştır. Çalışmada, bölgedeki ortalama deformasyon miktarının 10 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Ancak kullanılan uydunun düşük görüntüleme sıklığı nedeniyle, deformasyon hareketlerinin daha hızlı tespit edilemediği ifade edilmiştir. Bu tür analizlerde, PSI yönteminin uydu bakış yönüne bağlı olarak arazinin topoğrafyası ve yöneliminin deformasyon ölçümlerinin doğruluğunu etkileyebileceği belirtilmiştir **[Rosi vd., 2016]**.

Grzovic Ghulam (2015), ABD'nin Springfield şehrindeki maden çalışmaları kaynaklı tasmanı tespit etmek için ERS-1/2 ve ALOS PALSAR görüntülerini kullanmışlardır. Çalışmada, maden alanındaki maksimum deformasyon 1992-2000 yılları arasında -4.1 mm/yıl, 2007-2011 yılları arasında ise -35.9 mm/yıl olarak tespit edilmiştir. PSI sonuçlarındaki nokta yoğunluğu, SBAS ile karşılaştırıldığında daha kaba olmuştur ve

bu durum, çalışma alanındaki yoğun vejetasyonun etkisiyle ortaya çıkmıştır **[Grzovic Ghulam, 2015]**.

Sonuç olarak, tasman olaylarının tespiti ve izlenmesi için kullanılan uzaktan algılama yöntemleri, deformasyonları hızlı ve doğru bir şekilde belirlemekte oldukça etkilidir. Ancak her yöntemin kendine özgü zorlukları ve sınırlamaları bulunmaktadır. Bu nedenle, tasman olaylarının daha güvenilir şekilde tespit edilmesi ve yönetilmesi için çeşitli tekniklerin birleştirilmesi ve gelişmiş analiz yöntemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.

2.3.3. Volkanik Aktivite

Volkanik patlamalar, yer kabuğundaki magma, gaz ve diğer materyallerin yeryüzüne çıkması sonucu meydana gelen doğal olaylardır. Bu patlamaların zaman ve büyüklük açısından tahmin edilmesi, volkanik aktivite risklerinin değerlendirilmesi ve potansiyel hasarlara karşı önlemler alınabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, GNSS ve InSAR tekniklerinden yararlanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü DEM'ler ve deformasyon haritaları ile volkanik aktivitelerin izlenmesi ve değerlendirilmesi mümkün olmaktadır **[Tralli vd., 2005]**. Bu haritalar sayesinde volkanik aktivitelerin sebep olabileceği riskler değerlendirilebilir, lav akışı mekanizmaları modellenebilir ve tahminler yapılabilir **[Glaze Baloga, 2003; Stevens vd., 2003]**.

[Stevens vd., 2003], Yeni Zelanda'daki Ruapehu ve Taranaki volkanlarında, DEM doğruluğunun LAHARZ **[Schilling, 1998]** volkanik lav akış modelinin performansına etkisini incelemek için NASA tarafından gerçekleştirilen Topoğrafik SAR (TOPSAR) misyonuna ait görüntüleri kullanmıştır. Bu çalışmada, SAR kaynaklı DEM verileri ile volkanik patlama sonucu açığa çıkabilecek lav hacmi tahmin edilmiştir.

DInSAR ve SBAS teknikleri kullanılarak oluşturulan interferogramlar ile volkanik alanlardaki yer değiştirme miktarı, ortalama lav kalınlığı ve hacim değişimi tespit edilebilmektedir. Örneğin, Hindistan'daki Barren Adası yanardağında Sentinel-1 ve ALOS PALSAR-1/-2 görüntüleri kullanarak SBAS analizi gerçekleştiren **[Sreejith vd., 2020]**, uydu bakış yönünde -50 mm/yıl deformasyon, 0.87 km^2'lik bir alanda 13.8 m ortalama lav kalınlığı ve ~12 milyon m^3 lav hacim artışı tespit etmiştir.

Peru'daki Sabancaya yanardağında gerçekleşen patlamalar ve depremler sonucunda meydana gelen deformasyonları inceleyen **[Boixart vd., 2020]**, hem yükselen hem de alçalan yörünge modlarında Sentinel-1 verileri ile DInSAR analizleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, bölgedeki yükselme miktarının 35-50 mm/yıl, hacim değişiminin ise 26 x 10^6 m^3/yıl ile 43 x 10^6 m^3/yıl arasında değiştiği belirlenmiştir.

Japonya'daki Miyakejima yanardağındaki yüzey deformasyonlarını haritalamak için **[Alimuddin vd., 2011]**, ALOS PALSAR verileri ile DInSAR analizleri yapmış ve deformasyon miktarının uydu bakış yönünde -5.9 cm ile 5.9 cm arasında olduğunu tespit etmiştir.

Dünya genelinde volkanik aktivite ile deprem gibi sismik olaylar arasındaki ilişkileri incelemek için de SAR görüntüleri kullanılmaktadır. **[De Novellis vd., 2019]**, Etna Yanardağı'ndaki patlama ve eşzamanlı Mw = 4.9 büyüklüğündeki depreme ilişkin yer değiştirme hareketlerini Sentinel-1 SAR verileriyle DInSAR yöntemi kullanarak analiz etmiş ve volkanik magma hareketinin fay aktivasyonuna neden olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Volkanik alanlardaki deformasyon analizlerinde kullanılan SAR sisteminin dalga boyu ve bitki yoğunluğu gibi parametreler, görüntü çiftleri arasındaki uyuşumu etkileyen kritik unsurlar arasındadır. **[Roa vd., 2021]**, Arjantin'deki Domuyo yanardağı bölgesinde SAOCOM-1A ve Sentinel-1 verilerini karşılaştırarak, SAOCOM-1A'nın yoğun bitki örtüsü bulunan alanlarda daha yüksek uyuşum sağladığını ortaya koymuştur. Bu durum, SAOCOM-1A'nın L-bant SAR sisteminin, X-bant sistemlere kıyasla daha yüksek bitki penetrasyon kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Volkanik aktivitelerin izlenmesi ve risk değerlendirmesi, doğal afetlerin etkilerinin azaltılması ve can kaybının önlenmesi açısından hayati bir öneme sahiptir. GNSS, DInSAR, SBAS ve PSI gibi uzaktan algılama teknikleri, volkanik patlamaların neden olduğu deformasyonları tespit etmek, lav akışı ve hacim değişimlerini modellemek ve sismik aktivitelerle ilişkileri incelemek için etkili araçlar sunmaktadır. SAR sistemlerinin dalga boyu, zamansal çözünürlük ve bitki penetrasyon özellikleri, analizlerin doğruluğunu ve kapsamını belirleyen önemli faktörlerdir. Gelecekte bu tekniklerin geliştirilmesi ve farklı uydu sistemlerinin entegrasyonu, volkanik

aktivitelerin daha erken tespit edilmesine ve daha hassas risk değerlendirmelerine olanak sağlayacaktır. Bu sayede, volkanik alanlarda yaşayan toplumların güvenliği artırılarak, doğal afetlere karşı daha etkin bir müdahale stratejisi geliştirilebilecektir.

2.3.4. Sel

Kısa süreli ve yoğun yağışlar sonucu akarsuların taşmasıyla meydana gelen sel olayları, yerleşim alanlarında ciddi can ve mal kayıplarına neden olmakta, altyapı sistemleri ile tarım alanlarında büyük hasarlara yol açmaktadır **[Sanyal Lu, 2004]**. Son yıllarda sel olaylarının sıklığındaki artış, iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık değerlerindeki yükselişle ilişkilendirilmiştir **[Hirabayashi vd., 2013]**. Bu bağlamda, sel risklerinin belirlenmesi ve afet sonrası hasar değerlendirmesi için uzaktan algılama teknolojileri önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle optik ve SAR uydu verileri ile hava fotoğrafları, afet alanlarının tespiti ve analizinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır **[Klemas, 2015]**.

Uzaktan algılama ile sel analizi çalışmalarında, olay öncesi ve sonrası elde edilen çok zamanlı veriler kullanılarak taşkın alanlarının haritalanması gerçekleştirilmektedir **[Wang vd., 2002]**. MT-DInSAR tekniklerinden SBAS ve PSI gibi yöntemler, sel kaynaklı yer değiştirme hareketlerinin tespiti ve risk altındaki bölgelerin analiz edilmesi için sıklıkla tercih edilmektedir. Örneğin, İran'ın Pol-e-Dokhtar şehrinde meydana gelen sel olayında Sentinel-1 SAR verileri kullanılarak gerçekleştirilen SBAS analizi ile alandaki yer değiştirme hareketleri -1.1 mm/gün hızında tespit edilmiştir **[Mehrabi, 2021]**.

Malezya'daki Penang Adası'nda tasman ve deniz seviyesi yükselmesinin sel riski üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen SBAS analizinde, sel riski altındaki alanların %2.0 ila %5.9 oranında artacağı öngörülmüştür **[Gao vd., 2021]**.

PSI tekniği de sel bölgelerinin tespiti ve taşkın duyarlılık analizlerinde kullanılmaktadır. Bhutan Himalayalarındaki buzul göllerinde taşkın duyarlılığını incelemek amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, PSI analizi ile buzul alanlarının ve çevredeki yamaçların şev stabilitesi değerlendirilmiştir **[Wangchuk vd., 2022]**. Somali'deki bir sel felaketinde PSI analizi kullanılarak üretilen haritalarda, sel altında kalan bölgeler detaylı şekilde sınıflandırılmıştır **[Pulvirenti vd., 2021]**.

Bunun yanı sıra, Laos'taki Xe-Pian barajının çökmesi sonucu meydana gelen sel felaketinde PSI yöntemiyle, baraj üzerindeki deformasyonlar ve selden etkilenen alanlar tespit edilmiştir. Analizler, baraj yüzeyindeki deformasyonun -10 ile 5 mm/yıllık arasında değiştiğini ve sel alanlarının genişliğini net bir şekilde ortaya koymuştur **[Cheng vd., 2019]**.

Uzaktan algılama verileri, sel risklerinin ve hasarlarının analizinde kritik bilgiler sağlarken, kullanılan SAR sisteminin dalga boyu, zamansal çözünürlük gibi teknik özellikleri analizlerin doğruluğunu ve etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Gelecekte bu tekniklerin daha geniş bir coğrafyada uygulanabilir hale gelmesi, sel gibi afetlerin etkilerinin azaltılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

2.3.5. Deprem

Depremler, yerkabuğunda biriken enerjinin ani bir şekilde serbest kalmasıyla oluşan doğal afetlerdir ve can kaybı, yaralanmalar ile bina, yol ve altyapılarda ciddi hasarlara neden olmaktadır **[Elnashai & Di Sarno, 2008]**. Deprem sonrası meydana gelen ekonomik kayıplar her yıl milyarlarca doları bulmakta ve uzun vadeli sosyoekonomik etkiler yaratmaktadır **[Guha-Sapir & Vos, 2011]**. Depremler, fay hatlarında biriken gerilimin kırılma yüzeyi boyunca ani hareketlere dönüşmesiyle meydana gelirken bazı volkanik aktivitelerin depremleri tetiklediği gözlemlenmektedir **[Goto, 1999]**. Bu tür afetlerin etkilerini anlamak ve yönetmek için modern uzaktan algılama teknikleri, özellikle DInSAR (Diferansiyel İnterferometrik Radar), SBAS (Küçük Temel Bileşenler Yaklaşımı) ve PSI (Kalıcı Saçıcı İnterferometri) gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır **[Tralli vd., 2005]**.

DInSAR, deprem sonrası deformasyonun tespiti ve fay mekanizmalarının incelenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknik, deprem sonucu meydana gelen yer değiştirmeleri incelemek için optik ve radar verilerinden yararlanarak yüksek doğrulukta deformasyon haritaları üretmektedir. **[Yun vd., 2019]**, Kore'deki Gyeongju (Mw = 5.8) ve Pohang (Mw = 5.4) depremlerini analiz etmek amacıyla Sentinel-1 görüntülerini kullanmış ve maksimum 15 mm/yıllık deformasyon hızını tespit etmiştir. Bu çalışma, endüstriyel tesislerde meydana gelebilecek hasarları önlemek için afet izleme sistemlerinin kurulması gerektiğini vurgulamıştır. **[De Novellis vd., 2018]**, İtalya'da meydana gelen 3.9 Mw büyüklüğündeki Ischia depremini incelemiş ve

DInSAR ile maksimum kayma miktarının 14 cm olduğunu tespit etmiştir. İran'da yaşanan 7.3 Mw büyüklüğündeki depremde ise Sentinel-1 SAR görüntüleri kullanılarak fay hattının güneybatısında -40 cm'den fazla alçalma, kuzeydoğusunda ise 90 cm'yi aşan yükselme hareketleri ölçülmüştür **[Çomut vd., 2020]**.

Deprem sonrası analizlerde kullanılan SAR görüntülerinin dalga boyu, sonuçların doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. **[Stramondo vd., 2011]**, COSMO-SkyMed, ALOS PALSAR ve ENVISAT gibi farklı SAR sistemlerini karşılaştırmış ve daha kısa dalga boyuna sahip sistemlerin doğruluk açısından üstün olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, L-bant SAR sistemleri, yoğun bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerde penetrasyon kabiliyeti açısından avantaj sağlasa da hassasiyet açısından bazı dezavantajlara sahiptir **[Sandwell vd., 2008]**. **[Syahreza vd., 2018]**, Endonezya'da meydana gelen 6.5 Mw büyüklüğündeki bir depremi Sentinel-1 SAR verileriyle incelemiş ve yoğun bitki örtüsünün görüntü uyuşumuna olumsuz etkilerini gözlemlemiştir.

SBAS tekniği ise bölgesel ve yerel ölçekte deformasyon hareketlerinin tespit edilmesinde etkili bir yöntemdir. **[Suresh Krishnan vd., 2018]**, Nepal'deki Gorkha depremi sonrası yer değiştirme hareketlerini SBAS ile incelemiş ve çökme bölgelerini tespit etmiştir.

PSI tekniği de deprem öncesi ve sonrası yer değiştirme hareketlerinin tespitinde kullanılan etkili bir yöntemdir. **[Ishitsuka vd., 2015]**, Tohoku depremi (Mw = 9.0) öncesinde ALOS PALSAR, sonrasında ise TerraSAR-X görüntüleriyle yaptığı analizlerde yıllık 10 mm'lik tasman ve 5 mm'lik yükselme hareketlerini belirlemiştir. Bu yöntem, özellikle uzun süreli deformasyon süreçlerini analiz etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, DInSAR ve SBAS yöntemlerinin entegrasyonu, hem geniş ölçekli hem de detaylı yerel ölçekte deformasyon analizleri yapılmasına olanak tanımaktadır **[Martins vd., 2020]**.

Genel olarak, deprem kaynaklı deformasyonların ve fay mekanizmalarının analizi, afet yönetimi süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Modern uzaktan algılama tekniklerinin farklı özelliklere sahip SAR sistemleriyle entegrasyonu, daha hassas ve kapsamlı sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

2.4. Bilgi Sistemleri

Bilgi sistemleri, organizasyonlar ve bireyler tarafından bilgi toplamak, depolamak, işlemek, analiz etmek ve paylaşmak amacıyla kullanılan entegre sistemlerdir. Bu sistemler, hem teknolojik altyapıyı hem de kullanıcıların bu altyapı üzerinde gerçekleştirdiği süreçleri içerir. Temel amacı, karar alma süreçlerini desteklemek, verimliliği artırmak ve sorunların çözümüne yönelik doğru ve zamanında bilgi sağlamaktır. Bilgi sistemleri, modern organizasyonların veri odaklı yönetim ve operasyon süreçlerinin merkezinde yer alır.

Bilgi sistemlerine duyulan ihtiyaç, karmaşık problemler karşısında doğru ve hızlı karar alma gerekliliğinden kaynaklanır. Günümüz dünyasında veri miktarının artması ve bu verilerin anlamlı bilgiye dönüştürülmesi gerekliliği, bilgi sistemlerini vazgeçilmez kılmaktadır. Örneğin, işletmeler müşteri ilişkilerini yönetmek, lojistik süreçlerini optimize etmek veya finansal analiz yapmak için bilgi sistemlerini kullanırken; kamu kurumları, şehir planlama, altyapı yönetimi ve hizmet sunumu gibi süreçlerde bilgi sistemlerinden faydalanmaktadır.

Bu genel bağlamda, bilgi sistemlerinin mekânsal boyutunu ele alan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal verileri analiz etmek ve görselleştirmek için geliştirilmiş özel bilgi sistemleridir. CBS, coğrafi olarak konumlandırılmış verilerin toplanması, yönetimi, analizi ve sunumu süreçlerini içerir. Örneğin, şehirlerin altyapı planlaması, doğal kaynak yönetimi, çevresel izleme ve afet yönetimi gibi süreçlerde CBS kullanımı hayati bir rol oynamaktadır. CBS, karar vericilere mekânsal ilişkilere dayalı öngörüler sunarak daha bilinçli ve etkili kararlar almalarını sağlar.

