T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEDİZ GRABENİ DOĞU KESİMİNİN MEVSİMSEL YÜZEY DEFORMASYONLARIN SAR YÖNTEMİ İLE İZLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman GÜLER
(20189249009)

Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

SİVAS
MAYIS 2023

Süleyman GÜLER'in hazırladığı ve **"GEDİZ GRABENİ DOĞU KESİMİNİN MEVSİMSEL YÜZEY DEFORMASYONLARIN SAR YÖNTEMİ İLE İZLENMESİ"** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	**Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	..…….
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Fatih POYRAZ** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	……
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN** Aksaray Üniversitesi	……

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışması 119Y180 nolu TUBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Süleyman GÜLER, 2023

Canım aileme...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

10.04.2023

Süleyman GÜLER

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Çalışma sürecimde bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını ve vaktini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren gerek yönlendirmeleri gerek katkılarıyla destek olan Prof. Dr. Fatih Poyraz, Dr. Hüseyin Duman ve Dr. Bekir Poyraz'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca destekleri hissettiğim ve bu tez çalışması süreci içerisinde de ayrıca her zaman destekleriyle sonuna kadar yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

GEDİZ GRABENİ DOĞU KESİMİNİN MEVSİMSEL YÜZEY DEFORMASYONLARIN SAR YÖNTEMİ İLE İZLENMESİ

Süleyman GÜLER
Yüksek Lisans Tezi
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışmam: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU
2023, 98+xix sayfa

Türkiye'nin batısında yer alan Gediz grabeninin oluşumu Geç Miyosen dönemine kadar uzanır. Oluşum sürecinin yanında tarihsel süreci de grabenin birçok bilim dalında farklı araştırma konularına imkan sağlamaktadır. Bu çalışmaların başında Gediz Grabeni'nin jeolojik yapısı gereği tektonik çalışmalar olmuştur. Jeolojik kuvvetler kabuğun gerilmesine ve çatlamasına neden olarak Gediz Grabeni'ni içinde yer alan fay hatlarının oluşmasına neden olmuştur. Oluşan bu fay hatları tarihsel süreçte büyük depremlere sebep olmuştur. Grabenin doğu kısmında en son 1969 yılında gerçekleşen M=6.5 Alaşehir depremi bu depremlerden birisidir.

Bu tez çalışmasında çalışma sahası olarak Gediz Grabenin doğu kesimi seçilmiştir. Gediz grabenini doğu kesiminde gerçekleştirilen daha önceki GNSS çalışmalarında yatay da yaklaşık 10-30 mm/yıl arasında düşeyde ise yaklaşık 90mm/yıl sevilerine kadar çökme hareketleri izlenmiştir. Seçilen çalışma alanının Sentinel-1 görüntüleri kullanarak Ps-InSAR yöntemi ile yüzey deformasyonlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 2020-2021 yıllarını kapsayan aralıkta Sentinel S1A/B alçalan (116 adet) ve yükselen (114 adet) uydu görüntüleri PSInSAR yöntemiyle değerlendirilmiştir. PSI sonuçlarına göre Gediz Grabeni'nin doğu kesiminde yer alan Manisa Alaşehir ilçesine bağlı Yeşilyurt beldesi ve çevresinde grabenin genel hareket karakterinden farlı bir hareket tespit edilmiş ve bu alan üzerinde incelemeler ve yeni çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen PSI çıktılarından Yeşilyurt'u kapsayacak şekilde 3 adet nokta seçilip bu noktaların iki yıllık yer değiştirme zaman serisi verisinden, düşey ve yatay bileşenlerine ait hız değerleri kestirilmiştir. Bu üç noktadan elde edilen sonuçlara göre ortalama +100 ve -100 mm/yıl arasında hareket gözlemlenmektedir. Fakat özellikle düşey yönündeki yer değiştirme değerlerinde aynı mevsimlerde çok benzer hareketler tespit edilmiştir. Kış aylarında düşey yönündeki hızlar nispeten durağan geçerken İlkbahar aylarında çökmelerin başlamakta, yaz aylarında ise çökme hareketinin pik yapmaktadır. Sonbahar aylarında ise sahada kabarma hareketi gözlenmektedir. Yine bir sonraki kış mevsimi geldiğinde yatayda ve düşeyde bir önceki kış mevsiminde olduğu gibi diğer mevsimlere nispeten durağan bir hareket

gözlenmektedir. 2021 yılının ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde gerçekleşen hareketeler, 2020 yılındaki mevsimlerde gerçekleşmiş hareketlerle çok benzer olduğu tespit edilmiştir. Yani farklı yıllarda aynı mevsimlerde çok benzer hareketler gerçekleşmektedir. Zaman aralığı 2 yıldan 3 aya düşürülerek bu gerçekleşen hareketlerde hem mevsimsel etkiyi daha net ortaya koyabilmek hem de zaman aralığını düştüğü için daha fazla PS noktası üretmek için veriler mevsimlere göre üçer aylık zaman dilimlerine ayrılarak PSInSAR yöntemiyle tekrar değerlendirilmiştir. Yılda dört periyot toplamda sekiz periyot olarak 2020-2021 yıllarını kapsayacak şekilde, Sentinel-1 uydusu yükselen ve alçalan yörünge görüntüleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirilme sonuçları daha sonra bölgede bulunan Ilgın su deposu verileriyle karşılaştırılarak çalışma sahasındaki özellikle düşey bileşenine ait hareketin mevsimsel etkisi ortaya konmuştur. Sonuç olarak düşey deformasyon miktarları ile yer altı su seviyesi değişim değerleri arasında yüksek korelasyon değerleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ps-InSAR, PSI, deformasyon, Gediz Grabeni, InSAR

ABSTRACT

MONITORING OF SEASONAL SURFACE DEFORMATIONS OF THE EASTERN PART OF GEDİZ GRABENİ BY SAR METHOD

Süleyman GÜLER
Master of Science Thesis
Department of Geomatics Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU
2023, 98+xix pages

The formation of the Gediz graben in western Turkey dates back to the Late Miocene period. In addition to the formation process, the historical process of the graben provides opportunities for different research topics in many branches of science. At the beginning of these studies were tectonic studies due to the geological structure of the Gediz Graben. Geological forces caused the crust to stretch and crack, resulting in the formation of fault lines in the Gediz Graben. These fault lines have caused great earthquakes in the historical process. The M=6.5 Alaşehir earthquake, which took place in the eastern part of the graben in 1969, is one of these earthquakes.

In this study, the eastern part of Gediz Graben was selected as the study area. In previous GNSS studies conducted in the eastern part of the Gediz graben, collapse movements were observed horizontally between about 10-30 mm/year and vertically up to about 90 mm/year. It was aimed to detect surface deformations by Ps-InsAR method using Sentinel-1 images of the selected study area. For this purpose, the satellite images of Sentinel 1A/B descending (116) and ascending (114) in the range covering the years 2020-2021 were evaluated by PSInSAR method. According to the PSI results, a movement different from the general movement character of the graben was detected in and around Yeşilyurt town of Manisa Alaşehir district in the eastern part of Gediz Graben, and investigations and new studies were conducted on this area. From the PSI outputs obtained, 3 points were selected to cover Yeşilyurt and the velocity values of the two-year time series, vertical and horizontal components of these points were estimated. According to the results obtained from these three points, an average movement between +100 and -100 mm/year is observed. However, very similar movements have been detected in the same seasons, especially in the displacement values in the vertical direction. While the velocities in the vertical direction pass relatively stagnant in winter months, collapses begin in spring months and the collapse movement peaks in summer months. In the autumn months, the swelling movement of the field is observed. In the autumn months, the swelling movement of the field is observed. It has been determined that the movements in the spring,

summer and autumn seasons of 2021 are very similar to the movements in the seasons of 2020. In other words, very similar movements take place in the same seasons in different years. The data were divided into quarterly time periods according to the seasons and re-evaluated with the PSInSAR method in order to reveal the seasonal effect more clearly in these movements by reducing the time interval from 2 to 3 months and to produce more PS points as the time interval decreased. The Sentinel-1satellite ascending and descending orbital images were evaluated separately to cover the years 2020-2021 for a total of eight periods four times a year. The results of the evaluation were then compared with the Ilgin water well data in the region and the seasonal effect of the movement, especially of the vertical component, in the study area was revealed. As a result, high correlation values were obtained between vertical deformation amounts and underground water level change values.

Key Words:, Ps-InSAR, PSI, Deformation, Gediz Graben, InSAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR vii
ÖZET viii
ABSTRACT x
İÇİNDEKİLER xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ xvii
SİMGELER DİZİNİ xviii
KISALTMALAR DİZİNİ xix
1. GİRİŞ 1
1.1 Amaç Kapsam 2
1.2 Önceki Çalışmalar 3
1.2.1 Sar ile İlgili Çalışmalar 3
1.2.2 Gediz Grabeni ile ilgili tektonik çalışmalar 10
1.2.3 Mevsimsel etki ve Yeraltı Su Seviyesinin Deformasyona etkisi ile ilgili çalışmalar 11
2.UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ 14
2.1.Yapay Açıklıklı Radar (SAR) 15
2.1.1 SAR'ın Çalışma Prensibi 16
2.2 İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) 17
2.2.1 InSAR Görüntülerinin İşleme Adımları 19
2.2.2 InSAR Veri İşleme Sorunları 19
2.2.2.1 SAR İşlemcisinden Kaynaklanan Faz Anomalileri 19
2.2.2.2 InSAR Tutarlılık İyileştirmesi 20
2.2.2.3 InSAR Taban Çizgisi İyileştirmesi 23
2.2.2.4 Troposferik Etkiler 24
2.2.2.5 İyonosferik Etkiler 25
2.2.3 SAR Görüntülerinin Alınması 26
2.2.3.1 SAR Görüntülerini Tekrar Geçiş ile Elde Etme (Repeat-pass) 27
2.2.3.2 Yol boyunca ile SAR Görüntülerinin Edinilmesi (Across-track) 28
2.2.3.3 Yol Boyu SAR Görüntülerinin Edinilmesi (Along-track) 29
2.2.4 Diferansiyel InSAR Tekniği - DInSAR 30

2.2.5 PSInSAR 31
3.UYGULAMA 33
3.1 Gediz Grabeni ve Jeolojisi 33
3.3 Uygulama için Kullanılan Veri Setleri 39
3.4 Gediz Grabeni Doğu kesimi için PSI Sonuçları 48
SONUÇ VE ÖNERİLER 80
KAYNAKLAR 83
EKLER 89
EK-1 SENETİNAL S1A/B GÖRÜNTÜLERİNİN ÜÇER AYLIK ZAMAN DİLİMLERİNİN 8 PERİYODA AİT ZAMAN ARALIKLARI 89
EK-2 1. Periyoda Ait Tablo 90
EK-3 2. Periyoda Ait Tablo 91
EK-4 3. Periyoda Ait Tablo 92
EK-5 4. Periyoda Ait Tablo 93
EK-6 5. Periyoda Ait Tablo 94
EK-7 6. Periyoda Ait Tablo 95
EK-8 7. Periyoda Ait Tablo 96
EK-9 8. Periyoda Ait Tablo 97
Özgeçmiş 98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Radar anteninin suni olarak boyunun uzatılması (URL-2) 15
Şekil 2.2 Sentetik açıklık tekniğiyle ile sağlanan çözünürlükte iyileşme. Sentetik açıklık işlemi, yukarıdaki tam çözünürlüklü görüntüye sağlar (Massonnet ve Feigl, 1998). 16
Şekil 2.3 Bir çift SAR görüntüsü. (a) ana görüntü; (b) ikincil görüntü (Zou, 2009) 18
Şekil 2.4 InSAR yaklaşımı (https://www.ga.gov.au, ERKOÇ 2022) 18
Şekil 2.5 InSAR görüntülerinin işleme adımları (Aydöner ve Maktav, 2006) 19
Şekil 2.6 (a)' daki saçaklar (dalgalanmalar) muhtemelen sistematik faz nedeniyle oluşan SAR işlemcisiyle ilişkili bir hata (b)'de büyük ölçüde daha az sistematik faz hatası bulunmaktadır. (Lu, 2014) 20
Şekil 2.7 a L - band ALOS ve b C - band Envisat InSAR, Haziran 2007 Hawaii'deki Kilauea yanardağındaki doğu yarık bölgesi boyunca patlama ile ilişkili zemin yüzeyi deformasyonunu gösteren görüntüler 22
Şekil 2.8 Okmok dağı (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014) 24
Şekil 2.9 SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou, 2009) 27
Şekil 2.10 Tekrar geçişli SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou, 2009) 28
Şekil 2.11 Across-track SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou vd., 2009) 29
Şekil 2.12 Along-track SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou vd., 2009) . 30
Şekil 2.13 DINSAR deformasyon ölçümünün şeması (Crosetto vd., 2016) 31
Şekil 3.1 Geç Pleistosen-Holosen sırasında Gediz Nehri havzasındaki en genç çökel dolgusu fasiyeslerinin dağılımını gösteren paleocoğrafya haritaları 35
Şekil 3.2 Sarıgöl yöresinde gelişmiş graben fayları ve bu fayların oluşturduğu I, II ve III-numaralı fay basamakları (Koca vd., 2000; Koca vd., 2011) 36
Şekil 3.3 koeri.boun.edu.tr/ sitesinden alınan Gediz Grabeni Doğu kesimini gösteren fay hatları 37
Şekil 3.4 a) Gediz Grabeni'nin aktif fay haritası (Emre vd., 2018; Doğan vd., 2022) 38
Şekil 3.5 116 tane 131 iz numaralı yükselen yörünge görüntülerin StaMPS adımından sonra üretilen PS noktaların Google-Earth'teki kml görüntüsü 43
Şekil 3.6 114 tane 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntülerin StaMPS adımından sonra üretilen PS noktaların Google-Earth'teki kml çıktısı 48
Şekil 3.7 Sentinel-1 görüntülerinin PSI uygulaması için kullanılan iş diyaframı (Poyraz vd., 2020) 49
Şekil 3.8 Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen yörünge LOS yönünde hız değerleri 50
Şekil 3.9 Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen yörünge LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri 50
Şekil 3.10 Sentinel S1A/B 138 iz numaralı alçalan yörünge LOS yönünde hız değerleri 51
Şekil 3.11 Sentinel S1A/B 138 iz numaralı alçalan yörünge LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri 51
Şekil 3.12 Sentinel 1A/B 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara yörünge alçalan decompase işlemi sonucunda düşey bileşenine ait hız değerleri 53
Şekil 3.13 Sentinel 1A/B 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara alçalan yörünge decompase işlemi sonucunda düşey bileşenine ait hız değerlerine ait standart sapma değerleri 53

Şekil 3.14 Decompase sonucu kırpılan alanın düşey yönlü hızı ve 1,2 ve 3 numaralı noktaların Google-Earth gösterimi 54
Şekil 3.15 Sentinel 1A/B yükselen 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara alçalan yörünge decompase işlemi sonucunda yatay bileşenine ait hız değerleri 54
Şekil 3.16 Sentinel 1A/B 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara alçalan yörüngenin decompase işlemi sonucunda yatay bileşenine ait hız değerlerine ait standart sapma değerleri 55
Şekil 3.17 Decompase sonucu kırpılan alanın yatay yönlü hızı ve 1,2 ve 3 numaralı noktaların Google-Earth gösterimi 55
Şekil 3.18 Sentinel S1A/B 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 numaralı noktaların yaklaşık 2 yıllık zaman serisi grafiği 56
Şekil 3.19 Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 nolu noktaların yaklaşık 2 yıllık zaman serisi grafiği 57
Şekil 3.20 Sentinel S1A/B yaklaşık 2 yıllık(04.01.2020-01.12.2021) 131 iz numaralı yükselen yörünge ve 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 numaralı noktaların decompase yapıldıktan sonraki düşey hızlarının zaman grafiği 58
Şekil 3.21 Sentinel S1A/B yaklaşık 2 yıllık(04.01.2020-01.12.2021) 131 iz numaralı yükselen yörünge ve 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 numaralı noktaların decompase yapıldıktan sonraki yatay hızlarının zaman grafiği 59
Şekil 3.22 Sekiz periyoda ilişkin düşey ve yatay bileşenlere ait hız değerleri 62
Şekil 3.23 a) Açılmanın olduğu bölge b) Açılmanın olduğu alanın taranmış hali..... 64
Şekil 3.24 Yeşilyurt bölgesinde tespit edilen çukurların Google Earth'de düştüğü konumu ve fotoğrafı 65
Şekil 3.25 Yeşilyurt bölgesinde tespit edilen çukurlardan bazılarının Google Earth'de düştüğü konumu ve fotoğrafı 65
Şekil 3.26 Ilgın Su kuyusu konumu Google-Earth gösterimi ve çalışma alanı (Hastaoğlu, 2023)..... 66
Şekil 3.27 İkiye ayrılan çalışma sahasının sol parçasına ait düşey ve yatay bileşenlerine ait hız değerleri..... 67
Şekil 3.28 İkiye ayılan çalışma sahasının sağ parçasına ait düşey ve yatay hız değerleri 68
Şekil 3.29 Tüm çalışma sahasının çökme yönü hareketiyle Ilgın su deposu verileriyle karşılaştırılması 69
Şekil 3.30 Tüm çalışma sahasının kabarma yönü hareketiyle Ilgın su deposu verileriyle karşılaştırılması 70
Şekil 3.31 Tüm çalışma sahasının yatayda Doğu yönlü hareketi ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması 71
Şekil 3.32 Tüm çalışma sahasının yatayda Batı yönlü hareketi ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması 72
Şekil 3.33 Çalışma alanının sağ tarafının çökme hareketinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılması 73
Şekil 3.34 Çalışma alanın sağ tarafının kabarma hareketinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılması 74
Şekil 3.35 Sağ tarafın Doğu yönlü hareket ve hızıyla yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması 74
Şekil 3.36 Sağ tarafın Batı yönlü hareket ve hızıyla yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması .. 75
Şekil 3.37 Çalışma alanının sol tarafının çökme hareketinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılması ……...……76

Şekil 3.38 Çalışma alanının sol tarafının kabarma yönlü hareket yüzdesi ve ortalama hızının yeraltı su seviyesiyle karşılaştırılması 77
Şekil 3.39 Sol tarafın Doğu yönlü hareket ve hızıyla yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması . 77
Şekil 3.40 Sol tarafın Batı yönlü hareket yüzdesi ile batı yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması 78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 PSInSAR'ın belli avantajları ve sınırlamaları (Oštir ve Komac, 2007) 32
Çizelge 3.1 PSI uygulaması için kullanılan Sentinel-1A ve Sentinel-1B 131 iz numaralı yükselen yörünge görüntülerine ait bilgiler (*:master görüntü)..... 40
Çizelge 3.2 PSI uygulaması için kullanılan Sentinel-1A ve Sentinel-1B 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntülerine ait bilgiler (*:master görüntü) 44
Çizelge 3.3 Üçer aylık verilerin periyot sıralamas..... 61
Çizelge 3.4 Ilgın su kuyusu verileri 69
Çizelge 3.5 Düşey ve yatay yönlü hareketin yeraltı su seviyesiyle karşılaştırması..... 79