CBS'nin daha lokal bir düzeyde uygulaması olan Kent Bilgi Sistemleri (KBS), şehirlerin yönetimi ve planlaması için özelleştirilmiş bir bilgi sistemi türüdür. KBS, bir kentin fiziksel, sosyal ve ekonomik bileşenlerine dair verileri entegre ederek, bu verileri şehir planlaması, altyapı yönetimi ve hizmet sunumu süreçlerinde kullanılabilir hale getirir. KBS'nin temel amacı, kent yönetiminin etkinliğini artırmak ve vatandaşlara daha iyi hizmet sunulmasını sağlamaktır. Örneğin, yol, su, elektrik, doğalgaz gibi altyapı hizmetlerinin yönetimi, imar planlarının hazırlanması ve güncellenmesi, ulaşım planlaması ve afet yönetimi gibi alanlarda KBS önemli katkılar sunmaktadır.

Sonuç olarak, bilgi sistemleri modern toplumun ihtiyaçlarını karşılamak için hayati öneme sahiptir ve mekânsal verileri ele alan CBS ve KBS gibi özel uygulamalar, şehirlerin daha etkin yönetimi ve sürdürülebilir kalkınması için güçlü araçlar sunar. Bu sistemler, karmaşık şehirleşme sorunlarını çözmek ve mekânsal bilgiyi etkili bir şekilde kullanarak daha yaşanabilir şehirler inşa etmek için vazgeçilmezdir.

2.5. Arayüz Oluşturma

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal verilerin analizi ve görselleştirilmesi için etkili araçlar sunmakta olup, kullanıcı arayüzleri bu sistemlerin işlevselliğini ve kullanım kolaylığını doğrudan etkilemektedir. CBS tabanlı uygulamalar geliştirirken, kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun bir arayüz tasarlamak kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, geliştiriciler genellikle iki temel yaklaşım arasında seçim yapmaktadır: no-code/low-code platformlarının kullanımı ve özel bir kullanıcı arayüzünün geliştirilmesi.

No-code ve low-code platformları, teknik bilgi gereksinimini en aza indirerek uygulama geliştirme süreçlerini hızlandıran araçlar sunmaktadır. Örneğin, Esri'nin Web AppBuilder ve Experience Builder araçları, CBS uygulamaları için sürükle-bırak işlevselliğiyle standart bileşenler ve şablonlar sağlayarak hızlı ve kolay geliştirme imkânı sunmaktadır. Web AppBuilder, temel CBS işlevlerini içeren web tabanlı uygulamalar oluşturmak için kullanılırken, Experience Builder, daha modern ve esnek bir tasarım yapısına sahiptir. Bu araçlar, hızlı prototipleme, kolay entegrasyon ve kullanıcı dostu bir deneyim sunarak birçok proje için cazip bir seçenek haline gelmektedir.

Ancak, no-code/low-code platformlarının sınırlamaları da dikkate alınmalıdır. Önceden tanımlanmış bileşenler ve standart şablonlar, uygulamanın özelleştirilmesine engel olabilir ve belirli gereksinimleri karşılamada yetersiz kalabilir. Performans optimizasyonu açısından bu araçlar, gereksiz bileşen ve işlevsellik içerebilir; bu durum, uygulamanın hızı ve verimliliği üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir. Ayrıca, bu platformlar genellikle belirli bir ekosisteme bağımlıdır ve uzun vadede lisanslama maliyetleri gibi kısıtlamalar doğurabilir. Örneğin, Esri tabanlı araçların kullanımı, kullanıcıyı ArcGIS altyapısına bağımlı hale getirirken, maliyet ve veri yönetimi açısından sınırlamalar yaratabilir.

Bu tür sınırlamaların üstesinden gelmek ve tam kontrol sağlamak amacıyla, özel bir kullanıcı arayüzü geliştirilmesi daha uygun bir çözüm sunmaktadır. Özel bir arayüz, yalnızca uygulamanın gereksinim duyduğu bileşenleri içerecek şekilde tasarlanarak performansı artırabilir. Ayrıca, bu yaklaşım, tasarımın tamamen özelleştirilebilir olmasını sağlayarak, kullanıcı deneyimini iyileştirir ve belirli bir projeye özgü görsel ve işlevsel gereksinimleri karşılar. Özel geliştirme, veri güvenliği ve erişim kontrolü gibi kurumsal gereksinimlerin karşılanması açısından da büyük avantajlar sunmaktadır. Aynı zamanda, üçüncü taraf platformlara bağımlılığı azaltarak, uzun vadede daha sürdürülebilir bir çözüm sağlar.

Sonuç olarak, no-code/low-code araçları hızlı ve standart çözümler sunarken, özel bir kullanıcı arayüzü geliştirilmesi, esneklik, performans, özelleştirilebilirlik ve uzun vadeli sürdürülebilirlik gibi avantajlarıyla öne çıkmaktadır. CBS tabanlı uygulamalarda, özellikle Esri'nin Web AppBuilder ve Experience Builder araçlarının sınırlamalarını aşmak ve proje gereksinimlerine tam uyum sağlamak amacıyla, özel arayüz geliştirme stratejisi etkili bir çözüm sunmaktadır.

3. METODOLOJİ

3.1. Deprem Bilgi Sisteminin Oluşturulması

3.1.1. Harita Kütüphanelerinin Karşılaştırılması

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve haritalama uygulamaları, mekânsal verilerin görselleştirilmesi ve analizi açısından önemli araçlar sunmaktadır. Geliştirilen yazılımlarda harita bileşenlerinin entegrasyonu için kullanılan harita kütüphaneleri, performans, esneklik ve lisanslama koşulları gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Bu bölümde, yaygın olarak kullanılan bazı harita kütüphaneleri (Leaflet, Mapbox GL JS, OpenLayers, Esri JavaScript API) ile MapLibre karşılaştırılacak ve MapLibre'nin avantajları tartışılacaktır.

3.1.1.1. Leaflet

Leaflet, hafif ve kullanıcı dostu bir JavaScript kütüphanesi olup, genellikle web tabanlı haritalama projelerinde tercih edilmektedir. Açık kaynak kodlu yapısı ve düşük öğrenme eğrisi sayesinde geliştiricilere kolaylık sağlamaktadır. Ancak, Leaflet vektör tabanlı harita işleme yerine genellikle raster tabanlı haritalara odaklanmakta ve 3D haritalama yetenekleri sınırlı kalmaktadır.

3.1.1.2. Mapbox GL JS

Mapbox GL JS, modern tarayıcılar için geliştirilmiş güçlü bir vektör tabanlı harita işleme kütüphanesidir. Yüksek performanslı haritalar ve özelleştirme seçenekleri sunmaktadır. Ancak, Mapbox GL JS'in yeni sürümleri ticari bir lisans altında sunulmaktadır, bu da açık kaynak topluluğu ve düşük bütçeli projeler için bir dezavantaj oluşturmaktadır.

3.1.1.3. OpenLayers

OpenLayers, geniş bir özelleştirme yelpazesi sunan güçlü bir açık kaynak kütüphanesidir. Raster ve vektör tabanlı verilerle uyumlu çalışabilmesinin yanı sıra, karmaşık harita işlemleri için uygun bir altyapı sağlar. Ancak, karmaşıklığı ve öğrenme eğrisinin yüksekliği, basit projelerde kullanımını zorlaştırabilir.

3.1.1.4. Esri JavaScript API

Esri JavaScript API, ticari bir platform olan ArcGIS ekosisteminin bir parçasıdır. CBS uygulamaları için gelişmiş analiz araçları ve 3D görselleştirme yetenekleri sunmaktadır. Bununla birlikte, lisans maliyetleri ve platform bağımlılığı, açık kaynak tercih eden kullanıcılar için kısıtlayıcı olabilmektedir.

3.1.1.5. MapLibre

MapLibre, Mapbox GL JS'in açık kaynak sürümünden türetilmiş bir harita kütüphanesidir ve tamamen açık kaynak kodludur. Aşağıda MapLibre'nin avantajları özetlenmiştir:

1. Açık Kaynak Yapısı: MapLibre, GNU Affero General Public License (AGPL) altında lisanslanmıştır ve herhangi bir ticari kısıtlama olmaksızın kullanılabilir. Bu, düşük bütçeli projeler ve açık kaynak topluluğu için önemli bir avantajdır.

2. Vektör Tabanlı İşleme: MapLibre, modern tarayıcılarda yüksek performanslı vektör tabanlı haritalama sunarak, hem 2D hem de 3D görselleştirme için uygun bir platform sağlar.

3. Özelleştirilebilirlik: Kullanıcılar, MapLibre'yi tamamen özelleştirebilir ve farklı veri kaynaklarıyla entegre çalışabilir. Bu durum, haritaların estetik ve işlevsellik açısından ihtiyaçlara göre şekillendirilmesine olanak tanır.

4. Topluluk Desteği: MapLibre, aktif bir topluluk tarafından desteklenmekte olup, düzenli güncellemeler ve açık kaynak geliştirmeler sayesinde sürekli olarak evrilmektedir.

5. Ticari Lisans Maliyetinin Olmaması: MapLibre, Mapbox GL JS'in ticari lisanslı yapısından farklı olarak, ücretsiz bir alternatif sunmaktadır. Bu özellik, özellikle akademik çalışmalar ve açık kaynak projelerde büyük bir avantaj sağlar.

Sonuç olarak, MapLibre, açık kaynaklı ve vektör tabanlı yapısıyla esneklik, maliyet avantajı ve özelleştirilebilirlik açısından dikkat çeken bir kütüphane olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Mapbox GL JS'in ticari lisansa geçişi sonrasında, MapLibre'nin sunduğu açık kaynak çözümler, geniş bir kullanıcı kitlesi için cazip bir alternatif haline gelmiştir.

3.1.2. Kullanıcı Arayüzü Geliştirilmesi

Kullanıcı arayüzü (UI) tasarımı, bir yazılımın kullanıcı deneyimini (UX) doğrudan etkileyen kritik bir bileşendir. Modern yazılım geliştirme süreçlerinde, tasarım sistemleri ve CSS çerçeveleri, UI geliştirme süreçlerini hızlandırmak, tutarlılığı sağlamak ve bakım maliyetlerini düşürmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, uygulamada kullanılan Ant Design ve Tailwind CSS, farklı ancak birbirini tamamlayan avantajlar sunmaktadır.

3.1.2.1. Ant Design

Ant Design, React tabanlı uygulamalar için geliştirilmiş bir tasarım sistemi ve bileşen kütüphanesidir. Özellikle büyük ölçekli kurumsal uygulamalar için tasarlanmış olan Ant Design, modern ve profesyonel bir görünüm sağlamak amacıyla geniş bir önceden tanımlanmış bileşen seti sunmaktadır.

Avantajları:

1. Hazır Bileşenler: Ant Design, düğmeler, formlar, tablolar, modallar gibi geniş bir bileşen yelpazesi sunarak, kullanıcı arayüzü geliştirme süresini önemli ölçüde kısaltır.

2. Tasarım Tutarlılığı: Tüm bileşenler belirli bir tasarım sistemi doğrultusunda yapılandırıldığından, uygulamanın genel görünümü ve hissi arasında tutarlılık sağlanır.

3. Gelişmiş Özellikler: Form validasyonu, veri tablolarında filtreleme ve sıralama gibi sık kullanılan işlevler için entegre çözümler sunar.

4. Dokümantasyon ve Topluluk: Ant Design, güçlü bir dokümantasyona ve aktif bir topluluğa sahiptir, bu da geliştirme sürecinde karşılaşılan sorunların hızlıca çözülmesine olanak tanır.

3.1.2.2. Tailwind CSS

Tailwind CSS, modern CSS yazımını kolaylaştıran, utility-first (yardımcı sınıf tabanlı) bir CSS çerçevesidir. Geleneksel CSS yazım yöntemlerine kıyasla, stil tanımlarını doğrudan HTML sınıfları üzerinden uygulayarak daha esnek ve hızlı bir geliştirme süreci sunar.

Avantajları:

1. Esneklik: Tailwind CSS, sabit bir tasarım sistemi yerine, geliştiricilere kendi stillerini kolayca tanımlama ve özelleştirme imkânı tanır.

2. Hızlı Prototipleme: Yardımcı sınıf yapısı sayesinde, kullanıcı arayüzü tasarımı hızlı bir şekilde oluşturulabilir ve değişiklikler kolayca uygulanabilir.

3. Performans: Tailwind CSS, kullanılmayan CSS kurallarını üretim ortamında kaldırarak (tree-shaking), oluşturulan dosya boyutlarını minimize eder ve performansı artırır.

4. Düşük Bağımlılık: Tailwind, bileşen kütüphanelerinden bağımsız olarak, herhangi bir JavaScript framework'ü ile kullanılabilir.

3.1.2.3. Ant Design ve Tailwind CSS'nin Birlikte Kullanımı

Ant Design ve Tailwind CSS'in aynı projede kullanılması, tasarım sürecine hem yapılandırılmış bir sistem hem de özelleştirme esnekliği getirmektedir:

- Ant Design, hazır bileşenler ve tasarım tutarlılığı ile hızlı başlangıç ve kompleks UI çözümleri için idealdir.
- Tailwind CSS, bileşenlerin daha fazla özelleştirilmesi ve spesifik stil gereksinimlerinin karşılanması için bir araç olarak kullanılabilir.

Örneğin, Ant Design'ın standart bir düğme bileşeni kullanılabilirken, Tailwind CSS yardımıyla bu düğmenin rengi, boyutu ve kenarlık stili geliştiricinin ihtiyaçlarına göre uyarlanabilir. Bu yaklaşım, hem hız hem de esneklik sağlar.

Ant Design ve Tailwind CSS, farklı özellikleri ile birbirini tamamlayan iki güçlü araçtır. Ant Design, hazır bileşenler ve kurumsal tasarım çözümleri ile zamandan tasarruf sağlarken, Tailwind CSS, özelleştirme esnekliği ile tasarıma özgünlük kazandırır. Bu kombinasyon, kullanıcı odaklı, modern ve profesyonel bir kullanıcı arayüzü geliştirme süreci sunar.

3.1.3. GeoServer Kurulumu

Bu bölümde, deprem bilgi sisteminin geliştirilmesi için Linux tabanlı bir sunucuda GeoServer kurulumu ve yapılandırması detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. İzlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Java Yüklenmesi

GeoServer, Java tabanlı bir uygulama olduğundan kurulum öncesinde Java ve diğer bağımlılıkların yüklenmesi gereklidir. Aşağıdaki komut kullanılarak Java Runtime Environment (JRE) kurulmuştur:

$$sudo\ apt\ install\ openjdk-11-jre$$

2. Unzip Yardımcı Programının Kurulumu

GeoServer dosyalarını açmak için unzip yardımcı programı kurulmuştur:

$$sudo\ apt\ install\ unzip$$

3. GeoServer Dizininin Oluşturulması

GeoServer dosyalarının saklanacağı dizin oluşturulmuştur:

$$sudo\ mkdir\ -p\ /usr/share/geoserver$$

4. GeoServer Dizinine Geçiş

İşlem yapmak için dizine geçilmiştir:

$$cd\ /usr/share/geoserver$$

5. GeoServer Binaries Dosyasının İndirilmesi

GeoServer'ın ikili dosyaları (binaries) indirilmiştir:

$$sudo\ wget\ https://netcologne.dl.sourceforge.net/project/geoserver/GeoServer/2.25.5/geoserver-2.25.5-bin.zip$$

6. GeoServer Dosyasının Açılması

İndirilen sıkıştırılmış dosya unzip komutu ile açılmıştır:

$$sudo\ unzip\ geoserver-2.25.5-bin.zip$$

7. GeoServer Ev Dizini Değişkeninin Ayarlanması

GeoServer'ın çalışması için gerekli ev dizini değişkeni aşağıdaki komut ile tanımlanmıştır:

$$echo\ "export\ GEOSERVER\_HOME=/usr/share/geoserver"\ >> \sim/.profile$$

Daha sonra değişiklikleri uygulamak için:

$$.\sim/.profile$$

8. Dosya İzinlerinin Düzenlenmesi

GeoServer dizinine erişim için dosya izinleri düzenlenmiştir:

$$sudo\ chown\ -R\ USER\_NAME\ /usr/share/geoserver/$$

9. GeoServer'ın Başlatılması

GeoServer başlatılmıştır:

$$./bin/startup.sh$$

10. CORS (Cross-Origin Resource Sharing) Ayarlarının Yapılandırılması

GeoServer'ın tarayıcı tabanlı sorgulara izin vermesi için $/usr/share/geoserver/webapps/geoserver/WEB-INF/web.xml$ dizinin de bulunan web.xml dosyasına aşağıdaki ayarlar eklenmiştir:

$$<filter>$$

$$<filter-name>cross-origin</filter-name>$$

$$<filter-class>org.eclipse.jetty.servlets.CrossOriginFilter</filter-class>$$

$$<init-param>$$

$$<param-name>chainPreflight</param-name>$$

$$<param-value>false</param-value>$$

$</init-param>$

$<init-param>$

$<param-name>allowedOrigins</param-name>$

$<param-value>*</param-value>$

$</init-param>$

$<init-param>$

$<param-name>allowedMethods</param-name>$

$<param-value>GET,POST,PUT,DELETE,HEAD,OPTIONS$
$</param-value>$

$</init-param>$

$<init-param>$

$<param-name>allowedHeaders</param-name>$

$<param-value>*</param-value>$

$</init-param>$

$</filter>$

$<filter-mapping>$

$<filter-name>cross-origin</filter-name>$

$<url-pattern>/*</url-pattern>$

$</filter-mapping>$

11. GeoServer'ı Supervisor ile Yönetme

Supervisor ile GeoServer'ın başlatılması ve izlenmesi için şu adımlar izlenmiştir:

Supervisor kurulumu:

$sudo\ apt\ install\ supervisor$

Supervisor konfigürasyon dosyasının oluşturulması:

$sudo\ nano\ /etc/supervisor/conf.d/geoserver.conf$

Dosyanın içeriği aşağıdaki gibidir:

$[program: geoserver]$

$command = sh\ ./bin/startup.sh$

$directory = /usr/share/geoserver$

$autorestart = true$

$redirect\_stderr = true$

$stdout\_logfile = /usr/share/geoserver/logs/geoservice.log$

$stdout\_logfile\_maxbytes = 500MB$

$stdout\_logfile\_backups = 50$

$loglevel = warn$

12. GeoServer Log Klasörünün Oluşturulması

Log dosyalarının saklanacağı klasör oluşturulmuştur:

sudo mkdir -p /usr/share/geoserver/logs

sudo chmod -R 755 /usr/share/geoserver/logs

13. Supervisor Yapılandırmasının Yüklenmesi

Supervisor yapılandırmasının tanınması için şu komutlar çalıştırılmıştır:

sudo supervisorctl reread

sudo supervisorctl update

14. GeoServer'ın Supervisor ile Başlatılması

Supervisor yardımıyla GeoServer başlatılmıştır:

sudo supervisorctl start geoserver

15. Durum Kontrolü

GeoServer'ın çalışıp çalışmadığı şu komut ile kontrol edilmiştir:

sudo supervisorctl status

16. Nginx ile GeoServer Proxy Yapılandırması

GeoServer'a erişimi kolaylaştırmak ve güvenliği artırmak amacıyla Nginx proxy olarak kullanılmıştır.