SİMGELER DİZİNİ

Rp	Radar ile yerdeki nokta arasındaki mesafe
λ	Radar dalga boyu
φscat :	Saçılma fazı katkısı
$\varphi topo$	Topografya ile ilgili faz bileşeni
φdef	Deformasyon ile ilgili faz bileşeni
φatm	Atmosfer ile ilgili faz bileşeni
φyor	Yörünge ile ilgili faz bileşenini
δ_{ASC}	Geliş açıları
V_{UP}	Yükseklik bileşeni için hız
V_{EW}	Doğu bileşeni için hız

KISALTMALAR DİZİNİ

ALOS : Advanced Land Observing Satellite
DEM : Digital Elevation Model
DINSAR : Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar
ENVISAT : European Environment Satellite
ERS : European Remote-sensing Satellite
ESA : European Space Agency
GNSS : Global Navigation Satellite System
GPS : Global Positioning System
INSAR : Interferometric Synthetic Aperture Radar
LOS : Line Of Sight
MATLAB : Matrix Laboratory
PS : Permanent Scatterer
PSI : Permanent Scatterer Interferometric
PSINSAR : Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
RADAR : Radio Detection and Ranging
RADARSAT : Radio Detection and Ranging Satellite
RAR : Real Aperture Radar
SAR : Synthetic Aperture Radar
SBAS : Small Baseline Subset
SLC : Single Look Complex
SNAP : Sentinel Application Platform
SNAPHU : Statistical-Cost, Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping
StaMPS : Stanford Method for Persistent Scatterers
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VV : Vertical-Vertical

1. GİRİŞ

Tektonik levha hareketleri, kara parçalarının kayması, yer çekirdeğinin yer değiştirmesi, gelgit olayları, hidrosfer ve insan eli ile oluşturulan yapay olaylar nedeniyle yerkabuğunun bazı bölgelerinde oluşan şekil değişimleri ile barajlar, asma köprüler vb. gibi mühendislik yapılarında ya da bunların yakın çevrelerinde oluşan şekil değişimlerine deformasyon denir. Deformasyonların belirlenmesinde jeodezinin üstlendiği görev, hareketin yönünü ve hızını üç boyutta belirleyip izlemek ve deformasyon vektörünü sistematik olan ve olmayan bileşkelerine ayırmak, elde edilen sonuçlan kendi disiplininde yorumlamaktır. Bu bilgiler daha sonra genel bir şemada yorumlanmak üzere diğer disiplinlere veri olarak sunulur (Atasoy ve Öztürk, 1984). 1970'li yılların başlarında deformasyon analizinin bu klasik tanımı genişletilerek, yalnız geometrik şekil değişimleri değil, deformasyon sebeplerinin de göz önünde tutulması veya belirlenmesi ve sebeplerinin dönüşüm fonksiyonlarının belirlenmesi amaç içinde yer almıştır. Bu görüş, deformasyon analizinin uygulama alanım genişletmiş ve gelişen teknoloji ile modern ölçme aletleri ve yeni analiz tekniklerinin kullanımını gerekli kılmış ve deformasyon analizi yeni boyutlara ulaşmıştır. Her gün gelişen ve ilerleyen teknoloji, deformasyon tespiti ve izlenmesi için SAR teknolojisini doğurmuştur (Ayan 1983; Bak, 2014).

SAR, (Synthetic Aperture Radar (Yapay Açıklıklı Radar)) bir dizi sinyal darbesi yayarak ve Dünya yüzeyinden geri dönen yankıyı kaydederek çalışır. Geniş alanlardaki yüzey deformasyonları milimetre düzeyinde hassasiyetle algılamak ve ölçmek için önemli gelişmeler sunmaktadır. Her geçen gün kullanımı artan SAR yönteminin çalışma konuları da çeşitlenmektedir. InSAR, aynı bölgenin farklı zamanlarda çekilmiş iki veya daha fazla radargörüntüsü arasındaki faz farkını kullanarak çalışır (Crosetto vd., 2016). Teknik, bir uydudan gönderilen radar dalgalarının Dünya yüzeyinden yansıyarak uyduya geri dönmesi prensibine dayanmaktadır. Dönen sinyal, uydu ile yüzey arasındaki mesafeye bağlı olan bir faza sahiptir. Yüzey, iki radar alımı arasında hareket ettiyse, iki görüntü arasındaki faz farkı değişecektir. Bu faz farkını ölçerek meydana gelen deformasyon miktarını belirleyebiliriz. InSAR tekniği, bir interferogram oluşturmak için aynı alanın farklı zamanlarda alınmış iki radar görüntüsünü gerektirir.

Bir interferogram, iki radar görüntüsü arasındaki faz farkını gösteren iki boyutlu bir görüntüdür. İkinci görüntünün fazını birinci görüntünün fazından çıkararak oluşturulur. İnterferogram adı verilen ortaya çıkan görüntü, Dünya yüzeyinin deformasyonuna karşılık gelen bir saçak modeli

içerir. Bir interferogramdaki saçaklar, radar uydusu ile yer arasındaki mesafedeki değişiklikleri temsil eder. Her saçak, radar sinyalinin bir dalga boyundaki değişikliği temsil eder. Radar sinyalinin dalga boyu bilinir ve meydana gelen deformasyon miktarını belirlemek için saçakların sayısı sayılabilir.

InSAR, zemin çökmesi, arazi yükselmesi ve şev dengesizliği dahil olmak üzere çok çeşitli yüzey deformasyonlarını tespit etmek için kullanılabilir. Depremler veya volkanik patlamalar gibi doğal afetlere eğilimli şehirler veya bölgeler gibi geniş alanların deformasyonunu izlemek için özellikle yararlıdır. InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) 'ın ana avantajlarından biri, geniş bir alanda yüzey deformasyonunun ayrıntılı bir haritasını sunabilmesidir. Bu, hasar veya çökme riski taşıyabilecek yüksek deformasyona sahip alanların belirlenmesine yardımcı olabilir. InSAR, deformasyonun zaman içindeki ilerlemesini izlemek için de kullanılabilir, bu da gelecekteki deformasyonu tahmin etmeye ve arazi kullanımı ve geliştirme hakkında kararları bilgilendirmeye yardımcı olabilir.

Bu tez çalışmasında Gediz Grabeni'nin doğu kesimi ve Alaşehir ilçesine bağlı Yeşilyurt beldesi ve çevresi PSInSAR (Persistent Scatterer InSAR) yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda Yeşilyurt bölgesinde mevsimsel olarak tekrar eden çökme ve yükselmeler tespit edilip Yeşilyurt bölgesi üzerinde incelemelerde bulunulmuş ve mevsimsel etki ortaya konmuştur.

1.1 Amaç Kapsam

Türkiye'nin batısındaki Gediz Grabeni'nin doğu kesimi, sismik aktivite oluşturma potansiyeline sahip bir fay hattına ev sahipliği yapmaktadır. Bu tez kapsamında bölgeyi incelemek için 2020 Ocak ayı ile 2021 Aralık ayları arasında ücretsiz sunulan Sentinel-1A/B görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-1A ve Sentinel-1B yükselen ve alçalan yörüngeye ait uydular aynı alanı 12 günde bir ziyaret etmektedir.

Sentinel-1A/B yörüngeye ait alçalan ve yükselen görüntüler birlikte kullanılarak zaman aralığı 6 güne inmiştir. Sentinel-1A/B yükselen 116 görüntü alçalanda ise 114 tane Sentinel-1A/B görüntü kullanıldı. Görüntüleri işleme ve değerlendirme adımında SNAP ve StaMPS yazılımı tercih edildi. 2 yıllık Sentinel-1A/B değerlendirme sonucunda Alaşehir ilçesine bağlı Yeşilyurt köyünde düşey yönde çökmeler tespit edilip üzerinde çalışılan alan Yeşilyurt bölgesi olarak seçilerek kırpılma işlemi yapıldıktan sonra düşey ve yatay bileşenlerine ait hızları belirlenip incelendiğinde 2020 ve 2021 yılları kendi içinde mevsimsel olarak tekrar edildiği görüldüğünden mevsimsel olarak bir etkinin olup olmadığını incelemek kaydıyla 2020 ve 2021

yılları üçer aylık zaman aralıklarıyla sekiz periyottan oluşan Sentinel-S1A/B görüntüleri kullanılarak belli noktalar seçilip bu noktaların yatay, düşey ve hız kestirimleri yapılarak mevsimsel etki karşılaştırılarak irdelenmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Literatür çalışması üç başlık altında toplanmıştır.

1.2.1 Sar ile İlgili Çalışmalar

Bayık 2015 yılında faaliyete geçen Ordu-Giresun Havalimanı'nda meydana gelen deformasyonu PSI yöntemi ile incelemiştir. Ağustos 2017'den Şubat 2019'a kadar 84 adet alçalan yörüngeye ait Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntü veri kümesi kullanmıştır. Ordu-Giresun Havalimanı'nda meydana gelen yüzey değişimi -14 ila 9 mm arasında belirlemiştir (Bayık, 2015).