17. Nginx Kurulumu

Aşağıdaki komutlarla Nginx kurulmuş ve başlatılmıştır:

```
sudo apt update
sudo apt install nginx -y
sudo systemctl start nginx
sudo systemctl enable nginx
```

Nginx Konfigürasyon Dosyasının Oluşturulması

GeoServer için bir konfigürasyon dosyası oluşturulmuştur:

```
sudo nano /etc/nginx/sites-available/geoserver
```

Dosyanın içeriği aşağıdaki gibidir:

```
server {
  listen 80;
  server_name deprembilgisistemi.live www.deprembilgisistemi.live;

  location / {
    proxy_pass http://localhost:8080;
    proxy_set_header Host $host;
    proxy_set_header X-Real-IP $remote_addr;
    proxy_set_header X-Forwarded
                -For $proxy_add_x_forwarded_for;
    proxy_set_header X-Forwarded-Proto $scheme;
  }

  error_page 502 /502.html;
```

}

18. Konfigürasyon etkinleştirilmiştir:

$$sudo\ ln\ -s\ /etc/nginx/sites-available/geoserver\ /etc/nginx/sites-enabled/$$

$$sudo\ nginx\ -t$$

$$sudo\ systemctl\ restart\ nginx$$

19. Certbot Kurulumu

Certbot ve gerekli modüller kurulmuştur:

sudo apt install certbot python3-certbot-nginx -y

20. SSL Sertifikasının Alınması

Aşağıdaki komutla SSL sertifikası alınmıştır:

$$sudo\ certbot\ --nginx\ -d\ deprembilgisistemi.live\ -d\ www.deprembilgisistemi.live$$

Sertifika Yenileme Komutunun Eklenmesi

Otomatik yenileme için cron işleyicisine şu komut eklenmiştir:

$$sudo\ crontab\ -e$$

$$0\ 3\ ***\ certbot\ renew\ --quiet$$

Yukarıdaki adımlarla GeoServer, bir Linux sunucusunda kurularak erişime hazır hale getirilmiştir. CORS yapılandırması, SSL sertifikası ve Nginx proxy desteği ile güvenli ve verimli bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Bu süreç, deprem bilgi sisteminin altyapısını oluşturmak için temel taşları sağlamıştır.

4.1. 3.2. SAR Görüntülerinden Deprem Haritalarının Üretilmesi

Sentinel-1 uydu verilerinin işlenmesi için SNAP yazılımında bir grafik iş akışı tanımlanmıştır. İlk olarak, dört Sentinel-1 IW SLC ürünü, farklı zamanlarda elde edilen verilerle "Read" operatörü kullanılarak işlenmiştir. Bu veriler, aynı alanı

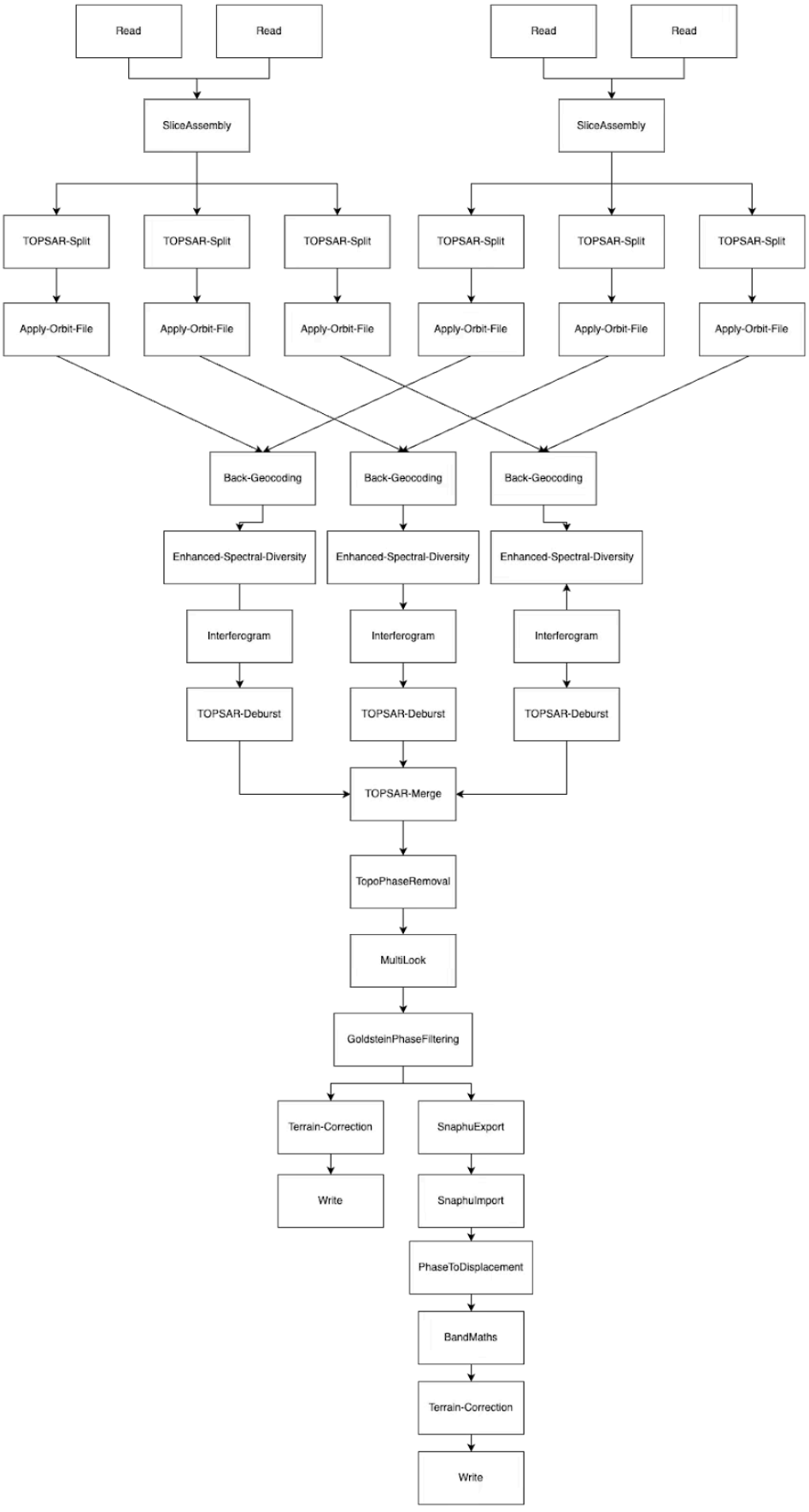
kapsayan ancak farklı tarihlerde ve farklı yörünge yollarında kaydedilen görüntülerden oluşmaktadır.

Ardından, her iki tarih için de "SliceAssembly" operatörü kullanılarak görüntü dilimleri birleştirilmiştir. Bu işlemle, her bir zaman diliminde elde edilen görüntü dilimlerinin bir bütün olarak işlenmesi sağlanmıştır. Birleştirilen dilimler, "TOPSAR-Split" operatörü yardımıyla IW1, IW2 ve IW3 olarak adlandırılan üç farklı alt yola ayrılmıştır. Bu işlem, her bir alt yol için ayrı ayrı uygulanmıştır. Daha sonra, "Apply-Orbit-File" operatörü ile yörünge dosyaları kullanılarak verilerin geometrik doğruluğu artırılmıştır.

Bu aşamayı takiben, görüntüler arasında coğrafi hizalama ve spektral çeşitlilik iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, "Back-Geocoding" ve "Enhanced-Spectral-Diversity" operatörleri kullanılmıştır. Bu adımlar, interferometrik işlemler için gerekli hassasiyetin sağlanmasına yönelik olarak uygulanmıştır.

Sonraki aşamada, "Interferogram" operatörü kullanılarak interferogramlar oluşturulmuştur. Bu adımda, faz farkı bilgileri çıkarılmış ve koherens haritaları oluşturulmuştur. Daha sonra, "TOPSAR-Deburst" operatörü ile interferogramlar tek bir sürekli görüntüye dönüştürülmüştür.

Deburst işleminden sonra, "TOPSAR-Merge" operatörü yardımıyla tüm alt yollar birleştirilmiş ve nihai interferogram elde edilmiştir. Elde edilen interferogram üzerinde "TopoPhaseRemoval" operatörü ile topografik faz bileşeni çıkarılmış ve görüntüler, çoklu bakış yöntemiyle pürüzsüzleştirilmiştir. Bu amaçla "Multilook" operatörü kullanılmıştır. Son olarak, "GoldsteinPhaseFiltering" operatörü ile faz filtreleme işlemi uygulanarak gürültü azaltılmış ve daha net bir interferogram elde edilmiştir.



Şekil 3.1: İşlem Adımları

Bu aşamadan sonra, elde edilen Goldstein dosyasına "Terrain Correction" operatörü uygulanmış ve coğrafi olarak düzeltilmiş interferogram elde edilmiştir. Ardından, Goldstein dosyasına "SNAPHU" yazılımı kullanılarak faz çözme (unwrapping) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ardından, "PhaseToDisplacement" operatörü ile yer değiştirme hesaplanmıştır.

Sonraki aşamada, "Band Maths" aracı kullanılarak düşey ve yatay doğrultudaki deformasyon miktarı, denklem (3.1) ve denklem (3.2)'ye göre hesaplanmıştır **[Tzouvaras vd., 2020]**. Elde edilen deformasyon verileri de "Terrain Correction" operatörü ile işlenmiş ve coğrafi olarak düzeltilmiştir.

$$\text{Displacement}_{E-W} = \frac{\text{Displacement}_{LoS}}{\sin \theta_{\text{incident}}} \tag{3.1}$$

$$\text{Displacement}_{up-down} = \frac{\text{Displacement}_{LoS}}{\cos \theta_{\text{incident}}} \tag{3.2}$$

Bu süreçlerin sonucunda, Sentinel-1 verilerinden yüksek doğrulukta, coğrafi olarak düzeltilmiş ve deformasyon analizleri gerçekleştirilmiş interferometrik sonuçlar elde edilmiştir. Her bir adım, bir önceki adımdan elde edilen verilerin işlenmesiyle nihai ürünün oluşturulmasını sağlamıştır.

4.2. 3.3. SAR Haritalarının Deprem Bilgi Sistemine Entegrasyonu

SAR verilerinden elde edilen çıktıların deprem bilgi sistemi için sunulmasında Geoserver gibi coğrafi veri sunucu altyapıları kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, DInSAR metodu ile elde edilen interferogramlar ve displacement haritaları, GeoTIFF formatında Geoserver üzerinden WMS (Web Map Service) protokolü ile yayınlanmış ve bir web uygulamasına entegre edilmiştir. React MapLibre tabanlı bu uygulama, kullanıcıların ilgili haritaları dinamik olarak incelemesine, belirli alanlara yakınlaştırma yapmasına ve deformasyon miktarlarının detaylı analizini gerçekleştirmesine olanak tanımıştır.

Bu entegrasyon süreci, öncelikle Geoserver üzerinde projeksiyon sistemlerinin doğru bir şekilde ayarlanması ve SAR verilerinin optimize edilmesini gerektirmiştir. Daha sonra, harita katmanları MapLibre aracılığıyla web arayüzüne yüklenmiş ve kullanıcı dostu bir şekilde sunulmuştur. Katmanlar, aşağıdaki JavaScript kodu ile uygulamaya eklenmiştir:

```
const layers = [
 "Phase_ifg_VV_09Feb2023_28Jan2023",
 "Phase_ifg_VV_29Jan2023_10Feb2023",
 "int34_displacement_VV_LOS",
 "int34_horizontal_VV",
 "int34_vertical_VV",
];

layers.forEach((layer) => {
 if (!map.getSource(layer)) {
  map.addSource(layer, {
   type: "raster",
   tiles: [
    `https://deprembilgisistemi.live/geoserver/EQIS/wms?service
            =WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers
            =EQIS%3A${layer}&bbox={bbox-epsg-3857}&width
            =256&height=256&srs=EPSG:3857&styles=&format
            =image/png&transparent=true`,
   ],
   tileSize: 256,
  });
 }
```

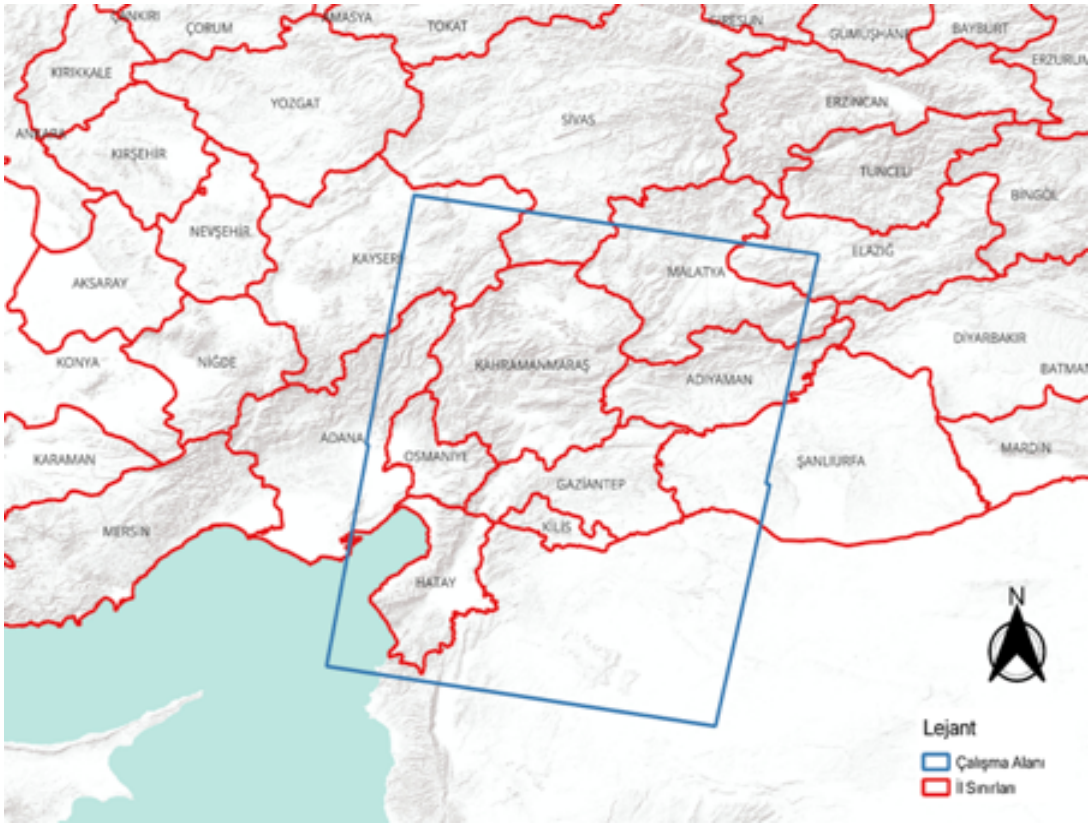
```
 if (!map.getLayer(layer)) {
  map.addLayer({
   id: layer,
   type: "raster",
   source: layer,
   layout: {
    visibility: "none",
   },
  });
 }
});
```

Bu kod, MapLibre GL JS kütüphanesini kullanarak belirli WMS katmanlarının haritaya dinamik bir şekilde eklenmesini sağlamaktadır. Katmanlar başlangıçta görünümü kapalı bir şekilde haritaya eklenir; bu durum, uygulama açıldığında haritanın başlangıçtaki görünümünü sade tutmak amacıyla sağlanmıştır. Ancak kullanıcılar, uygulama içerisinde yer alan katman kontrol bölümü aracılığıyla bu katmanları görünür hale getirebilir veya devre dışı bırakabilirler.