Xiong vd., 2021, Çin'in Jiangxi eyaletinin başkenti Nanchang kentinde kentleşmenin etkisiyle Nanchang'daki arazi çökmesi, şehir yollarında bariz yüzey çatlaklarını INSAR yöntemi ile incelemişlerdir. Çok zamanlı C-bandı Sentinel-1A görüntüleri, Küçük Temel Alt Küme İnterferometrik Sentetik Açıklık Radarı (SBAS InSAR) tekniğini kullanmıştır. Ocak 2018 ile Aralık 2020 arasında VV polarizasyonu ve IW modu ile 36 SAR görüntüsünü işlemiştir. İzleme süresi boyunca çalışma alanındaki arazi deformasyon hızının -30 mm/yıl ile 10 mm/yıl arasında olduğunu göstermiştir. Ayrıca şehir merkezi çevresindeki diğer ilçelerde küçük çaplı arazi çökmeleri meydana geldiğini belirtmiştir (Xiong vd., 2021)

Yaşar vd. Ankara MESA (Batıkent) metro zemin deformasyon izlemesini SAR görüntüleri kullanarak izlemişlerdir. Ankara raylı sistemler ağının gelişim süreci göz önüne alınarak 2015-2016 ve 2016-2022 olarak iki farklı periyodda interferometri çalışması yapmışlardır. Görüntü işleme adımlarında SNAP ve StaMPS yazılımlarını kullanmışlardır (Yaşar vd., 2022). Yapılan incelemeler sonucunda alanda sürekli çökme meydana geldiği ve Mesa Bölgesi Zemin iyileştirmesinin gerekli olduğu bildirmiştir (Yaşar vd., 2022)

Bitek vd. 30.12.2020 tarihinde Norveç'in Gjerdrum kentinin Ask kasabasında meydana gelen heyelan sonucunda bölgede yüzey çökmesi biçiminde oluşan jeomorfolojik etkiyi modellemek için Sentinel-1 görüntülerini kullanmışlardır. 18.12.2020, 24.12.2020 tarihli uydu görüntüleri ve sonrasında 30.12.2020 tarihli uydu görüntüleri kullanmışlardır. Yöntem olarak DınSAR ve filtreleme yöntemleri seçmişlerdir. DInSAR verileri kullanılarak çökme analiz sonuçları elde etmişlerdir. Gjerdrum (Ask) kasabası deformasyonun incelenmesi için yapılan işlemlerde, 18.12.2020-30.12.2020 tarihleri arasında yer değiştirme miktarları miktarı -92mm ile +61mm belirlemişlerdir (Bitek vd., 2020).

Abdikan vd., Zonguldak Kozlu maden sahalarında meydana gelen yer yüzeyi hareketlerinin InSAR kullanılarak StaMPS yazılımıyla incelemişlerdir. 1993 ve 2001 yılları arasında alınmış Avrupa Uzaya Ajansı'na (ESA) ait 21 ERS 1/2 uydu görüntülerini seçmişlerdir. Kozlu bölgesi şehir alanında ortalama yer değiştirme hızı 7-8 mm/yıl olarak belirlenmiştir. 7.5 yıl sonucunda ortaya çıkan zemin hareketi değeri ise 50-65 mm olarak belirlenmiştir (Abdikan vd.,2013).

Tatar vd. 2 Mart 2017 tarihinde Adıyaman ili Samsat ilçesine 2.5 km uzaklıkta, 5.5 Mw büyüklüğündeki depremin bölgede yüzey deformasyonları oluşturup oluşturmadığı, InSAR yöntemiyle incelemiştir. Deprem öncesi ve deprem sonrasına ait Sentinel-1A uydusunun iki yapay açıklık radarı (SAR) görüntüsü analiz ederek oluşturulan interferogramdan deformasyon belirlemişlerdir. İnterferogramın değerlendirilmesi sonucunda bölgede uydu bakış yönünde yaklaşık 2.5 cm civarında bir yüzey deformasyonunun meydana geldiği ortaya koymuşlardır (Tatar vd., 2019).

Jiang vd. Xinjiang'in Yutian ilçesinde 26 Haziran 2020'de 6.4 ·MW büyüklüğünde meydana gelen depremin sonucunda oluşan deformasyonu Sentinel-1 görüntülerini kullanarak incelemişlerdir. Maksimum yer değiştirmelerin, yükselen ve alçalan hatlar boyunca sırasıyla 20.2 cm ve 22.6 cm'ye ulaştığını ve fayın küçük sol yanal doğrultu atımlı bileşeni ile normal fayların yırtılmış özelliklerine eriştiğini belirtmişlerdir (Jiang vd., 2021)

Castañeda vd, Diferansiyel İnterferedometrik Sentetik Açıklıklı Radar (DInSAR) tekniğini tuzlu evaporitlerde kazılan Ebro Nehri vadisinin (İspanya) bir bölümünde zemin deformasyonunu tespit etmek ve ölçmek için uygulamıştır. DINSAR tekniğinin zemin yer değiştirmesini saptama yeteneği, DINSAR sonuçları mevcut jeomorfolojik bilgilerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. 05/07/1995- 21/12/2000 tarihleri arasında 27 ERS uydu

görüntüsünden elde edilen deformasyon haritası, bilinen aktif obruklar ve heyelanlarla çakışan bölgelerde santimetre altı yer değiştirme ölçümleri sağladığını belirtmektedir. Ölçülen deformasyon hızları düdenler için 1.68 cm/yıl, heyelanlar için 0.80 cm/yıl ve maden çökmesinden etkilenen alan için 1.45 cm/yıl'a ulaşmaktadır. DINSAR tekniği, bilinen aktif obrukların ve heyelanların küçük bir kısmında (%5-10) deformasyon ölçümleri sağlamıştır. Bu sınırlamanın, temel olarak tarım alanlarındaki tutarlılığın olmamasından, deformasyon haritasının mekansal çözünürlüğünden (piksel boyutu 90 m) ve ERS uydu görüş hattı ile heyelanların çoğunun meydana geldiği doğrusal yamaç arasındaki paralellikten kaynaklandığını belirtmektedir. Ekleme yaparak interferometrik teknik hakkında deformasyon fenomeninin miktarının belirlenmesi, başka türlü yalnızca jeodezik yöntemlerle tanınabilen madencilik çökmesinin tanımlanması ve katastrofik düdenlerin ön göstergelerine karşılık gelebilecek sürünme deformasyonunun tespiti dahil olmak üzere geleneksel jeomorfolojik çalışmaları tamamlayan değerli veriler sağladığı (Castañeda vd., 2009) hakkında görüş belirtmiştir.

Cigna vd. Meksika'nın orta kesiminde yer alan ve Aguascalientes eyaletinin merkezi olan Aguascalientes şehrinde 2014-2016 yılları arasında Sentinel-1 verilerini kullanarak PSI tekniğiyle SBAS tekniğini karşılaştırmıştır. PSI işleme, Stanford Method for Persistent Scatterers (StaMPS) yazılımı kullanırken, yörünge uygulama adımları, alan altı bölme, çekirdek kaydı ve artan ve azalan yığınların interferogram oluşumu Sentinel Uygulama Platformunda (SNAP) yazılımını kullanmıştır (Cigna vd., 2021) Elde edilen sonuçlara göre SBAS analizi ile eyalet içinde gözlemlenen minimum ve maksimum V_{LOS}, yükselen veri seti için -99 ve +19 mm/yıl ve alçalan veri seti için -93 ve +28 mm/yıl idi. İki veri setinin birleşiminden ve düşey ve doğu-batı yer değiştirme oranlarının tahmininden sonra gözlemlenen minimum ve maksimum oranlar; V_U ve -30 ve +27 için V_E için -139 ve +30 mm/yıl olmuştur. PSI yöntemiyle eyalet içinde gözlemlenen V_{LOS}, yükselen veri seti için -113 ile +40 mm/yıl arasında ve alçalan veri seti için -103 ile +48 mm/yıl arasında değişmektedir. Birleşik veri seti, V_u için -141 ve +46 mm/yıl ve V_E için -64 ve +68 mm/yıl minimum ve maksimum oranlarını hesaplamıştır. ($V_{U:}$ düşey ve $V_{E:}$ yatay yönleri boyunca yer değiştirme hızı.) (Cigma vd., 2021)

Qu vd. Çin'de yer alan Xi'an şehrindeki yaşanan çökmeleri Envisat ve ALOS tarafından alınan ilk 62 sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüsü ve TerrSAR-X, 2005–2012 yılları arasında, zaman serisi interferometrik sentetik açıklıklı radar tekniğini kullanarak arazi çökmesi ve zemin çatlaklarının mekansal ve zamansal varyasyonlarını ortaya çıkarmak için üç bağımsız

interferometrik yığın oluşturmuştur. Deformasyon büyükse veya zemin çatlakları aktifse, arazi deformasyonunun yatay bileşeni göz ardı edilemez olduğunu çalışmasında belirtmiştir. Xi'an Yüksek Teknoloji Bölgesi, Xi'an Qujiang Yeni Bölgesi, Chanba Nehri Ekonomik Bölgesi ve Hujiamiao'da 2005–2012 döneminde ortalama çökme oranı yaklaşık 50 mm/yıl olan dört ana kara çökme bölgesini tespit etmiştir. En yüksek arazi çökmesi, batı Xi'an'daki Xi'an Yüksek Teknoloji Bölgesinde ve burada çökme oranları 2012'de 140 mm/yıl'a ulaşmıştır. Xi'an'da 2005 -2012 yılları arasında ortalama yıllık 50 mm bir çökme oranı ile dört ana arazi çökme bölgesi saptamıştır. InSAR zaman serisi sonuçları, Xi'an'daki arazi çökme oranlarının 2005 -2007 'den 2008 -2010' a kadar %200 arttığını ve mevcut zemin çatlaklarını genişlettiğini gösterdiğini not düşmüştür (Qu vd., 2014).