4. UYGULAMA VE BULGULAR

4.1. Kahramanmaraş Depremleri

Türkiye, aktif fay hatları üzerinde yer alan ve sıklıkla depremler yaşayan bir ülkedir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Batı Anadolu Gerilme Zonu gibi büyük tektonik yapılar Türkiye'nin deprem riskini artırmaktadır. 6 Şubat 2023 tarihinde, Kahramanmaraş ilinde iki büyük deprem meydana gelmiştir. İlk deprem, 7.8 Mw büyüklüğünde, saat 04:17'de Pazarcık ilçesi yakınlarında gerçekleşmiştir. Aynı gün saat 13:24'te, Elbistan ilçesi yakınlarında 7.6 Mw büyüklüğünde ikinci bir büyük deprem meydana gelmiştir. Bu depremler, DAFZ boyunca büyük bir enerji boşalmasına yol açmış ve Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Osmaniye, Diyarbakır, Şanlıurfa, Adana, Kilis ve Elazığ gibi geniş bir alanda ciddi hasara neden olmuştur. Çalışmada kullanılan analiz alanı sınırları Şekil 3'de gösterilmiştir.



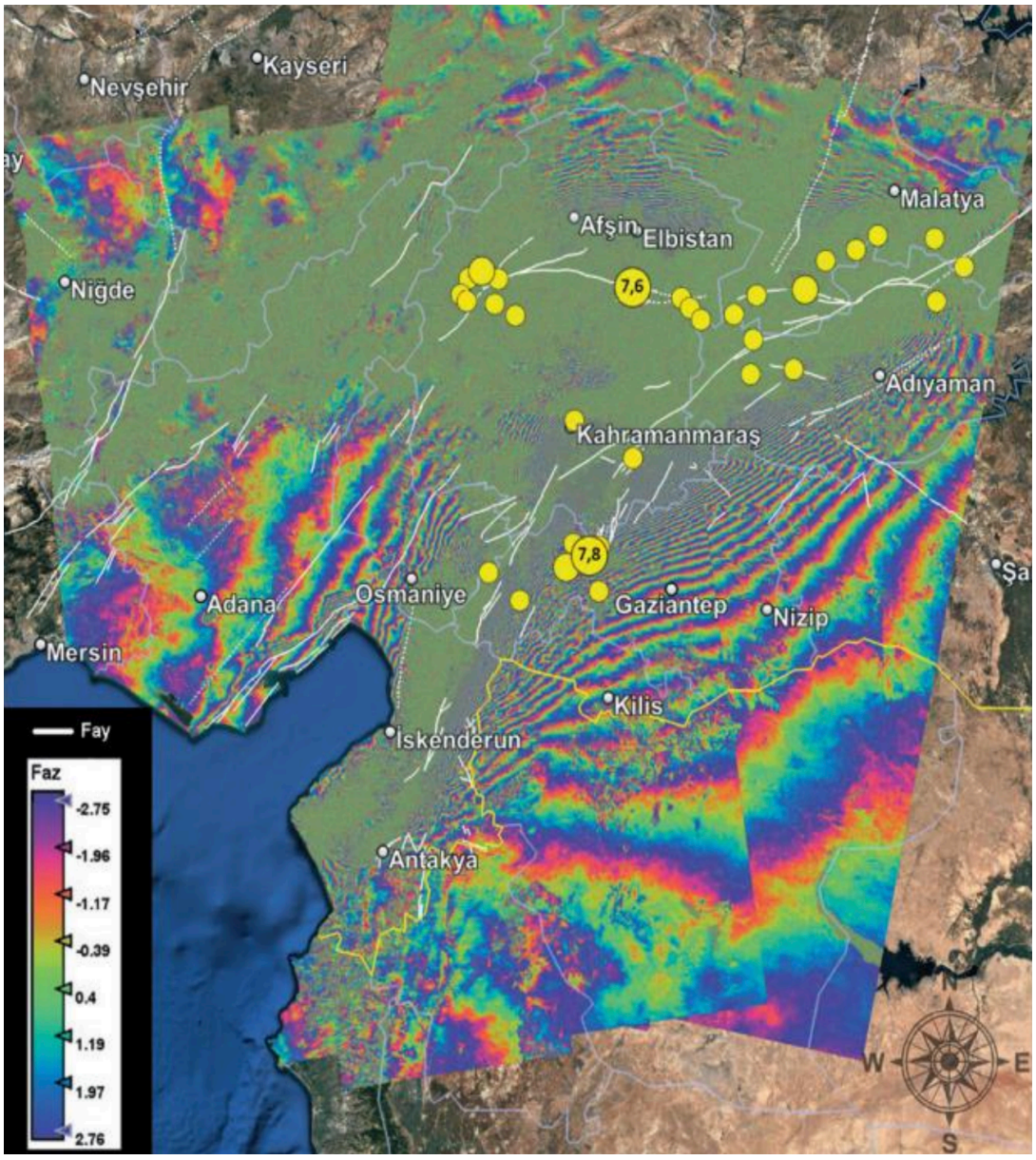
Şekil 4.1: Kahramanmaraş Depremi Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Sentinel-1 görüntüleri kullanılarak depremler sonrası yüzey deformasyonları interferometrik yöntemlerle analiz edilmiş ve bölgedeki yer değiştirme miktarları hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan Sentinel-1 görüntüleri hakkında detaylı bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1: Kahramanmaraş Depreminde Kullanılan Uydu Görüntüleri

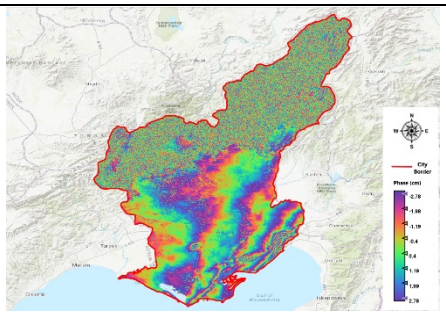
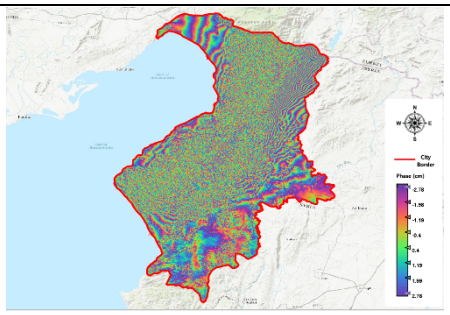
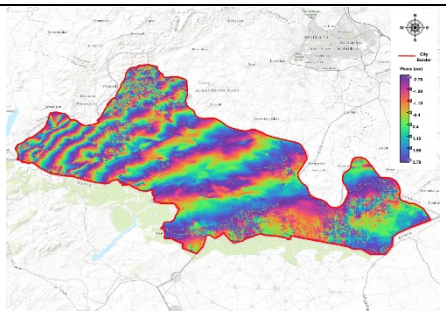
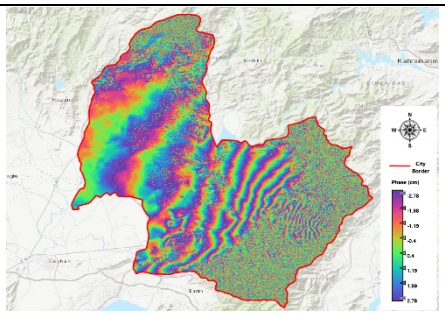
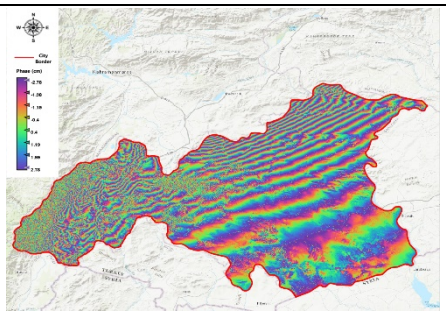
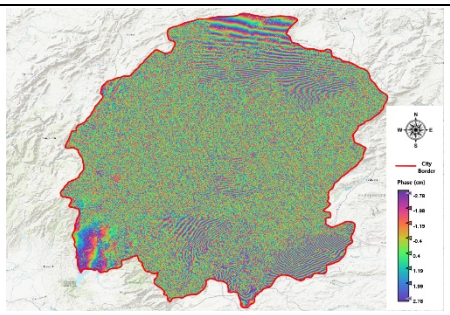
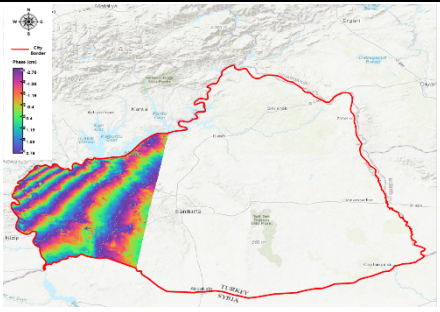
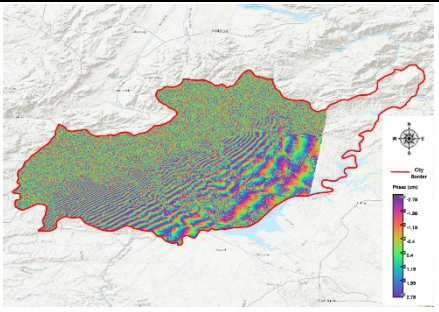
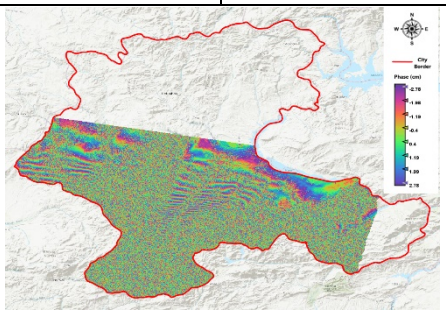
Platform	Görüntüleme Modu	Ürün Türü	Görüntüleme Tarihi	Yörünge No	Ürün No
Sentinel-1A	IW	SLC	29 Ocak 2023	46993	05A2FE_6FF2
			10 Şubat 2023	47168	05A8CD_FAA6
			29 Ocak 2023	46993	05A2FE_BE0B
			10 Şubat 2023	47168	05A8CD_E5B0
			28 Ocak 2023	46986	05A2B6_1629
			9 Şubat 2023	47161	05A88A_BB1A
			28 Ocak 2023	46986	05A2B6_00C8
			9 Şubat 2023	47161	05A88A_9FEC

Kahramanmaraş ilinde 6-11 Şubat 2023 tarihleri arasında meydana gelen 7.8 ve 7.6 büyüklüğündeki iki depreme ve bölgede gerçekleşen ≥5 Mw büyüklüğündeki çok sayıda artçı depreme ait diferansiyel interferogram oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu nihai ürün, Sentinel-1A uydusu tarafından 29 Ocak-10 Şubat 2023 tarihleri arasında kaydedilen periyodik SAR görüntü çiftlerinden üretilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi, ürün, topografya ve üzerindeki nesnelerin deprem öncesi ve sonrası uyduya olan mesafelerindeki değişimlerin faz farkı haritasıdır. Harita üzerindeki her bir renk halkası, Sentinel-1 uydusunun C-bandı dalga boyunun yarısı olan 5.55 cm veya yaklaşık 2.8 cm'lik bir deformasyonu göstermektedir. Harita üzerindeki herhangi iki nokta arasındaki topografik deformasyon miktarını hesaplamak için, bu iki nokta arasındaki renk halkaları sayılarak 2.8 cm ile çarpılabilir.

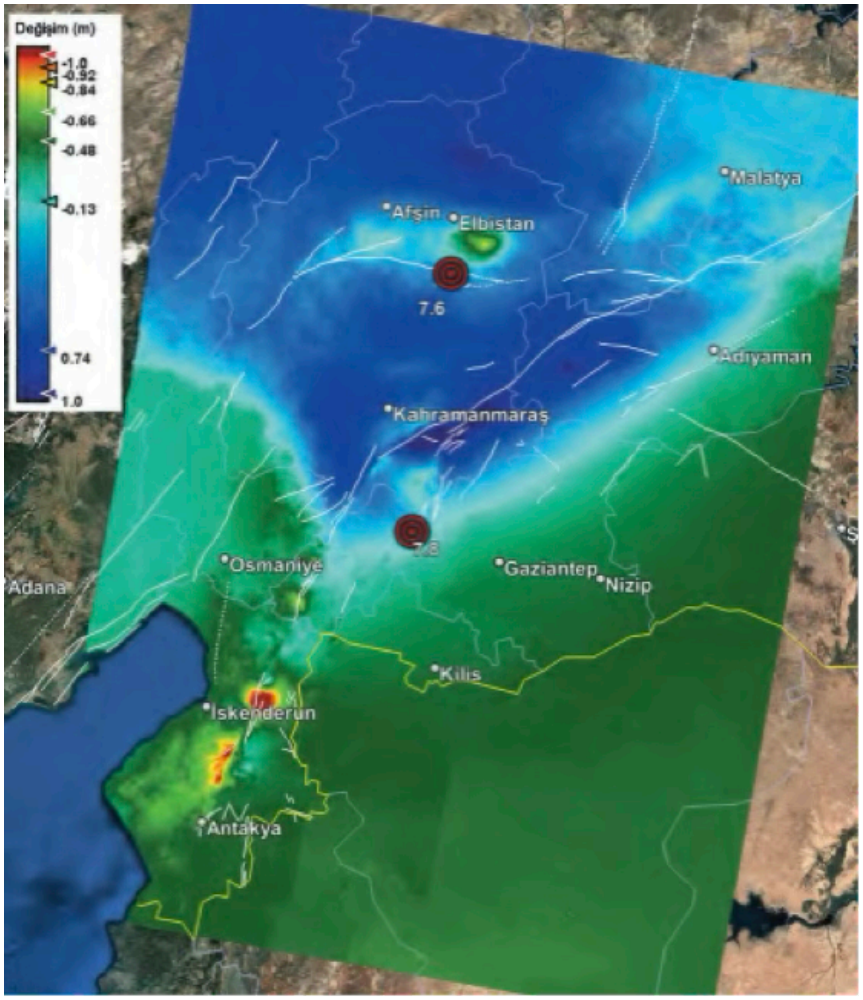


Şekil 4.2: Kahramanmaraş ilinde meydana gelen 7.8 ve 7.6 büyüklüğündeki iki depremin ve ≥5 Mw büyüklüğündeki çok sayıda artçı depremin diferansiyel interferogramı

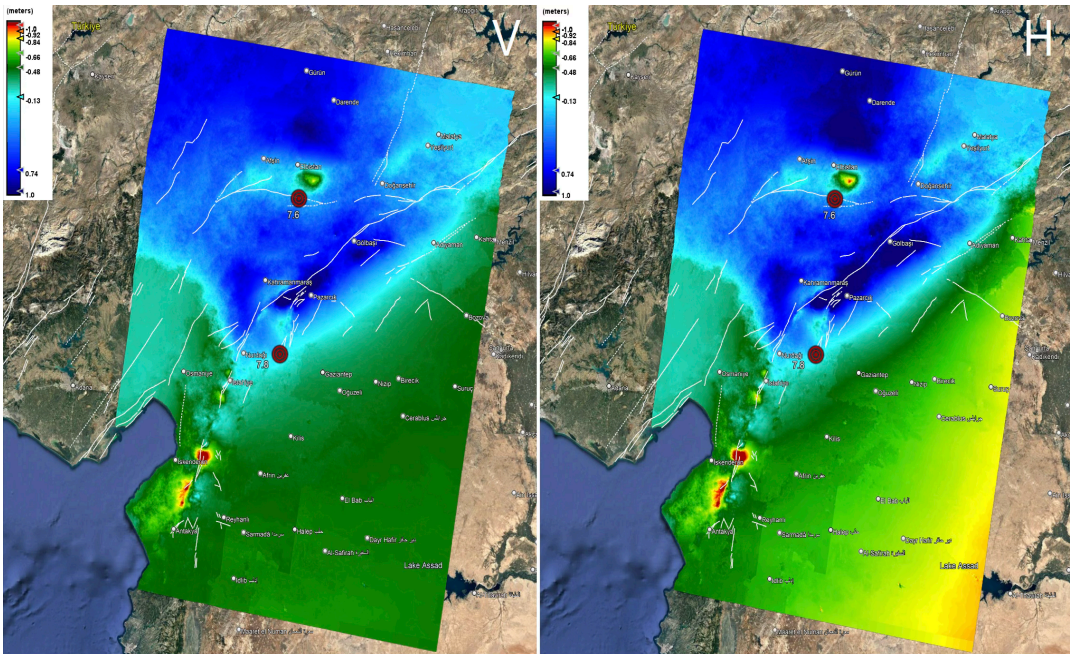
Tablo 4.2: İl İl İnterferogramlar

 ADANA	 HATAY
 KİLİS	 OSMANİYE
 GAZİANTEP	 KAHRAMANMARAŞ
 ŞANLIURFA	 ADIYAMAN
 MALATYA	

Bu haritada fazdan yer değiştirme dönüşümü yapılarak, görüş hattı (LOS), dikey ve yatay yönlerde yer değiştirme haritaları ayrı ayrı elde edilmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6). Deformasyon haritalarında, deprem bölgesindeki topografyada meydana gelen yaklaşık ±1.2 m'lik çökmeler ve yükselmeler açıkça görülmektedir. Şekil detaylı incelendiğinde, iki büyük depremin etkisiyle meydana gelen en büyük dikey yer değiştirmelerin deprem merkez üssünde ve çevresinde, ayrıca Hatay'ın kuzeydoğusunda gerçekleştiği görülmektedir. Haritanın orta kısmında açık mavi renkle gösterilen çizgi, zıt yöndeki çökme ve yükselme hareketlerinin ayrım çizgisidir. Deformasyon haritasında gösterilen iki çember, iki büyük depremin merkez üslerini, beyaz çizgiler ise bölgedeki fay hatlarının yerlerini göstermektedir.



Şekil 4.3: Kahramanmaraş Depremi Görüş Hattı (LOS) Yer Değiştirme Haritası



Şekil 4.4: Kahramanmaraş Depremi Dikey (solda) ve yatay yönlerde (sağda) deformasyon haritaları

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinin (Mw 7.8 ve 7.6) yüzey deformasyonlarını diferansiyel interferometrik SAR tekniği kullanılarak analiz etmek amaçlanmıştır. Sentinel-1 uydusundan elde edilen görüntüler üzerinde diferansiyel interferometri yöntemiyle yapılan analizler sonucunda, deprem bölgesinde meydana gelen tüm deformasyonlar detaylı bir şekilde haritalanmıştır. LOS yönünde hesaplanan deformasyonlar, daha iyi bir yorumlama için yatay ve dikey bileşenlere ayrılmıştır. Sonuçlara göre, Hatay ili Kırıkhan ilçesinin güney ve kuzey kısımlarında ve Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesinin doğusunda 1.2 metreye varan çöküntüler belirlenmiştir. Öte yandan, Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinde ise 1.2 metreye kadar yükselmeler gözlemlenmiştir.

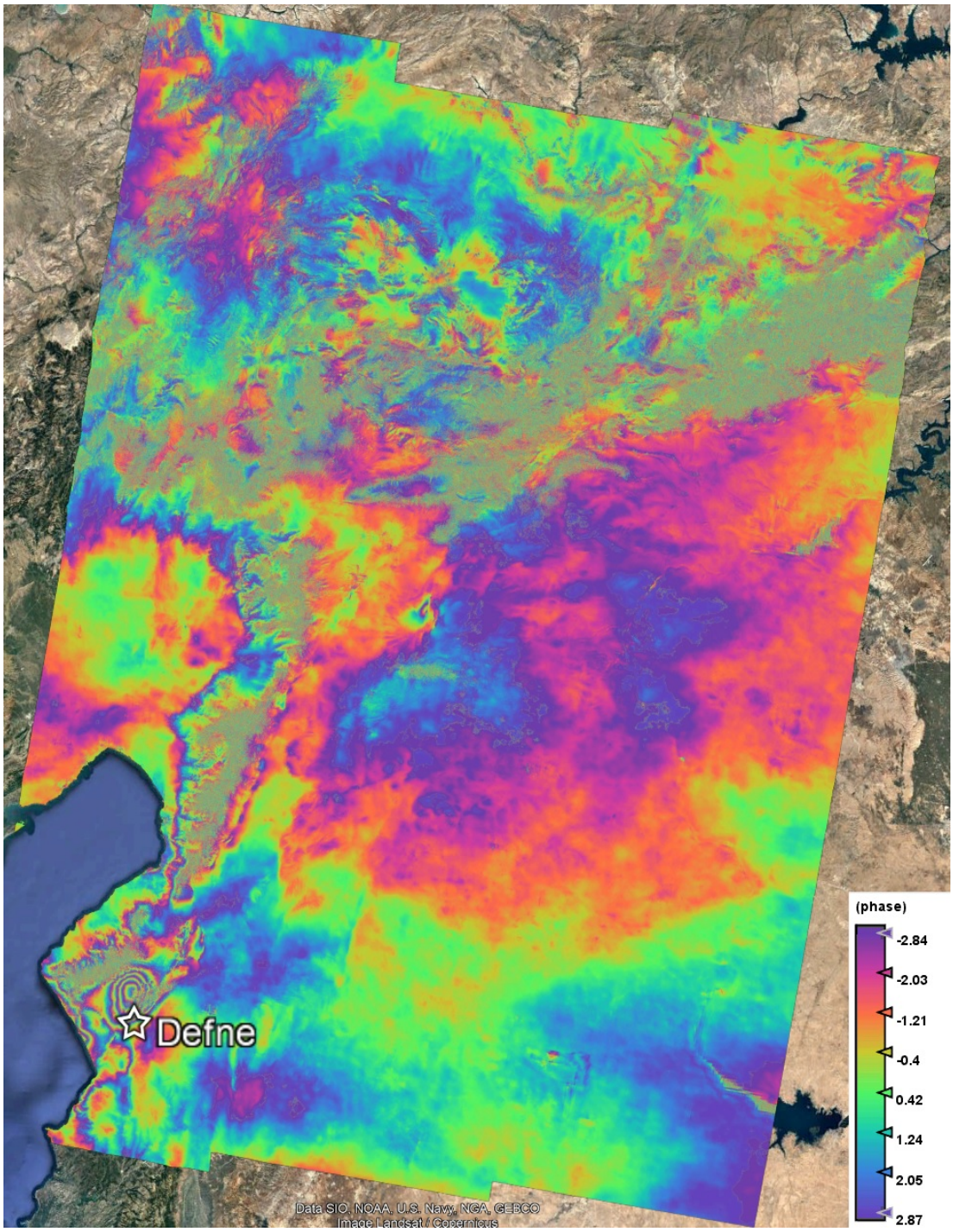
4.2. Hatay Defne Depremi

20 Şubat 2023 tarihinde Hatay'ın Defne ilçesinde meydana gelen 6.4 büyüklüğündeki deprem, Doğu Anadolu Fay Hattı'ndaki gerilimin yeniden düzenlenmesinin bir sonucu olarak, önceki depremlerden sonra bölgede devam eden sismik aktivitenin bir göstergesidir. Depremin etkisiyle bölgede mevcut hasarlı yapıların bir kısmı tamamen yıkılmış ve yeni hasarlar meydana gelmiştir. Bu depremin ardından oluşan yüzey deformasyonlarının analizi, özellikle Doğu Anadolu Fay Hattı'ndaki hareketlerin dinamiklerini anlamak açısından önem taşımaktadır.

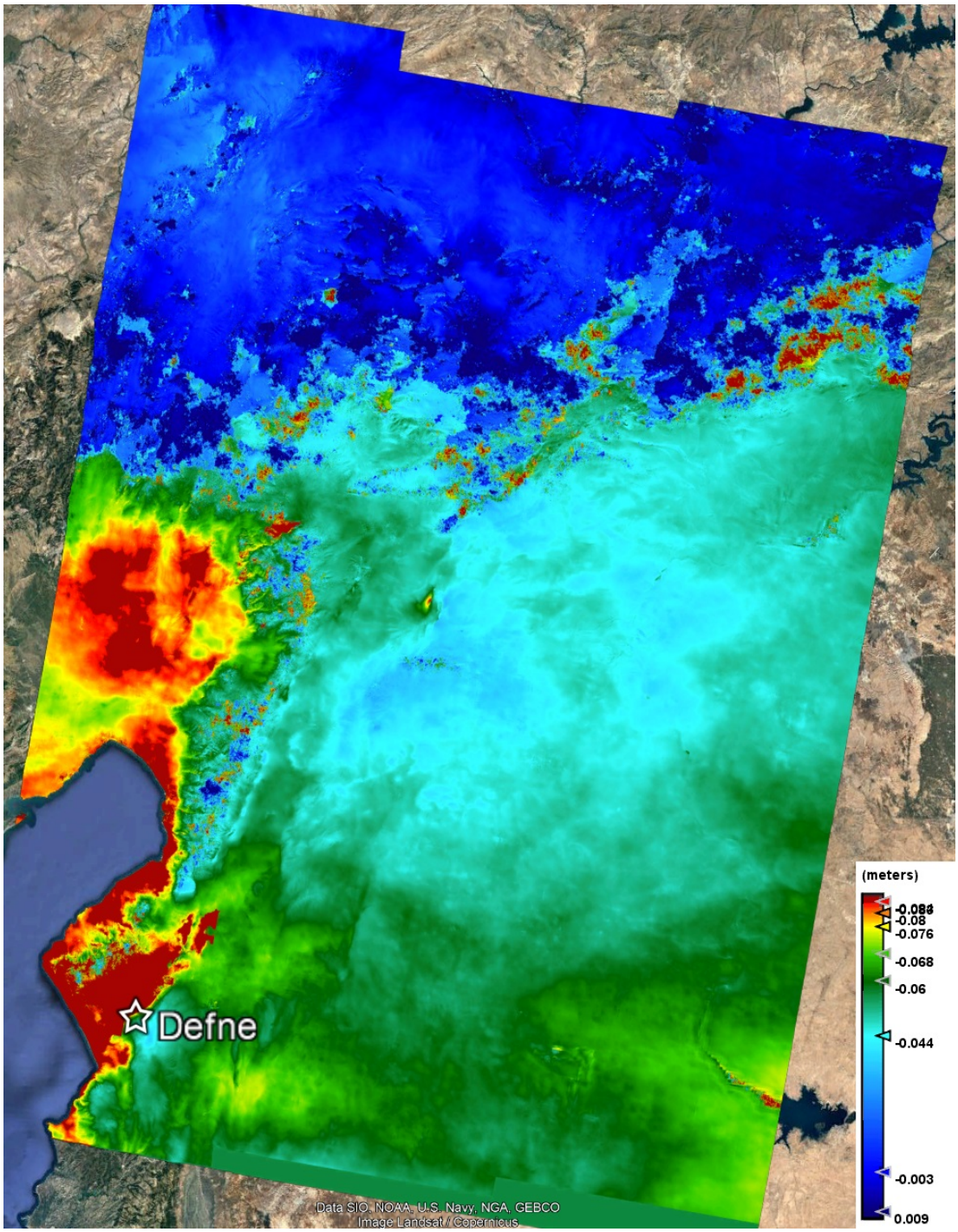
Bu çalışmada, Sentinel-1 uydusundan elde edilen Tablo 3'te gösterilen radar görüntüleri kullanılarak DInSAR yöntemiyle hem deformasyon haritaları hem de interferogramlar üretilmiştir. Bu çalışmada, öncelikle geniş bir coğrafyada yüzey deformasyonları analiz edilmiş olup, elde edilen bulgular sonucunda esas hareketlerin Hatay çevresinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, analizlerin daha hassas ve yerel ölçekte gerçekleştirilmesi amacıyla çalışma alanı Hatay il sınırlarına göre kırpılmış veriler deprem bilgi sistemine eklenmiştir.

Tablo 4.3:Hatay Defne Depreminde Kullanılan Uydu Görüntüleri

Platform	Görüntüleme Modu	Ürün Türü	Görüntüleme Tarihi	Yörünge No	Ürün No
Sentinel-1A	IW	SLC	10 Şubat 2023	47168	05A8CD_FAA6
			22 Şubat 2023	47343	05AEC6_68C8
			10 Şubat 2023	47168	05A8CD_E5B0
			22 Şubat 2023	47343	05AEC6_D99A



Şekil 4.5: Hatay Defne Depreminin Diferansiyel İnterferogramı



Şekil 4.6: Hatay Defne Depremi Görüş Hattı (LOS) Yer Değiştirme Haritası

4.3. Japonya Kumamoto Depremi

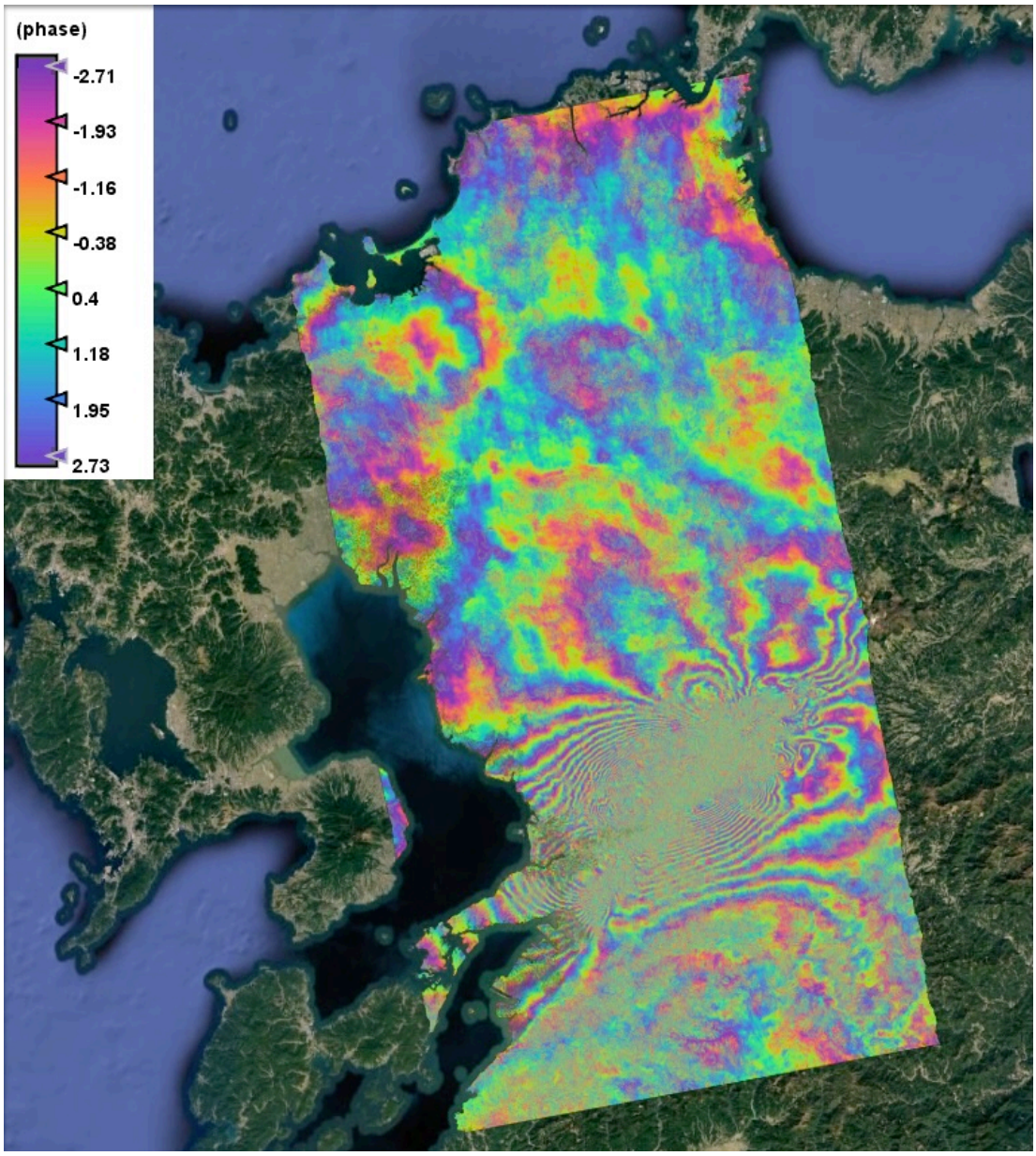
2016 yılında Japonya'nın Kumamoto bölgesinde meydana gelen depremler, benzer şekilde yüzey deformasyonlarının analizi için önemli bir çalışma alanı oluşturmuştur. 14 Nisan 2016'da başlayan ve iki gün sonra, 16 Nisan'da Mw 7.0 büyüklüğündeki ana

şok ile devam eden bu deprem dizisi, özellikle Kyushu Adası'nda ciddi yıkımlara ve yüzey deformasyonlarına yol açmıştır. Bu deprem, bölgedeki aktif fayların davranışlarının anlaşılması ve yüzeydeki etkilerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi açısından önemli veriler sunmuştur.