Castellazzi vd. Meksika'daki Toluca Vadisi'nin InSAR'dan türetilmiş bir zemin çatlatma haritası oluşturdu. 13 yıllık InSAR verisi ile yer değiştirme ölçümlerini yorumlayarak zemin çatlamasının uzun vadeli bir analizini sunmuştur. Envisat, Radarsat-2 ve Sentinel-1A uydularından alınan ve 2003'ten 2016'ya kadar olan dönemi kapsayan üç SAR veri kümesi üzerinde Küçük Temel Alt Küme (SBAS) ve Kalıcı Saçılma İnterferometrisi (PSI) teknikleri uygulamaktadır. 2003'ten 2016'ya kadar, yeraltı suyu seviyesinde yılda 1,6 m'ye varan düşüşler olurken, yılda 77 mm'ye varan arazi çökmesi ve büyük altyapı hasarları gözlemlendiğini belirtmiştir. (Castellazzi vd., 2017)

Perski vd. Polonya'nın Wieliczka bölgesindeki arazi deformasyonunu analiz etmek için ERS-1 ve ERS-2 sentetik açıklıklı radar (SAR) verilerini kullandılar. 18 Haziran 1992'den 17 Aralık 2000'ye kadar yaklaşık 7,5 yılı kapsayan SAR görüntülerini PSI ve DINSAR yöntemiyle değerlendirdiler. 451 numaralı çerçeveden 10 görüntü ve 179 numaralı çerçeveden 51 görüntü görüntü edinmişlerdir. PSI analizi için sadece 179 numaralı hattan veriler kullanılırken, D-InSAR işleme için her iki veri setini de kullandılar. PSI işleme için Kalıcı Saçılma analizi için TU Delft uygulaması (Leijen vd., 2005; Perski vd., 2009) tercih etmişler. D-InSAR işleme için, Delft Nesne Yönelimli İnterferometrik Yazılım (Doris) seçmişlerdir (Kampes vd, 2003; Perski vd., 2009). Doris, PSI işleme sırasında interferogram üretimi için de kullanmışlardır. Ana çöküntü çanağı, esas olarak Wieliczka'nın kentleşmiş bölgesinde kısmen görüldüğünü belirtirken, gürültülü interferometrik saçaklar, 30 mm/yıllık genel çökme hızının olduğunu yorumlamışlardır (Perski vd., 2009).

Fabio vd. Dam-I ((Brumadinho, Brezilya) atıklarının alanında, 25 Ocak 2019 tarihinde gerçekleşen Brumadinho Barajı çöküşü öncesi gerçekleşen deformasyonları SBAS ve PSI teknikleri kullanarak belirlemişlerdir. Dam-I, Brezilya'nın Minas Gerais Eyaleti, Brumadinho belediyesinde bulunan Paraopeba Kompleksindeki Córrego do Feijão madeninin bir parçasıdır. 25 Ocak 2019'da yerel saatle 12:28 civarında, Dam-I bir arıza yaşadı ve birkaç dakika içinde tutulan malzeme sıvılaştı ve bu da Córrego do Feijão deresi boyunca havzanın mansabına hızla ilerleyen feci bir çamur akışına neden olmuştur. 03 Mart 2018 - 22 Ocak 2019 tarihleri arasında azalan yörüngelerde alınan Interferometric Wide Swath (IW) modunda 26 Sentinel-1B görüntüsüne dayalı analizi gerçekleştirmek için kullanmışlardır. Her iki teknikle sağlanan sonuçlar, baraj yüzünün tepe, orta ve alt sektörlerinde çöküşüne kadar kalıcı deformasyon eğilimlerinin tespit edilmesinin yanı sıra atıklardaki yerleşimler ile çalışma alanını etkileyen deformasyon sürecinin sinoptik ve bilgilendirici bir görünümünü tespit etmişlerdir. Barajda arızalanmaya yakın bir zamanda kayda değer bir deformasyon belirlemişlerdir. Eğim yüzü boyunca tespit edilen maksimum birikmiş yer değiştirmeler -39 mm (SBAS) ve -48 mm (PSI) olarak belirlemişlerdir. Her iki teknik de, kırılmadan önceki aylarda şev yüzü ve artıkları üzerinde deformasyon sinyalleri ortaya çıkardığını belirtmişlerdir (F. Gama vd., 2020)

Pourkhosravani vd., İran'ın Maskun kentinde iklim değişikliği sebebiyle meydana gelen şiddetli heyelanları D-InSAR ve PSI teknikleri kullanılarak heyelanının izlenmesi ve farklı iklim koşullarıyla niceliksel ilişkisinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Bam'daki heyelan kütlesinin neden olduğu yer değiştirmeyi, İnterferometri Sentetik Açıklıklı Radar (DInSAR) ve Kalıcı Dağılımlı İnterferometri (PSI) teknikleri kullanarak değerlendirmekte ve izlemekte ve ayrıca iklim koşulları ile kütle yer değiştirmesi arasındaki ilişkileri belirlemektedirler. 2007-2019 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış verileri uydu görüntüleri ile birleştirilmiş ve ENVISAT uydusunun ASAR sensöründen on sekiz radar görüntüsünü seçerek sonra kütle yer değiştirme farklarının belirlemek için DINSAR yöntemini kullanmışlardır. Ayrıyeten, 5 Kasım 2014 - 24 Haziran 2019 tarihleri arasında Sentinel 1 uydu görüntüleri alınmış ve PSI yöntemi kullanılarak analiz etmişlerdir. Daha sonra Maskun heyelan kütlesinin yüzeyindeki en yüksek yer değiştirme seviyesi çıkardılar. ASAR görüntüleri, aylık 7,3 mm yer değiştirme oranını göstermektedir. En küçük yer değiştirme ise 3,1 mm/ay ile Mayıs-Eylül 2009 arasında gözükmektedir. PSI tarafından tespit edilen maksimum Görüş Hattı (LOS) hızlarının -64,5 mm/yıl (uydudan uzakta) ve 32,45 mm/yıl (uyduya doğru) olduğunu belirtmişlerdir. Yağış, zaman serisi analizine göre Maskun heyelanının deformasyonunu artıran ana tetikleyicilerden biri olarak yorumlamışlarıdır (Pourkhosravani vd., 2022).

Dai ve arkadaşaları Sentinel-1 uydusundan gelen yükselen ve alçalan verilere dayanarak, batı Sichuan'da (Çin) dağlık bir alan olan Mao İlçesinin tamamında SBAS-InSAR kullanılarak geniş alanda potansiyel heyelanların erken tespitini gerçekleştirmişlerdir. SBAS-InSAR algoritması kullanılarak Mao İlçesi genelinde 41 potansiyel heyelan tespit etmişlerdir. Maksimum yer değiştirme oranı yılda yaklaşık 100 mm'ye ulaştığını belirtiler. Bunlardan 21'i yükselen yörünge verileri ve alçalan yörünge verileri kullanılarak sırasıyla 21 ve 22 potansiyel heyelan tespit etmişlerdir. Tespit edilen eğim özelliklerinin istatistiksel analizi yoluyla, yükselen hat verileri kullanılarak tespit edilen potansiyel heyelanların çoğunun doğuya baktığı ve alçalan hat verileri tarafından tespit edilen heyelanların çoğunlukla batıya baktığını yorumlamışlardır (Dai vd., 2022).

Radman ve arkadaşları Urmiye Gölü (İran'ın kuzeybatısında yer alır) çevresindeki araziler üzerinde InSAR işleme ve derin öğrenme yöntemlerinden yararlanarak arazi çökmesinin gelecekteki davranışını modelleyerek tahmin gerçekleştirmişlerdir. Buna göre, Urmiye Gölü çevresindeki bölgelerde arazi çökmesini tahmin etmek için InSAR zaman serisi verileri ve makine öğrenme yöntemlerinin bir kombinasyonu kullanılmıştır. SBAS tekniği kullanılarak Kasım 2014'ten Haziran 2019'a kadar 56 ay boyunca düşey deformasyonların zaman serisini oluşturmak için Sentinel-1'in 165 iz numaralı yükselen ve alçalan görüntüsü edindiler. Göl üzerindeki köprü ve çeşitli tarım arazileri ve gölün kuzey tarafındaki kırsal alanlar dahil olmak üzere yüksek oranda çökme yaşayan birden fazla bölge tespit ettiler (maksimum oran -13,3 cm yıl -1). Bu alanlardaki çökme, mevsimsel değişikliklerden oldukça etkilendikerini belirtmişlerdir. Böylece, bu bölgelerin çökmesini etkileyen yağış, göl alanı ve yeraltı suyu gibi faktörler TRMM, MODIS, GRACE ve GLDAS veri setlerinden alınarak TS-InSAR sonuçlarının yanı sıra bu üç hidrolojik faktör, üç MLP, CNN ve LSTM modeline dayalı arazi deformasyonlarını tahmin etmek için kullandı. Genel olarak, üç ağın tümü deformasyonu tahmin etme yeteneğine sahip olduğunu belirtseler de (santimetreden küçük RMSE ile); ancak farklı yapıları nedeniyle farklı davrandılar. Bu üç modeli ağırlıklı topluluk tekniği kullanarak harmanlayarak, daha iyi tahmin elde etmek için tek modellerin güçlü yanlarından yararlanılarak tekrardan düzenlediler. Sonunda, topluluk modeli arazi deformasyonunu 8.2 mm ile tahmin gerçekleştirmişlerdir (Radman vd., 2021).

Hu ve arkadaşları Shenzhen'de yer alan Metro hattının genişletilmesi için yapılan ıslah çalışmalarını INSAR ve GPS verilerini kullanarak karşılaştırıyor. INSAR'da PSI ve SBAS

tekniklerini kullanıyor. Shenzhen, Çin'in Guangdong Eyaletinin güneyinde yer almaktadır. Çin'in özel ekonomik bölgelerinden biri olan Shenzhen, 1980'den beri çok sayıda kentsel inşaat gerçekleştirdi. Shenzhen, toplam kilometresi 285 km olan sekiz metro hattı operatörü işletiyor. 2022 yılına kadar Shenzhen Metrosu'nun 596 km'lik bir kilometre ile 16 işletme hattına ulaşacağı tahmin etmeketedirler. Bu araştırmada kullanılan SAR görüntü veri seti , Avrupa Uzay Ajansı tarafından işletilen Sentinel-1A uydusundan Interferometric Wide Swath (IW) modunda üretilen toplam 34 çerçeve SLC (Single Look Complex) SAR görüntüsüdür. Bu araştırmada, CORS ağında ise 26 periyod ile 18 istasyondan RINEX gözlem verileri toplamıştır. Örnekleme aralığı 30 saniye ve gözlem süresi 24 saattir. Bu araştırmada, veri işleme için GNSS statik ağının gözlem modunu kullanmışlardır. PSI inversiyonunun sonuç noktası yoğunluğu, SBAS sonuçlarından daha düşük olduğunu belirterek her iki teknikte yıllık yer değiştirme hızı 10 mm olduğunu tespit etmişlerdir. GNSS sonucunun daha yüksek zamansal çözünürlük avantajlarına sahip olmasına rağmen daha fazla sıçrama gösterdiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, iki farklı yöntemle oluşturulan InSAR sonucu, hem büyüklük hem de değişim eğilimi açısından tutarlılık gösterdiğini yazmışlardır. (Hu vd., 2019)

Song ve arkadaşları Bolivya'da Independencia köyünün yamaç eteğinde yer aldığı bir heyelanın gelişimini değerlendirmek için ALOS-1 PALSAR-1, ALOS-2 PALSAR-2 ve Sentinel-1'den 12 yıla yayılan üç farklı uydu radar görüntüsü izini birleştirmişlerdir. ALOS-1 PALSAR için SAR verileri, yükselen modda 28 Şubat 2007 ile 11 Mart 2011 arasındaki dönemde 15 görüntü alınmıştır. ALOS-2 PALSAR-2 için, yükselen modda 07 Ekim 2015 ile 29 Kasım 2017 arasında sekiz görüntü satın alma yapmışlardır. ALOS görüntülerinin düşük zamansal çözünürlüğü, L-bandı verileri bitki örtüsü alanlarında C-bandına göre daha tutarlı pikseller yakalasa da deforme olan sinyalin tespitini zorlaştırır. Heyelan hareketinin dinamik davranışını belirlemek için 16 Ekim 2014 - 08 Eylül 2019 (144 görüntü) arasındaki minimum altı günlük zaman aralığına sahip Sentinel-1 verileri edinmişlerdir. Heyelanın deformasyonunu ortaya çıkarmak için, söz konusu çoklu uydu radar gözlemlerini işlemek için sırasıyla Kalıcı Dağılım İnterferometrisi (PSI), Küçük Temel Alt Küme (SBAS) algoritması ve faz özdeğer ayrıştırmasına dayalı Dağıtılmış Saçılma İnterferometrisi (DSI) tekniklerini seçmişlerdir. Bu üç yöntemden örtüşen geçerli pikseller, benzer zamansal evrimi paylaşırken, SBAS ve DSI, mekansal dağılımda PSI'dan daha fazla ölçüm noktası izler. Ön sonuçlar, köy merkezinin mevsimsel salınımlarla birlikte son derece yavaş hareketler (<= 10 mm/yıl) gösterdiğini göstermektedir. Heyelan gövdesinin ortasındaki köyün kuzey kenarı 2018 yılına kadar sabit kalıyor. 2018 başından sonraki deformasyon zaman serileri, yaklaşık 5 mm/yıl'dan 15 mm/yıl'a

bir hızlanma gerçekleştiriyor. Bu tür bir hızlanma, yapay sulama faaliyetleri, yağış veya iç heyelan yeniden aktivasyonundan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Song vd ., 2020).

1.2.2 Gediz Grabeni ile ilgili tektonik çalışmalar

Gediz Grabeni'nin doğu kesimi için daha önce yapılan yapılan INSAR ve jeodezik yöntemler ile ilgili çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

Poyraz vd. Gediz Grabeninin doğu kesimindeki güncel tektonik Hareketlerin GPS Ve Ps-InSAR yöntemleri kullanılarak çalışma yapmıştır. Bu çalışmada 2013 ve 2014 yıllarında GPS gözlemlerini verileri değerlendirilerek bölgenin hız alanı için öncül bilgiler elde etmiştir. Düşey konumdaki çökmeleri daha hassas olarak belirlemek için TERRASAR-X uydu radar görüntüleri değerlendirmiş bölgenin düşey yöndeki deformasyon değerleri elde etmiştir. 2013 Mart ayından 2014 Ekim ayına kadar temin edilen uydu radar görüntülerinden elde edilmiş ve PSI tekniği kullanılmıştır. PS-InSAR sonuçlarından elde edilen değerlendirmelere göre Gediz Grabeninde tektonik deformasyonunun bölgede daha önce yapılan çalışmalar Jeolojik ve Jeofizik çalışmalarda ortaya konulan sonuçlar ile benzerlikler olduğunu ortaya koymuştur. Grabenin bulunduğu kısımda çökmelerin grabenin kuzeyinde ve güneyinde ise yükselmelerin olduğu anlaşılmaktadır. GPS ve PS-InSAR sonuçlarından Sarıgöl bölgesindeki düşey yöndeki hareketler çalışma bölgesindeki diğer yerlere göre daha fazla elde olduğu belirtilmiştir (Poyraz vd., 2015).

Poyraz vd. Gediz Grabenin doğu kesiminde bulunan Alaşehir-Sarıgöl arasında kalan bölgeyi 2001-2011 yılları arasına ait 472 ve 336 iz numaralı ENVISAT uydu görüntüleri STAMPS yazılımları kullanılarak değerlendirmiştir. Uydu bakış doğrultusundaki deformasyonlarının Ps-InSAR kullanılarak belirlemiştir. PS-InSAR sonuçlarından elde edilen değerlendirmelerden çıkan sonuçlara göre yapılan tespitte Gediz Grabeninde grabenin bulunduğu kısımda çökmelerin, grabenin kuzeyinde ve güneyinde ise yükselmelerin olduğu belirtilmektedir. ENVISAT görüntülerinin değerlendirilmesi sonucu on yıllık bir periyot için bölgenin düşey yönde yaklaşık olarak -9 mm/yıl hız değerleri elde etmiştir (Poyraz vd., 2016).

Poyraz vd. Gediz Grabeni'nde Alaşehir-Sarıgöl arasındaki alanda tektonik hareketlerin belirlenmesi için GNSS tekniği kullanılmış. GNSS tekniğinin uygulanması için daha önce

bölgede farklı amaçlarla kurulmuş 11 adet kıyaslama sahası kullanılmış ve 2013, 2014 ve 2015 yıllarında ölçümler yapılmıştır. GNSS sahalarında elde edilen yıllık yatay hız değerleri 12 mm/yıl ile 27 mm/yıl arasında değiştiğini göstermiştir (Poyraz vd., 2019).

Poyraz vd. 2014 Mayıs ile 2015 Kasım arasında 18 adet e TERRSAR-X görüntüsüyle PSInSAR metoduyla çalışma yapmıştır. Çalışma sonunda PSInSAR sonuçlarından elde edilen değerlendirmelere göre, Gediz Grabeni graben bölgesinde çökmeler, grabenin kuzeyinde ve güneyinde yükselmeler vardır. Çökme değerleri grabende yaklaşık -50 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, tektonik hareketine ek olarak çalışma alanındaki tektonik köken, yerel toprak özellikleri ve/veya mevsimsel yeraltı suyu değişiklikleri de deformasyonu arttırabileceğinden söz edilmiştir (Poyraz vd., 2020).

Hastaoğlu vd. Ege Çöküntü Sistemi içerisinde yer alan Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin doğu kesimlerine ait aktif tektonik hareketlerin PSInSAR yöntemiyle izlenmiştir. Ocak 2020-Haziran 2021 yılları arasında 37 adet yükselen yönde Sentinel 1A uydu radar verisi kullanılmış ve bu veriler SNAP ve STAMPS yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme neticesinde Büyük Menderes ve Gediz grabenleri içerisinde yer alan PS noktalarına ait Uydu bakış doğrultusunda yıllık hız değerleri ve standart sapma değerleri elde edilmiştir. PS noktalarındaki anlamlı hız değerleri incelendiğinde özellikle Gediz Grabeni doğu kesiminde yıllık -10 cm' ye varan LOS yönünde hareketler belirlenmiştir. Gediz Grabeni'nin aksine Büyük Menderes grabeninde 0-2 cm küçük hız değerlerini belirlemiştir (Hastaoğlu vd., 2021).

Doğan vd. Türkiye'nin Sarıgöl ilçesindeki yerleşim alanını etkileyen sismik olarak aktif bir normal fayı analiz etmişlerdir. Temmuz 2017 ile 2020 arasında bu alanda hassas bir nivelman yöntemi uygulamışlar ve 1969 Mw 6.5 Alaşehir depreminden sonra başlayan sismik deformasyonun, günümüzde 70–80 mm/yıl aşağı eğim hızıyla hızla devam ettiğini belirtmişlerdir (Doğan vd., 2022).