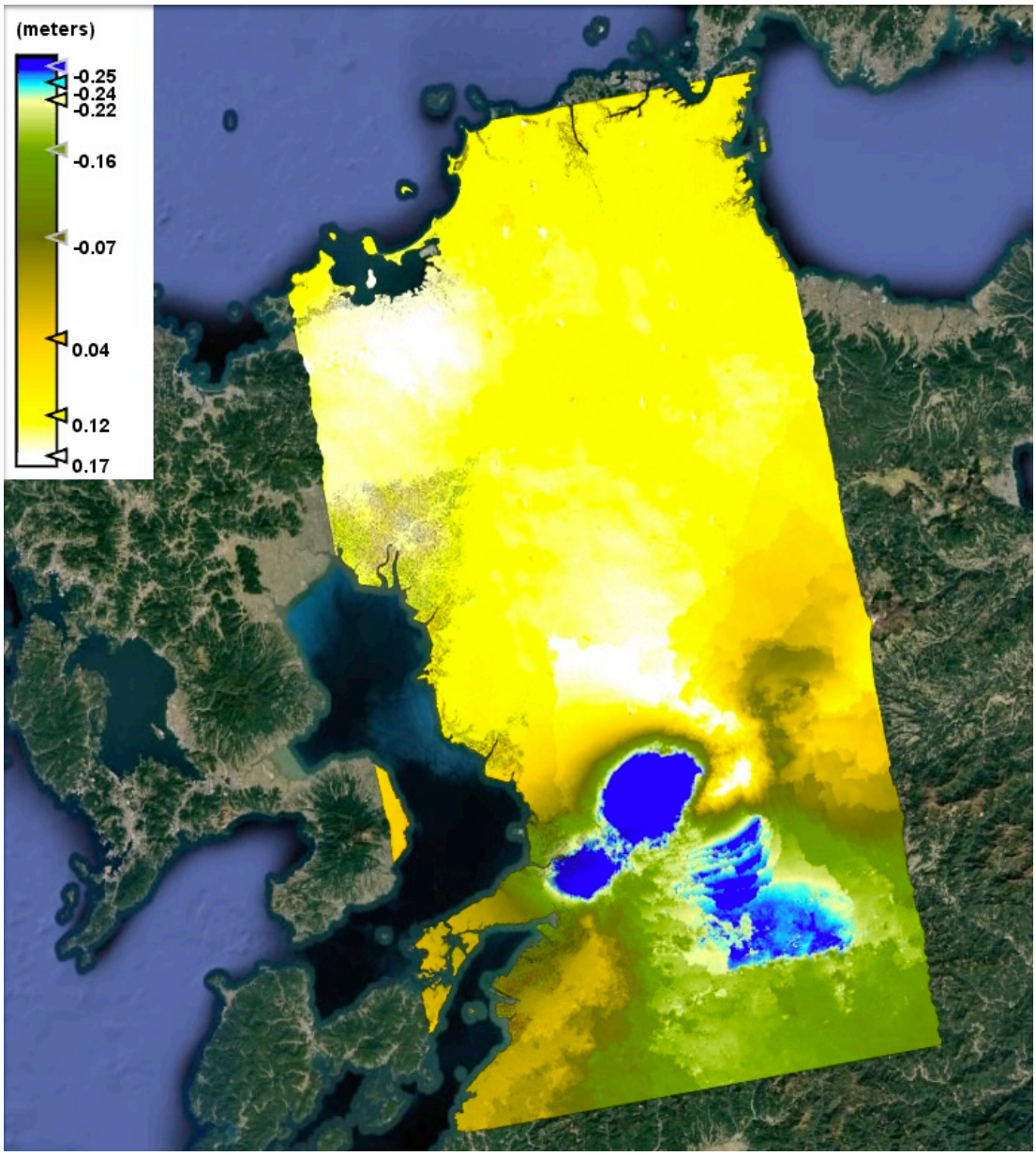
Çalışma kapsamında, başlangıçta geniş bir alan incelenmiş ve deformasyonun ana odaklarının Aso Dağı'nın batısı ile Kumamoto şehir merkezi çevresinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışma alanı üzerinde, Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) yöntemi uygulanarak interferogramlar ve yer değiştirme (displacement) haritaları oluşturulmuştur.

Tablo 4.4: Japonya Depreminde Kullanılan Uydu Görüntüleri

Platform	Görüntüleme Modu	Ürün Türü	Görüntüleme Tarihi	Yörünge No	Ürün No
Sentinel-1A	IW	SLC	8 Nisan 2016	10728	01001F_83EB
			20 Nisan 2016	10903	010569_F9CE



Şekil 4.7: Japonya Depreminin Diferansiyel İnterferogramı

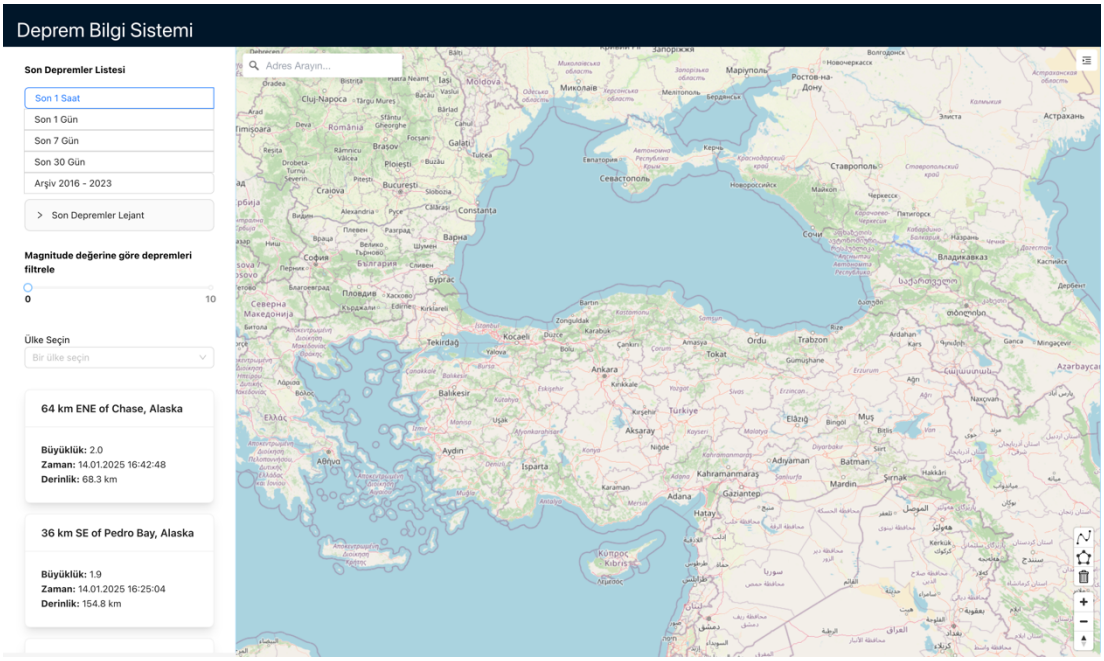


Şekil 4.8: Japonya Depremi Görüş Hattı (LOS) Yer Değiştirme Haritası

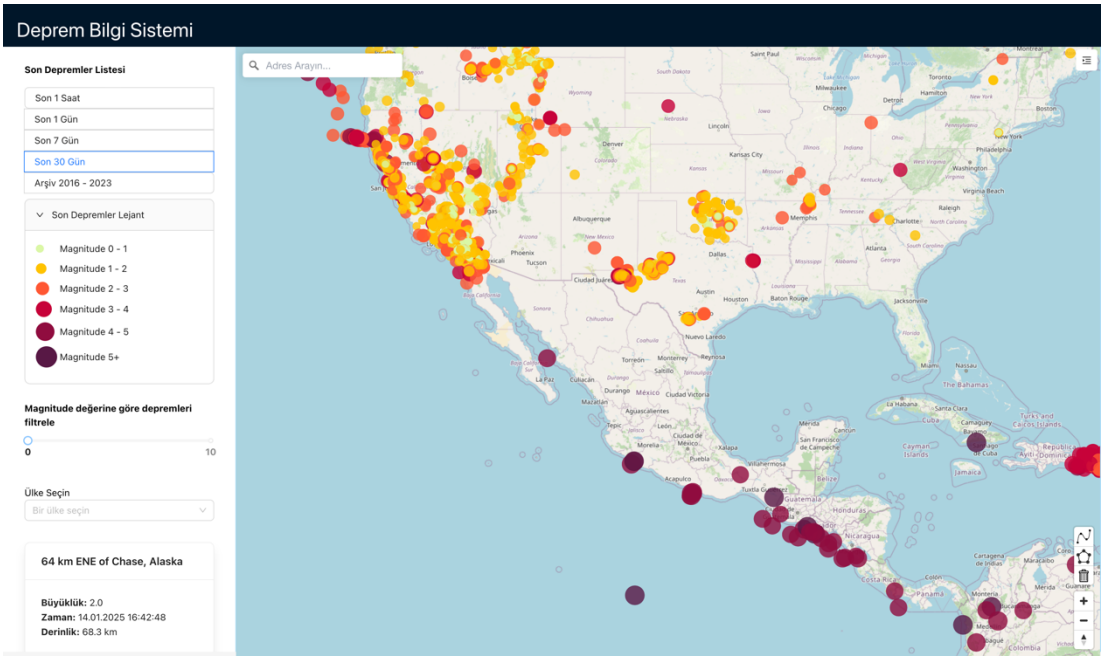
4.4. Geliştirilmiş Deprem Bilgi Sistemi Uygulaması

Bu bölümde, çalışmada üretilen yüzey deformasyonu haritalarının ve interferogramların görselleştirildiği web tabanlı uygulamaya ilişkin detaylar sunulmaktadır. Uygulama, kullanıcı dostu bir arayüz ile bilimsel verilerin erişilebilir ve interaktif bir şekilde sunulmasını sağlamaktadır. React.js, Tailwind CSS, Ant Design ve MapLibre GL gibi modern web teknolojileri kullanılarak geliştirilmiştir.

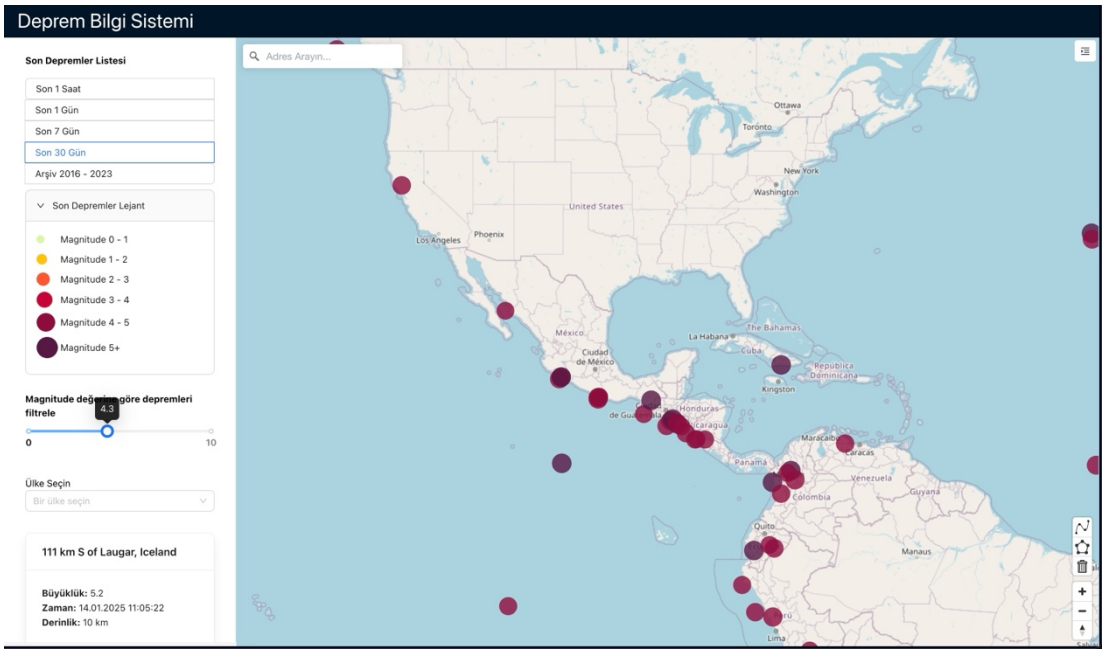
Uygulama, GeoServer üzerinden yayınlanan verileri entegre ederek, hem dinamik haritalar hem de detaylı deformasyon analizleri için görsel bir platform sunar. Bu platform, depreme maruz kalan bölgelerdeki yüzey hareketlerini hem bilim insanları hem de ilgili paydaşlar için kolayca analiz edilebilir bir formata dönüştürmektedir.



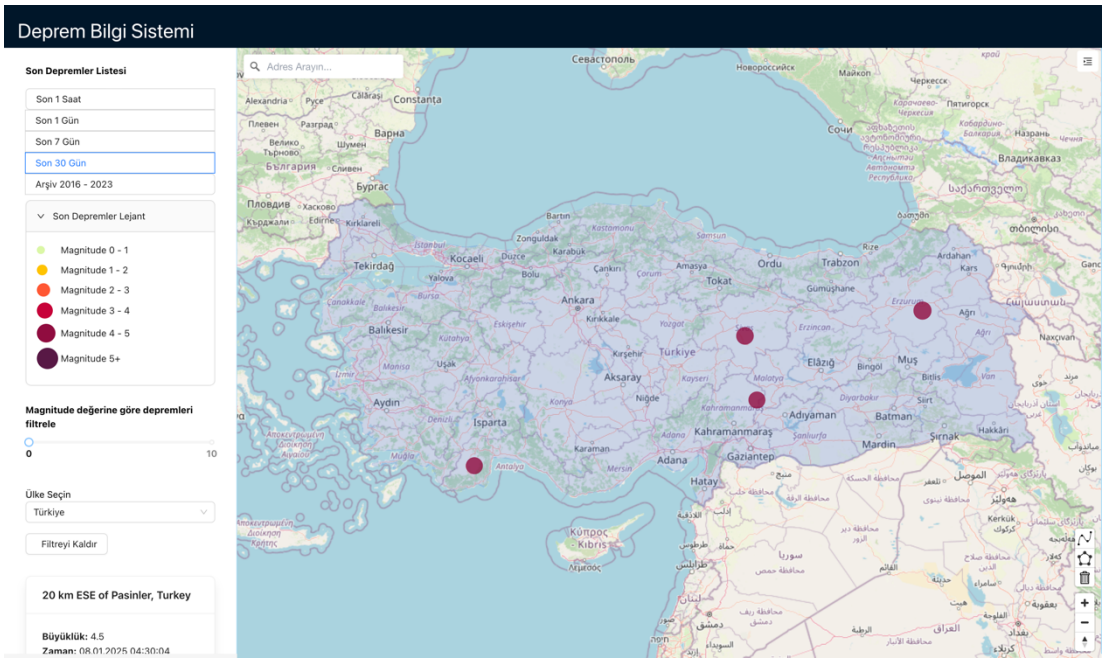
Şekil 4.9: Uygulama İlk Açılış Ekranı



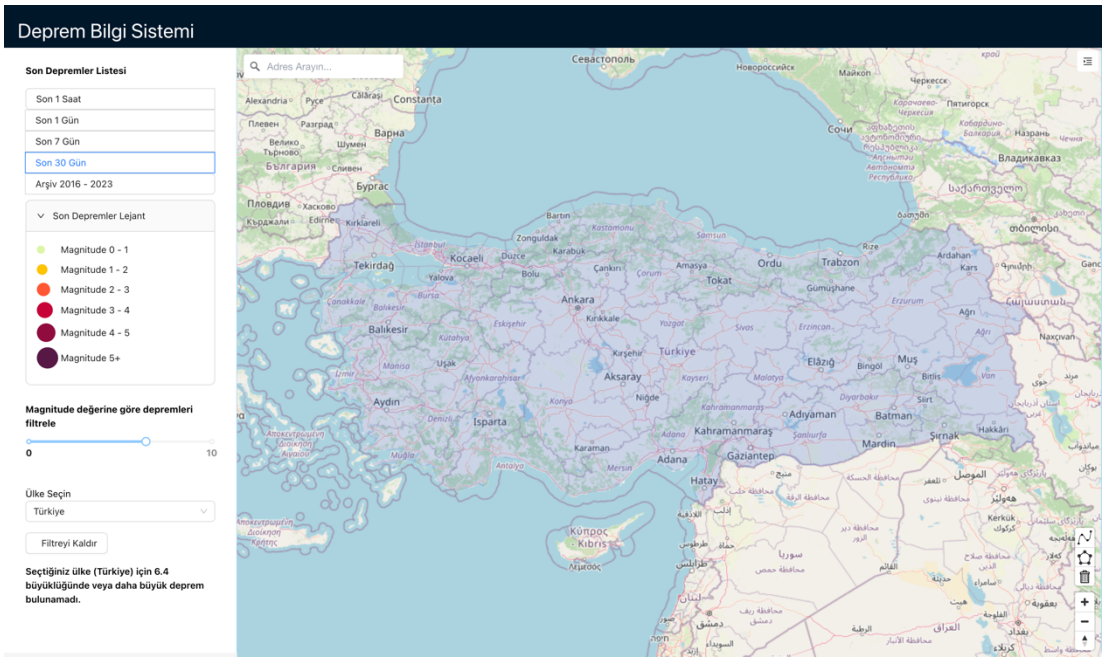
Şekil 4.10: Son 30 Güne Ait Depremlerin Gösterimi



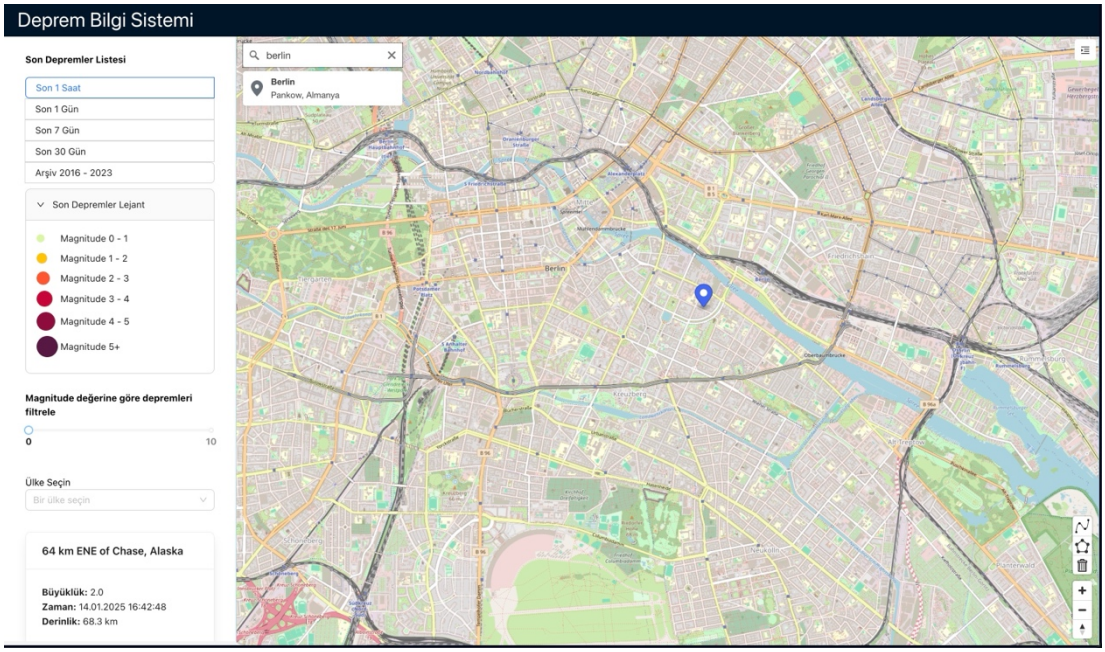
Şekil 4.11: Magnitude Filtresi



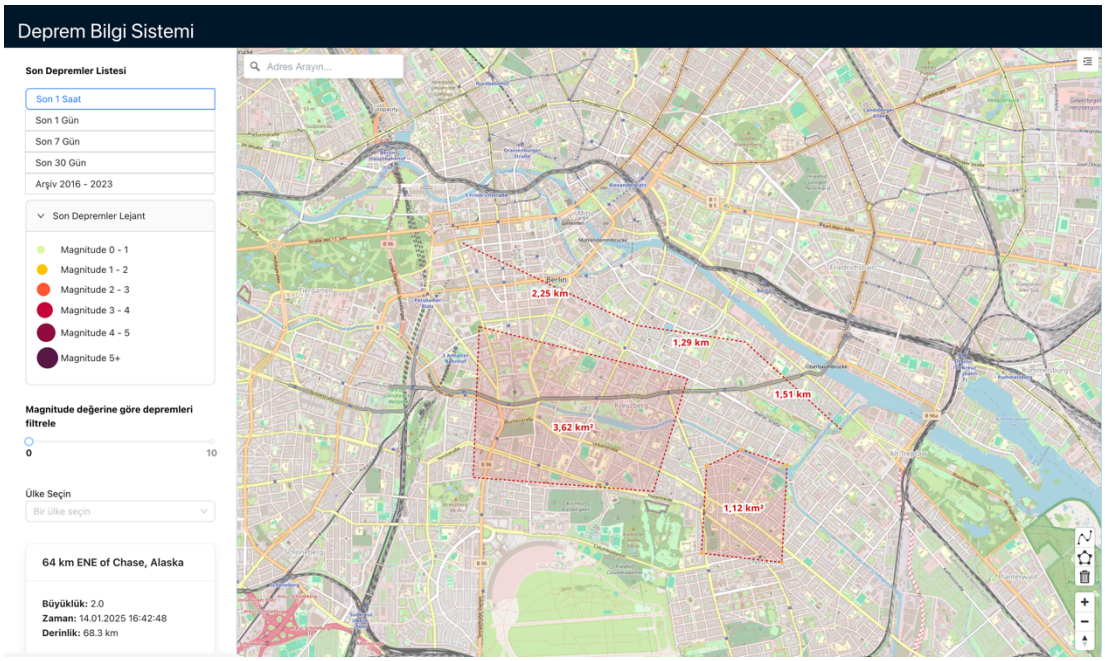
Şekil 4.12: Ülke Filtresi



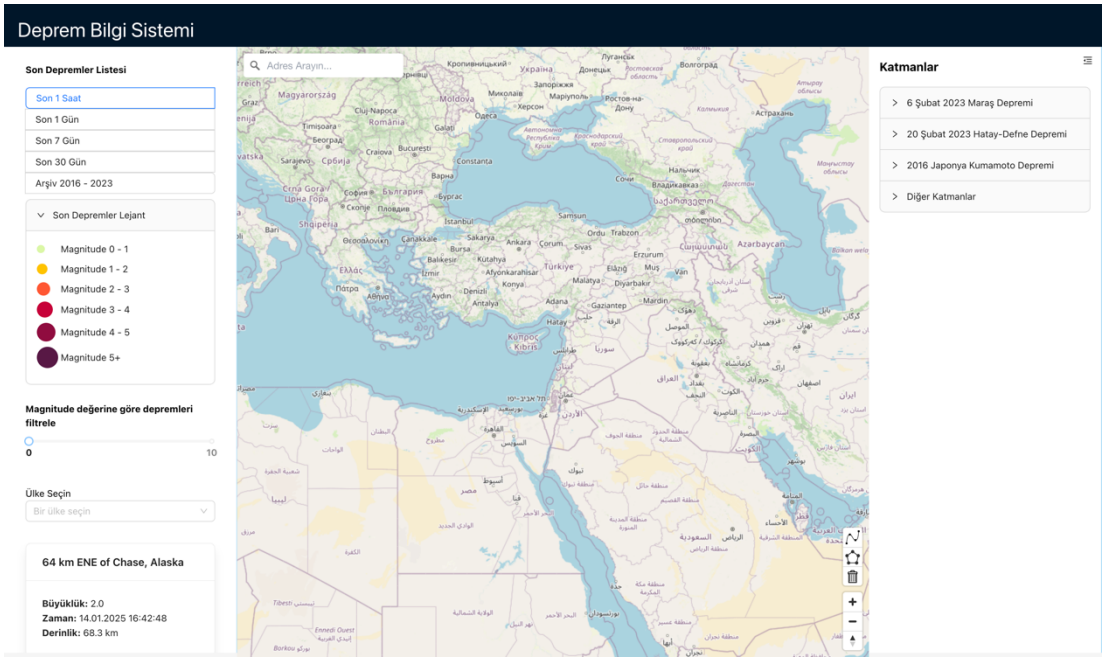
Şekil 4.13: Filtre Sonuç Bulamazsa Gözüken Ekran



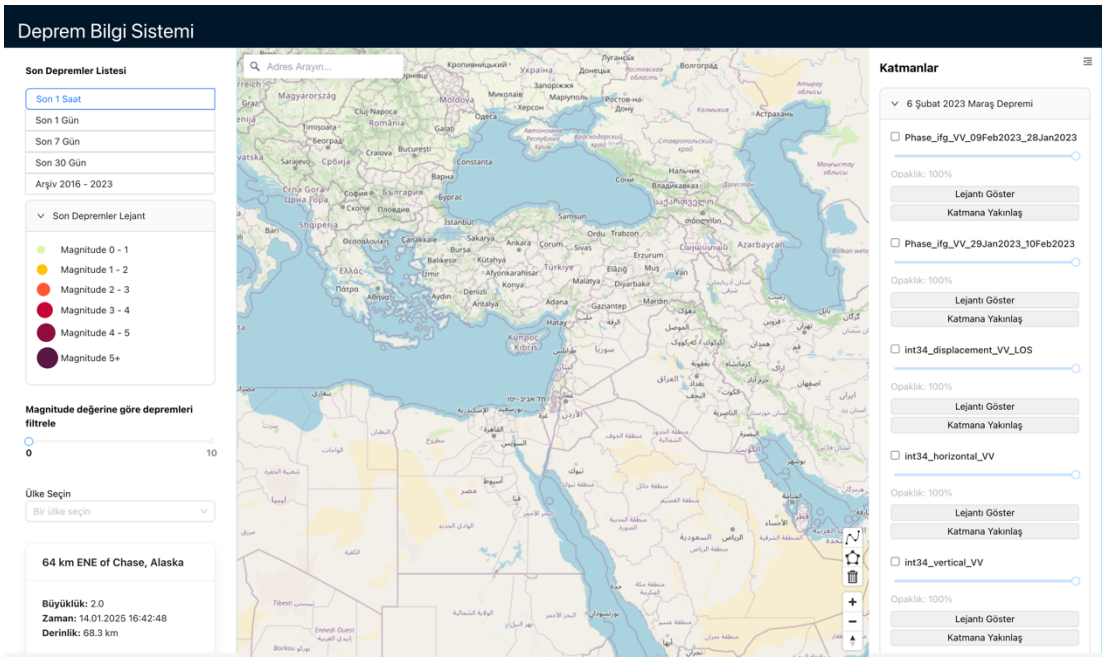
Şekil 4.14: Adres Arama



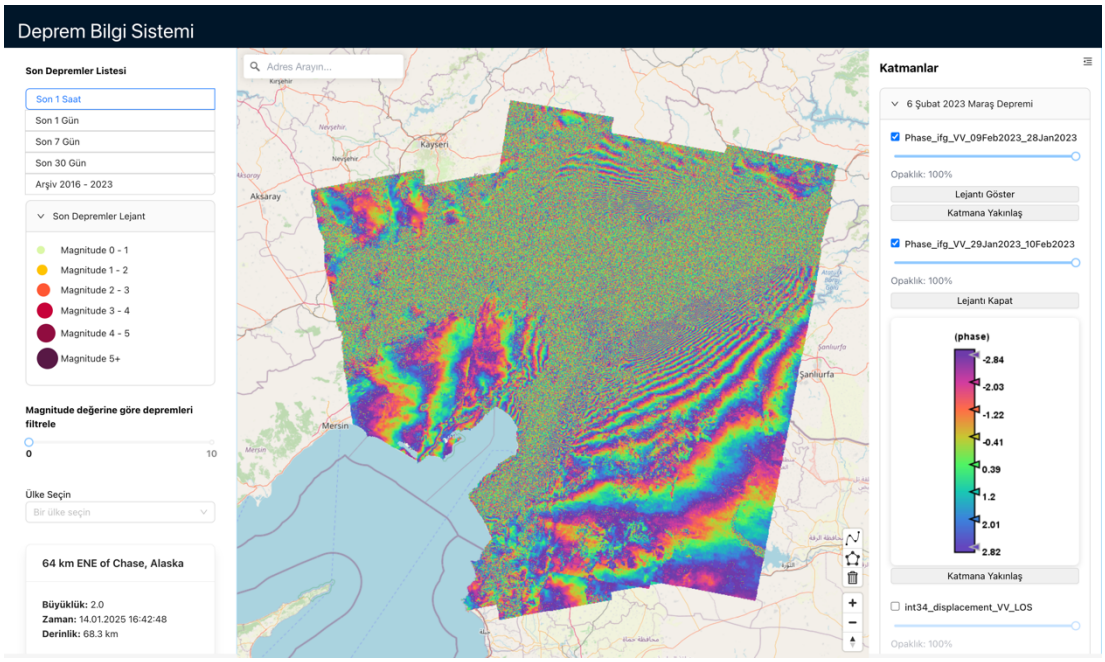
Şekil 4.15: Ölçüm Aracı Mesafe ve Alan



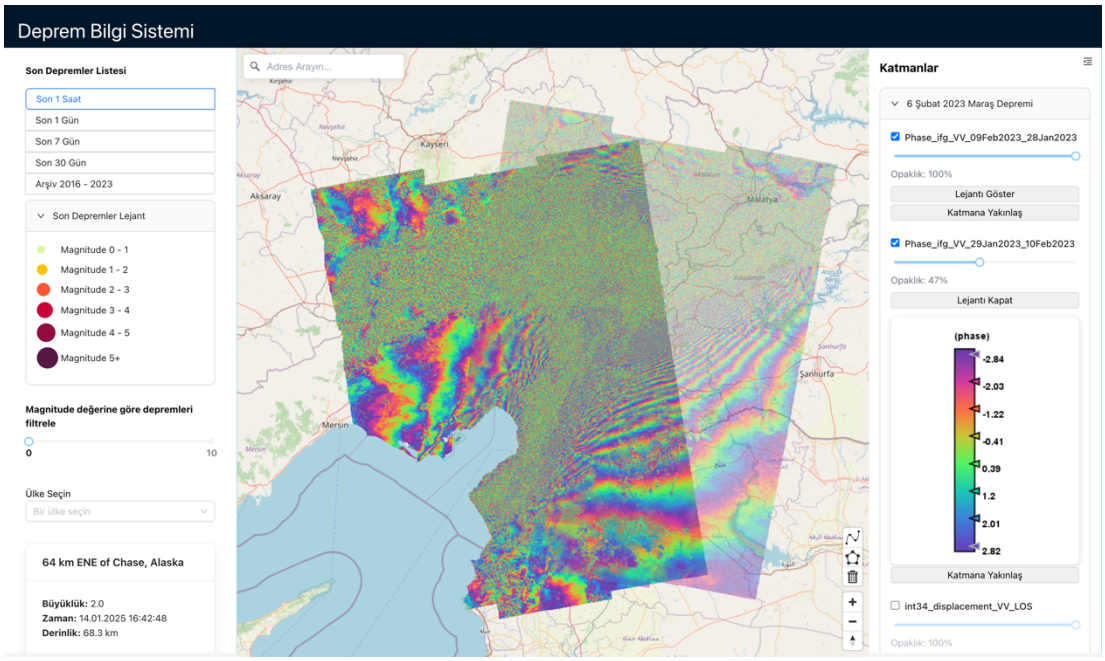
Şekil 4.16: Katmanlar Liste Görünümü



Şekil 4.17: Katmanlar Detay



Şekil 4.18: Harita Eklenen Katman Görünümü



Şekil 4.19: Katman Opaklık Ayarı

5. SONUÇLAR VE GELECEK HEDEFLERİ

Bu çalışma, DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) teknolojisi kullanılarak elde edilen interferogram ve yer değişimi haritalarının (displacement maps) GeoServer üzerinden yayınlanması ve bunların modern web teknolojileri ile entegre bir şekilde sunulması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen uygulama, React, TailwindCSS, Ant Design ve MapLibre gibi ön planda olan teknolojileri kullanarak, hem son depremlere ilişkin bilgilere hızlı erişim hem de DInSAR temelli katmanların etkileşimli bir ortamda görüntülenmesini sağlamaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma neticesinde, kullanıcı dostu ve çok yönlü bir web tabanlı harita uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulamada, GeoServer üzerinden yayınlanan DInSAR tabanlı veriler, MapLibre entegrasyonu ile dinamik olarak görüntülenmiştir. Bu durum, kullanıcıların verileri çeşitli özelleştirme seçenekleriyle incelemesine olanak tanımıştır. Uygulama ayrıca, gerçek zamanlı veri kaynaklarından alınan son deprem bilgilerinin harita üzerinde gösterimini başarıyla sağlamış ve kullanıcıların deprem etkinliklerini analiz etmelerini kolaylaştırmıştır. TailwindCSS ve Ant Design kullanılarak geliştirilen arayüz ise basit, etkili ve estetik bir kullanıcı deneyimi sunmuştur.