1.2.3 Mevsimsel etki ve Yeraltı Su Seviyesinin Deformasyona etkisi ile ilgili çalışmalar

Kaygusuz, 2021'de Sarıgöl fay hattı boyunca, 1969 Alaşehir depreminin neden olduğu yüzey kırıkları hassas nivelman yöntemi ile izlemiş ve fay hattına yeraltı sularının etkisini incelemiştir. Bölgedeki hassas nivelman yöntemi için oluşturulan nivelman ağı, 2 nivelman çizgisi ve yüzey deformasyonlarını dikey olarak kesmek için 14 referans noktası içeren

nivelman ağı 2017 yılında kurmuşlardır. Bölgede toplam 11 adet hassas tesviye ölçümü yapmışlardır. Bölgede tarımsal sulamanın yoğun olması nedeniyle dört mevsim hassas tesviye ölçümleri yapılmıştır. Temmuz 2017'deki ilk hassas nivelman ölçümü ile Ağustos 2020'deki son ölçüm arasında 240 mm dikey deformasyon gözlemlenmiştir. Elde edilen verilerde su seviyelerinde ilkbahar ve yaz aylarında düşüşler, sonbahar ve kış aylarında ise artışlar gözlemlenmiştir. Mevsim geçişlerinde (yaz ve kış) su seviyelerinde 10 m'lik bir değişim olduğunu tespit etmiştir (Kaygusuz, 2021).

Dehghani vd. İran'ın kuzeydoğusundaki Neyshabour'da ilerleyen arazi çökmesinin InSAR yöntemiyle izlemesi çalışmasında Neyshabour'da yeraltı suyu çekilmesi yüzünden oluşan çökmeyi InSAR zaman serisi analizini kullanarak bölgede oluşan değişimi göstermiştir. Deformasyon zaman serisini üretmek için 2004 ve 2005 yıllarını kapsayan 14 adet ENVISAT ASAR görüntüsü kullanmıştır. Maksimum deformasyon oranı yılda 19 cm' dir. Ancak deşarj ve şarj sezonlarındaki çökme oranları aynı değildir. Farklı mevsimlerdeki çökme oranını araştırmak için 2004–2005 kışı ve 2005 yazı için ortalama çökme haritaları üretilmiştir. Bu, yazın maksimum hızlanan 17 cm/yıl oturma oranını ve kışın 11 cm/yıl yavaşlayan bir deformasyon oranını göstermiştir (Dehghani vd., 2009).

Chang, CP vd. Güneybatı Tayvan'da SAR interferometrisi ile belirlenen, mevsimsel yer altı suyu dalgalanmasına karşılık gelen kara yüzeyi deformasyonu incelemiştir. İnceleme bölgesi yüksek su pompalama oranına sahip tektonik bir vadi olan Pingtung ovasıdır. Çalışmada kullanılan radar görüntüleri ERS1/2 uydularının alınmıştır. Sonuçlar, arazi çökmesinin özellikle kurak mevsimde meydana geldiğini ve hatta yağışlı mevsimde durduğunu göstermektedir. Yerel arazi çökmesi genellikle sedimanların susuzlaşmasından kaynaklanırken, bu nedenle InSAR gözlemleri bu bölgenin yeraltı suyu verileriyle karşılaştırılmıştır. Pingtung ovasının Yeraltı Suyu İzleme Ağı, tüm ova için yaklaşık bir kapsama alanı içeren Tayvan Merkezi Jeoloji Araştırması tarafından kurulmuştur. Bu verileri, zaman serileri boyunca bir yeraltı suyu seviyesi dalgalanma dizisi oluşturmak için düzenlemiş ve ardından bunu InSAR gözlemlerimizle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma, çökme oranının yeraltı suyu seviyesinin alçalma eğilimi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçlarına dayanarak, kurak mevsimde susuzlaştırmanın sedimanlardan kaldırma desteğini kaldırdığı ve sediman sıkışmasının etkisinin aynı anda yerel arazi çökmesine neden olduğu sonucuna varmışlardır. Yılda 3-6 cm arasında arazide çökme olduğu tespit etmişlerdir (Chang vd., 2004).

Bell çalışmasında, Las Vegas Valley, Nevada'da, uzun vadeli ve mevsimsel pompalamaya akifer sisteminin tepkisini analiz etmek için yoğun şekilde pompalanan yeraltı suyu havzalarında nasıl kullanılabileceğini gösteren bir çalışma yapmıştır. 1992–1996, 1996–2000 için vadinin bir dizi hız alanı haritası ve 2003–2005 zaman dilimleri, yapay bir besleme programıyla ilişkili yükselen su seviyelerine rağmen, vadinin çeşitli yerlerinde uzun vadeli, artık, elastik olmayan akifer sistemi sıkışmasının (çökme) devam ettiğini gösteriyor. Bununla birlikte, diğer alanlarda, uzun vadeli çökme durduruldu ve yerel olarak tersine çevrildiğini belirtiyor. Bell vd. zaman serisi hızları, çökmenin 1996'dan beri oranının düştüğünü ve bazı bölgelerde tamamen durduğunu ve yerel olarak tersine döndüğünü gösteriyor. Bununla birlikte, aynı dönemde su seviyeleri 25 m'den fazla yükselmiş olsa da, ana çökme çanaklarında 5 mm/yıl'a varan artık çökme devam ettiğini belirtmiştir. Kuzeybatı çökme çanağında, PS verileri, hızların yaklaşık 1 mm/a^2 oranında yavaşladığını, yılda 3 cm'den fazladan yılda 1 cm'nin altına düştüğünü göstermektedir (Bell vd., 2008).

Ng, sürekli saçıcı interferometri (PSI) teknikleri kullanarak Pekin'in uzun vadeli zemin deformasyonunu araştırmıştır. UNSW'de PSI için geliştirilen şirket içi bir yazılım olan GEOS-PSI (Geodezi ve Yer Gözlem Sistemleri-PSI), Haziran 2003 ile Mart 2009 arasında Pekin Şehri metropoliten alanından alınan 41 ENVISAT ASAR görüntüsüne ve 24 ALOS PALSAR görüntüsüne uygulanmıştır. İki uydudan alınan bu veri kümeleri kullanılarak oluşturulan sonuçlar çapraz doğrulamaya tabi tutmuştur. ENVISAT ASAR ve ALOS PALSAR sonuçları arasındaki korelasyonların tutarlı olduğuna değinmiştir. Pekin Şehri üzerindeki yatay ve düşey yer değiştirme oranı haritaları, 1 Şubat 2007 ile 1 Kasım 2008 arasındaki dönemde her iki uydu tarafından elde edilen verilerle oluşturulan sonuçlardan elde edilmiştir. Sonuçlar, Pekin Şehrindeki yer değiştirmelerin esas olarak düşey yönde olduğunu göstermektedir. Doğuya doğru yer değiştirme oranlarının çoğu -10 mm/yıl ila 10 mm/yıl aralığındayken, düşey oranlar -115 mm/yıl ila 6 mm/yıl aralığındaydı. Zemin deformasyonunun olası nedenini çalışmalara dayanan yeraltı suyu çekimi olduğunu belirtmiştir (Ng vd., 2012)

Amelung vd. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Las Vegas, Nevada Nisan 1992 ile Aralık 1997 arasında arazi çökmesi, uzay kaynaklı interferometrik sentetik açıklıklı radar kullanılarak ölçüm yaptılar. Yaklaşık 6 yıllık süre boyunca tespit edilen maksimum çökme miktarı 19 cm'dir. Nivelman verileriyle karşılaştırıldığında, son on yılda yeraltı suyu çekimindeki net azalmanın neden olduğu yükselen yeraltı suyu seviyelerinin bir sonucu olarak çökme oranlarının düştüğünü bildirmişlerdir (Amelung vd., 1999).

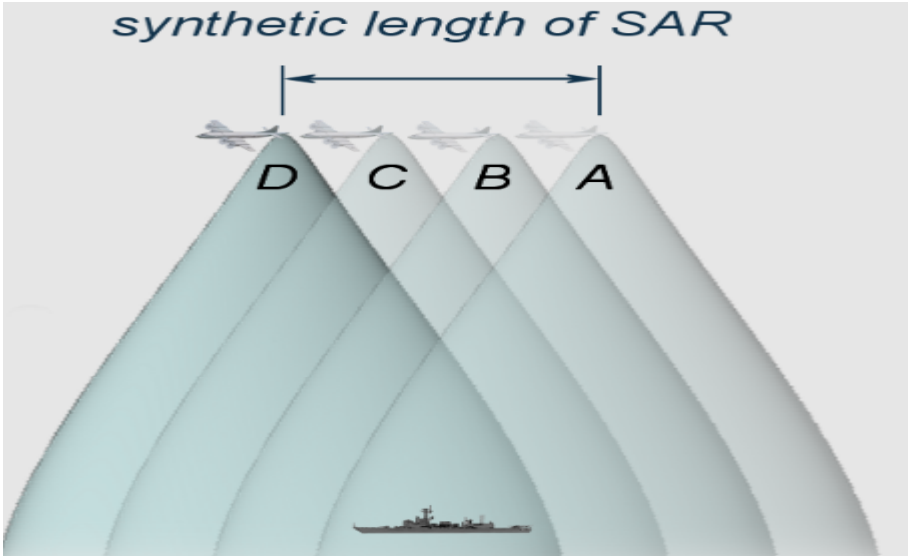
Gezgin, Konya Kapalı Havzası'nın güneybatısında yer alan Karaman ve çevresinde PS-InSAR tekniği kullanılarak yeraltı suyu seviyelerinin arazi çökmesi üzerindeki etkisi hakkında çalışma yapmıştır. Çalışmasında, 2016-2021 yılları arasında Sentinel-1/A SAR verileri, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) ve yeraltı su seviyeleri kullanılarak Karaman şehri ve çevresindeki yüzey deformasyonunun mekansal-zamansal gelişimi incelemiştir. Ortalama hız haritaları ve LOS yönündeki yer değiştirme zaman serileri elde etmiş, GNSS verileri ve yeraltı suyu seviyeleri ile karşılaştırmıştır. Her üç veri setinde de, çalışma bölgesinde önemli düzeyde bir çökme olduğunu belirtiyor. Karaman il merkezinde arazi çökmesi değerleri 25 mm/yıl olup, ilin kuzeyine doğru 50 mm/yıl değerlerine ulaşmaktadır. Çökme oranları ile yeraltı suyu seviyeleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirterek, bölgedeki çökmenin büyük olasılıkla aşırı yeraltı suyu çekilmesinden kaynaklandığı sonucuna vardığını bildirmektedir (Gezgin, 2022).