SAR tabanlı displacement haritalarının deprem bilgi sistemine entegre edilmesi, çok sayıda önemli fayda sağlamaktadır. Deprem sonrası yüzey deformasyonlarının hızlı bir şekilde tespit edilmesi, afet yönetim ekiplerine kritik bilgiler sunmaktadır. Bunun yanı sıra, etkilenen alanların hassas bir şekilde belirlenmesi, kurtarma ekiplerinin çalışma planlarını optimize etmesine olanak tanımaktadır. SAR verileri ile elde edilen deformasyon trendleri, gelecekteki potansiyel risk alanlarının belirlenmesine katkı sağlarken, deprem sonrası yüzey deformasyonlarının haritalanması da halkın afet bilinci kazandırılmasında etkili bir araç olarak kullanılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulamada, belirli bir depremin ardından Sentinel-1 verilerinden elde edilen displacement haritaları GeoServer aracılığıyla yayınlanmış ve web arayüzüne entegre edilmiştir. Test çalışmaları, elde edilen verilerin yüksek hassasiyete sahip olduğunu ve deprem bilgi sistemlerine entegrasyon

açısından başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu da, SAR verilerinin bu tür sistemlerdeki etkinliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın gelecekte geliştirilebilmesi için çeşitli öneriler sunulmaktadır. Farklı uydu sistemlerinden elde edilen verilerin entegrasyonu sağlanarak, yer değişimi analizlerinde daha zengin bir veri seti sunulabilir. Deprem ve yer değişimi analizleri için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak, daha ileri seviyede öngörüler ve analizler yapılabilir. Gerçek zamanlı veri işleme yeteneklerinin geliştirilmesi, afet yönetimi süreçlerinin daha hızlı ve etkili hale getirilmesini sağlayabilir. Kullanıcılardan gelen geri bildirimlerle uygulamanın sürekli olarak geliştirilmesi ve kullanıcıların kendi analizlerini yükleyip yayınlayabileceği bir portal oluşturulması, bilimsel çalışmalara ve topluluk bazlı bilgi paylaşımına katkı sağlayabilir. Yer değişimlerini 3 boyutlu harita ortamında görüntülemek, analiz kapasitesini artırabilirken, deprem sonrası acil durum planlaması ve kaynak yönetimini desteklemek üzere ek modüller geliştirilmesi de faydalı olacaktır.

Bu öneriler doğrultusunda yapılacak çalışmalar, mevcut uygulamanın hem bilimsel hem de pratik anlamda daha üst seviyelere taşınmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Alimuddin, I., Bayuaji, L., Sri Sumantyo, J. T., Kuze, H. (2011). Surface deformation monitoring of Miyakejima volcano using DInSAR technique of ALOS PALSAR images: 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2011. *2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2011- Proceedings*, 1615-1618. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049540

Boixart, G., Cruz, L. F., Miranda Cruz, R., Euillades, P. A., Euillades, L. D., Battaglia, M. (2020). Source model for Sabancaya Volcano constrained by DInSAR and GNSS surface deformation observation. *Remote Sensing*, *12* (11), Article 11. https://doi.org/10.3390/rs12111852

Cenni, N., Fiaschi, S., Fabris, M. (2021). Integrated use of archival aerial photogrammetry, GNSS, and InSAR data for the monitoring of the Patigno landslide (Northern Apennines, Italy). *Landslides*, *18*. https://doi.org/10.1007/s10346-021-01635-3

Cheng, S., Zhao, W., Yin, Z. (2019). *PS-InSAR analysis of collapsed dam and extraction of flood inundation areas in Laos using Sentinel-1 SAR Images* (s. 2608). https://doi.org/10.1109/IAEAC47372.2019.8997848

Crippa, C., Valbuzzi, E., Frattini, P., Crosta, G. B., Spreafico, M. C., Agliardi, F. (2021). Semi-automated regional classification of the style of activity of slow rock-slope deformations using PS InSAR and SqueeSAR velocity data. *Landslides*, *18* (7), 2445-2463. https://doi.org/10.1007/s10346-021-01654-0

Çomut, F. C., Gürboğa, Ş., Smaıl, T. (2020). Estimation of co-seismic land deformation due to Mw 7.3 2017 earthquake in Iran (12 November 2017) using Sentinel-1 DInSAR. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, *162* (162), Article 162. https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.604026

Dai, C., Li, W., Wang, D., Lu, H., Xu, Q., Jian, J. (2021). Active landslide detection based on Sentinel-1 data and InSAR technology in Zhouqu County, Gansu Province, Northwest China. *Journal of Earth Science*, *32* (5), 1092-1103. https://doi.org/10.1007/s12583-020-1380-0

De Novellis, V., Atzori, S., De Luca, C., Manzo, M., Valerio, E., Bonano, M., Cardaci, C., Castaldo, R., Di Bucci, D., Manunta, M., Onorato, G., Pepe, S., Solaro, G., Tizzani, P., Zinno, I., Neri, M., Lanari, R., Casu, F. (2019). DInSAR analysis and analytical modeling of nount Etna displacements: The December 2018 Volcano-Tectonic Crisis. *Geophysical Research Letters*, *46* (11), 5817-5827. https://doi.org/10.1029/2019GL082467

De Novellis, V., Carlino, S., Castaldo, R., Tramelli, A., De Luca, C., Pino, N. A., Pepe, S., Convertito, V., Zinno, I., De Martino, P., Bonano, M., Giudicepietro, F., Casu, F., Macedonio, G., Manunta, M., Cardaci, C., Manzo, M., Di Bucci, D., Solaro, G., … Tizzani, P. (2018). The 21 August 2017 Ischia (Italy) earthquake source model inferred

from seismological, GPS, and DInSAR measurements. *Geophysical Research Letters*, *45* (5), 2193-2202. https://doi.org/10.1002/2017GL076336

Elnashai, A., Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. https://doi.org/10.1002/9780470024867.ch2

Galloway, D., Jones, D. R., Ingebritsen, S. (1999). Land subsidence in the United States. *U.S. Geological Survey Circular*, *USGS Circ. 1182*.

Gao, G., San, L. H., Zhu, Y. (2021). Flood inundation analysis in Penang Island (Malaysia) based on InSAR maps of land subsidence and local sea level scenarios. *Water*, *13* (11), Article 11. https://doi.org/10.3390/w13111518

Gee, D., Sowter, A., Novellino, A., Marsh, S., Gluyas, J. (2016). Monitoring land motion due to natural gas extraction: Validation of the Intermittent SBAS (ISBAS) DInSAR algorithm over gas fields of North Holland, the Netherlands. *Marine and Petroleum Geology*, *77*. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.08.014

Glaze, L. S., Baloga, S. M. (2003). DEM flow path prediction algorithm for geologic mass movements. *Environmental Engineering Geoscience*, *9* (3), 225-240. https://doi.org/10.2113/9.3.225

Goto, A. (1999). A new model for volcanic earthquake at Unzen Volcano: Melt Rupture Model. *Geophysical Research Letters*, *26* (16), 2541-2544. https://doi.org/10.1029/1999GL900569

Grzovic, M., Ghulam, A. (2015). Evaluation of land subsidence from underground coal mining using TimeSAR (SBAS and PSI) in Springfield, Illinois, USA. *Natural Hazards*, *79* (3), 1739-1751. https://doi.org/10.1007/s11069-015-1927-z

Guha-Sapir, D., Vos, F. (2011). Earthquakes, an epidemiological perspective on patters and trends. *Advances in Natural and Technological Hazards Research* (ss. 13-24). https://doi.org/10.1007/978-90-481-9455-1_2

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A. (2000). Comparing landslide maps: A case study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, *25* (3), 247-263. https://doi.org/10.1007/s002679910020

Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.-T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, *112* (1), 42-66. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001

Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, *3* (9), 816-821. https://doi.org/10.1038/nclimate1911

Huang, C., Xia, H., Hu, J. (2019). Surface deformation monitoring in coal mine area based on PSI. *IEEE Access*, *PP*, 1-1. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2900258

Ishitsuka, K., Prats-Iraola, P., Nannini, M. (2015). *ALOS/PALSAR and TerraSAR-X persistent scatterer interferometry around Tokyo: Interferometric phase evaluation and validation* (s. 1424). https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326044

Jebur, M. N., Pradhan, B., Tehrany, M. S. (2015). Using ALOS PALSAR derived high-resolution DInSAR to detect slow-moving landslides in tropical forest: Cameron Highlands, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *6* (8), 741-759. https://doi.org/10.1080/19475705.2013.860407

Klemas, V. (2015). Remote sensing of floods and flood-prone areas: An overview. *Journal of Coastal Research*, *31* (4), 1005-1013. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00160.1

Lillesand, T., Kiefer, R. W., Chipman, J. (2018). *Uzaktan algılama ve görüntü yorumlama*.

Luo, X., Wang, C., Long, Y., Yi, Z. (2020). Analysis of the decadal kinematic characteristics of the daguangbao landslide using multiplatform time series InSAR observations after the Wenchuan Earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *125* (12), e2019JB019325. https://doi.org/10.1029/2019JB019325

Martins, B. H., Motoyuki, S., Yastika, P. E., Norikazu, S. (2020). Ground surface deformation detection in complex landslide area Bobonaro, Timor-Leste using SBAS DInSAR, UAV photogrammetry, and field observations. *Geosciences*, *10* (6), 245. https://doi.org/10.3390/geosciences10060245

Mehrabi, A. (2021). Monitoring the Iran Pol-e-Dokhtar flood extent and detecting its induced ground displacement using sentinel 1 imagery techniques. *Natural Hazards*, *105*, 1-15. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04414-w

Novellino, A., Cigna, F., Sowter, A., Ramondini, M., Calcaterra, D. (2017). Exploitation of the Intermittent SBAS (ISBAS) algorithm with COSMO-SkyMed data for landslide inventory mapping in north-western Sicily, Italy. *Geomorphology*, *280*, 153-166. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.009

Pastor Navarro, J. L., Tomás, R., Lettieri, L., Riquelme, A., Cano, M., Infante, D., Ramondini, M., Di Martire, D. (2019). *Multi-source data integration to investigate a deep-seated landslide affecting a bridge*. https://doi.org/10.3390/rs11161878

Pawluszek-Filipiak, K., Borkowski, A., Motagh, M. (2021). Multi-temporal landslide activity investigation by spaceborne SAR interferometry: The case study of the Polish Carpathians. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *24*, 100629. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100629

Pulvirenti, L., Chini, M., Pierdicca, N. (2021). InSAR multitemporal data over persistent scatterers to detect floodwater in urban areas: A case study in Beletweyne, Somalia. *Remote Sensing*, *13* (1), Article 1. https://doi.org/10.3390/rs13010037

Putri, R., Wibirama, S., Alimuddin, I., Kuze, H., Sri Sumantyo, J. (2013). Monitoring and analysis of landslide hazard using dinsar technique applied to ALOS PALSAR

imagery: A case study in Kayangan catchment area, Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, *7*, 308-322. https://doi.org/10.4090/juee.2013.v3n2.308322

Roa, Y., Rosell, P., Solarte, A., Euillades, L., Carballo, F., García, S., Euillades, P. (2021). First assessment of the interferometric capabilities of SAOCOM-1A: New results over the Domuyo Volcano, Neuquén Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, *106*, 102882. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102882

Rosi, A., Tofani, V., Agostini, A., Tanteri, L., Tacconi Stefanelli, C., Catani, F., Casagli, N. (2016). Subsidence mapping at regional scale using persistent scatters interferometry (PSI): The case of Tuscany region (Italy). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *52*, 328-337. https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.003

Rosi, A., Tofani, V., Tanteri, L., Tacconi Stefanelli, C., Agostini, A., Catani, F., Casagli, N. (2018). The new landslide inventory of Tuscany (Italy) updated with PS-InSAR: Geomorphological features and landslide distribution. *Landslides*, *15* (1), 5-19. https://doi.org/10.1007/s10346-017-0861-4

Sandwell, D., Myer, D., Mellors, R., Shimada, M., Brooks, B., Foster, J. (2008). Accuracy and resolution of ALOS interferometry: vector deformation maps of the Father's Day intrusion at Kilauea. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, *46*, 3524-3534. https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2000634

Sanyal, J., Lu, X. X. (2004). Application of remote sensing in flood management with special reference to Monsoon Asia: A review. *natural hazards*, *33* (2), 283-301. https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000037035.65105.95

Schilling, S. P. (1998). LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. *Open-File Report* (Nos. 98-638). U.S. Geological Survey ; Information Services [distributor],. https://doi.org/10.3133/ofr98638

Sefercik, U., Buyuksalih, G., Atalay, C., Jacobsen, K. (2018). Validation of Sentinel-1A and AW3D30 DSMs for the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, *86*. https://doi.org/10.1007/s41064-018-0054-3

Sowter, A., Bateson, L., Strange, P., Syafiudin, M. F. (2013). *DInSAR estimation of land motion using intermittent coherence with application to the South Derbyshire and Leicestershire Coalfield*.

Sreejith, K. M., Agrawal, R., Agram, P., Rajawat, A. S. (2020). Surface deformation of the Barren Island volcano, Andaman Sea (2007–2017) constrained by InSAR measurements: Evidence for shallow magma reservoir and lava field subsidence. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *407*, 107107. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107107

Stevens, N. F., Manville, V., Heron, D. W. (2003). The sensitivity of a volcanic flow model to digital elevation model accuracy: Experiments with digitised map contours

and interferometric SAR at Ruapehu and Taranaki volcanoes, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *119* (1), 89-105. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(02)00307-4

Stramondo, S., Chini, M., Bignami, C., Salvi, S., Atzori, S. (2011). X-, C-, and L-Band DInSAR Investigation of the April 6, 2009, Abruzzi Earthquake. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *8* (1), 49-53. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. https://doi.org/10.1109/LGRS.2010.2051015

Strozzi, T., Wegmüller, U., Tosi, L., Bitelli, G., Spreckels, V. (2001). Land subsidence monitoring with differential SAR interferometry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *67*, 1261-1270.

Suresh Krishnan, P. V., Kim, D., Jung, J. (2018). Land subsidence monitoring in the kathmandu basin, before and after MW 7.8 Gorkha Earthquake, Nepal by Sbas-Dinsar Technique. *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 525-528. IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518087

Syahreza, S., Syamsuddin, F., Saepuloh, A., Jefriza, J., Lateh, H. (2018). Combining the Sentinel-1A/B DinSAR interferometry to detect deformation associated with Pidie Jaya earthquake. *Journal of Physics: Conference Series*, *1120*, 012021. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012021

Tang, W., Motagh, M., Zhan, W. (2020). Monitoring active open-pit mine stability in the Rhenish coalfields of Germany using a coherence-based SBAS method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *93*, 102217. https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102217

Tiwari, A., Narayan, A., Dwivedi, R., Dikshit, O., Balasubramanian, N. (2021). Monitoring of landslide activity at the Sirobagarh landslide, Uttarakhand, India, using LiDAR, SAR interferometry and geodetic surveys,. *Geocarto International*, *35*, 535-558.

Tralli, D., Blom, R., Zlotnicki, V., Donnellan, A., Evans, D. (2005). Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *59*, 185-198. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.02.002

Tzouvaras, M., Danezis, C., Hadjimitsis, D. G. (2020). Differential SAR interferometry using Sentinel-1 imagery-limitations in monitoring fast moving landslides: The case study of Cyprus. *Geosciences*, *10* (6), Article 6. https://doi.org/10.3390/geosciences10060236

Wang, Y., Colby, J. D., Mulcahy, K. A. (2002). An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. *International Journal of Remote Sensing*, *23* (18), 3681-3696. https://doi.org/10.1080/01431160110114484

Wangchuk, S., Bolch, T., Robson, B. (2022). Monitoring glacial lake outburst flood susceptibility using Sentinel-1 SAR data, Google Earth Engine, and persistent scatterer

interferometry. *Remote Sensing of Environment*, *271*, 112910. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112910

Yun, H.-W., Kim, J.-R., Yoon, H., Choi, Y., Yu, J. (2019). Seismic surface deformation risks in industrial hubs: A case study from Ulsan, Korea, using DInSAR time series analysis. *Remote Sensing*, *11* (10), Article 10. https://doi.org/10.3390/rs11101199

Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., Sun, W., Wei, J., Chen, Y. (2019). Monitoring land subsidence in Wuhan city (China) using the SBAS-InSAR method with Radarsat-2 imagery data. *Sensors*, *19* (3), Article 3. https://doi.org/10.3390/s19030743

Zhou, L., Guo, J., Hu, J., Li, J., Xu, Y., Pan, Y., Shi, M. (2017). Wuhan surface subsidence analysis in 2015-2016 based on sentinel-1A data by SBAS-InSAR. *Remote Sensing*, *9*, 982. https://doi.org/10.3390/rs9100982

ÖZGEÇMİŞ

Samed ADALI, Lisans eğitimine 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünde başladı ve 2021 yılında tamamladı. 2021 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri programında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Meslek hayatında Geolab Bilgi Teknolojileri şirketinde GIS Developer olarak çalışmış, şu anda da İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nde Frontend Developer olarak çalışmaktadır.

TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Adalı, S., Sefercik, U. (2024), “Mapping of surface deformations caused by Kahramanmaraş earthquakes (Mw 7.8 and 7.6) using differential interferometry technique”, HAGIA SOPHIA 8th International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies, 45-52