Hastaoğlu vd., Gediz Grabeni doğu kesiminde yer alan Sarıgöl, Tıraz ve Yeşilyurt bölgelerini Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanarak SNAP ve StaMPS yazılımları sonucunda üretilen verilerden FFT zaman serisi analizi uygulayarak periyodik etkileri tespit edebilen geliştirdiği yazımla değerlendirmiştir. FFT zaman serileri analizi kullanılarak PS noktalarında yüzey hareketlerinin periyodik bileşenleri belirlenmiş ve daha sonra periyodik etkilerden arındırılmış yıllık hız değerleri elde edilmiştir. Bölgedeki bir su kuyusunun yeraltı suyu seviye değişimleri modellenmiş ve mevsimsel InSAR yer değiştirme değerleri ile su seviyesi değişimleri arasında 0,93 korelasyon katsayısı değeri bulunmuştur. İki yıllık bir süre içinde (2020 ile 2022 arasında) graben tabanında seçilen noktalar için yaklaşık 10 ila 62 mm/yıl hızında düşey yer değiştirmeler (çökmeler) olduğunu tespit etmiştir (Hastaoğlu vd., 2023).

2.UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ

2.1.Yapay Açıklıklı Radar (SAR)

70 yılı aşkın süredir arazi yapısının uzaktan görüntülenmesi için kullanılan yapay açıklık radarları hareketli radar algılama sistemleridir. SAR, Yapay Açıklıklı Radar'ın ingilizce yazılışı olan Synthetic Aperture Radar kelimelerinin baş harflerinden alarak oluşan bir kısaltmadır. SAR aktif bir sönsör olduğundan kendi aydınlatma kaynağı sağlar (Chan, 2008) Bu nedenle gündüz ve ya gece olumsuz her türlü hava şartlarında çalışabilir. SAR'ın kullanma alanları oldukça geniş ve ilerleyen zamanlarda da kullanımı ve kullanım alanları artarak ilerlemektedir. Başlıca kullanım alanları: madencilik sektörü, arazi örtüsünde ve yapısında oluşan değişikliklerin ve deformasyonların izlenmesinde, deniz, buzul ve orman vs. alanların incelemesi, yeryüzü alanların sınıflandırılması gibi çoğaltılacak birçok örnek verilebilir. SAR görüntüleme sistemi yüksek çözünürlüğe ulaşmak için büyük anten yerine anten dizisi kullanma fikrine dayanır. (Curlander, 1991) Ancak dizi, anten elemanlarının fiziksel olarak yan yana konumlandırılarak oluşturulması yerine tek bir antenin taşınması ile oluşturulur. Her elemanın, olması gereken konumuna sırayla taşınan anten, bu konumda bir radar sinyali gönderip yansıyan sinyali alarak kaydeder (URL-1). Radar anteni istenilen açıklık boyunca hareket ettirilerek belirli zaman aralıklarında ölçümler alır ve belirli bir sayıya ulaştığında kaydedilen veriler işlenir. Böylece gerçek bir antenin açıklık açısının elverebildiğinin çok ötesinde yüksek açısal çözünürlüklü bir radar görüntüsü elde edilir ve gerçek fiziksel açıklığa eş büyük bir yapay açıklık oluşturulur. Böylece yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmiş olur.



Şekil 2.1 Radar anteninin suni olarak boyunun uzatılması (URL-2)

Şekil 2.2 Sentetik açıklık tekniğiyle ile sağlanan çözünürlükte iyileşme. Sentetik açıklık işlemi, yukarıdaki tam çözünürlüklü görüntüye sağlar (Massonnet ve Feigl, 1998).

2.1.1 SAR'ın Çalışma Prensibi

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri elektromanyetik yayar (EM) dalgaları ve bir hedeften geri dönen enerjiyi toplar. Anten bakış yönü birçok radar sistemi, spektrumun mikrodalga bölümünde uyumlu radyasyon yayar, yani EM radyasyonu, genlikleri olan sinüzoidal bir radyasyon modeline sahiptir. İyi tanımlanmış minimum ve maksimumlardan geçiyor. Her dalga boyu (iki ardışık maksimum veya minimum arasındaki mesafe) 360° veya 2π radyana karşılık gelir. SAR fazı ölçümleri için dalga boyu birim mesafeyi tanımlar. (Osmanoğlu, 2015)

SAR ölçümlerinin iki gözlenebilir değeri vardır: genlik ve faz. Genlik, geri saçılan EM dalgasının gücüdür ve hedefin şekli, yönü ve elektriksel özellikleri ile ilgilidir. Dalga havada yayılırken, kat edilen mesafenin her dalga boyu için dalganın fazı -π'den +π'ye değişir. SAR sistemleri, dönüş sinyalinin fazını çok hassas bir şekilde ölçebilir, ancak dalga boylarının toplam sayısını doğrudan ölçmek zordur.(Osmanoğlu, 2016)

Basitleştirilmiş bir senaryoda, tek nokta saçıcının faz dönüşü aşağıdaki şekilde verilir. (Hanssen, 2001)

$$\varphi = 2R\mathrm{p}2\pi/\lambda + \varphi\mathrm{scat} \qquad [2.1]$$

φ:faz,

Rp:radar ile yerdeki nokta arasındaki mesafedir

λ:radar dalga boyu ve

φscat :Scat saçılma fazı katkısını belirtir.

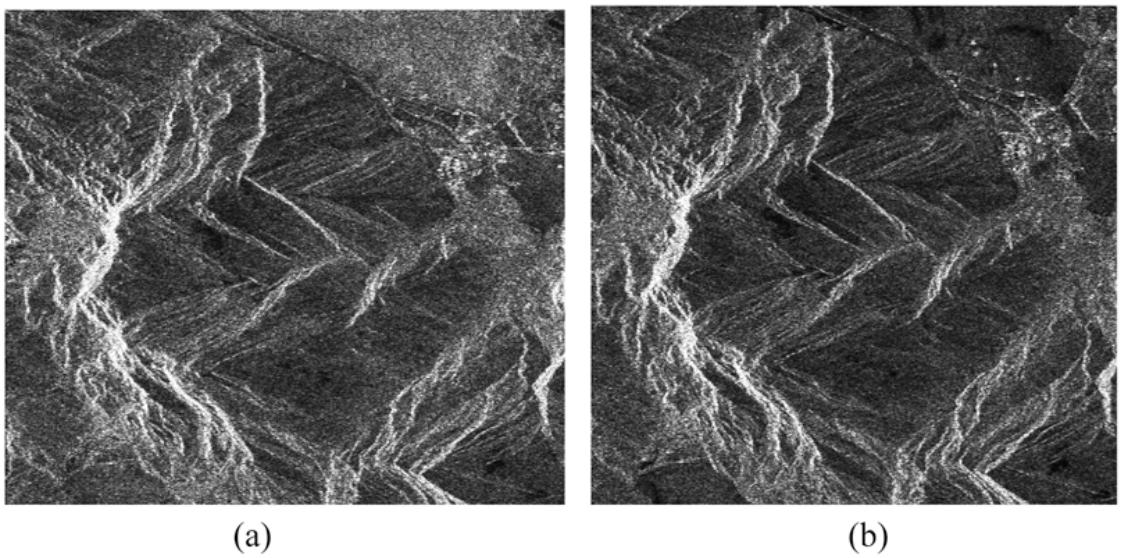
2.2 İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR)

Dünya yüzeyindeki materyallerin fiziksel yer değişimlerini iki farklı görüntü üzerinden mm ölçeğinde belirleyebilen bunun için radar sensöründeki faz değişim farklarını kullanan bir uzaktan algılama teknolojisidir. InSAR tekniği yardımıyla; herhangi bir bölgeye ait orta çözünürlükte ve doğrulukta SYM (Sayısal Yükseklik Modeli), herhangi bir bölgedeki herhangi bir nedenden dolayı oluşabilecek deformasyon hassas bir şekilde belirlenebilir. Aynı yüzeye ait görüntü çiftleri belirli yazılımlarla karşılaştırılırlar yapılır. Bu karşılaştırma iki görüntü edinimi arasındaki zaman farkı meydana gelen yüzey değişimini ortaya koymaktadır. Uzayda hareketli bir platform üzerindeki radar sensörler tarafından bir hedefe doğru mikrodalga sinyaller iletilir; bazıları hedeften geri yansır. Hedefin radar görüntüsünü oluşturabilmek için yansıyan sinyaller mikrodalga sensörler tarafından kaydedilirler. (Ferretti ve ark., 2001, Çomut 2016) InSAR'ın matematiksel olarak faz modelinin ifade edilişi (2.2) gösterilmiştir.

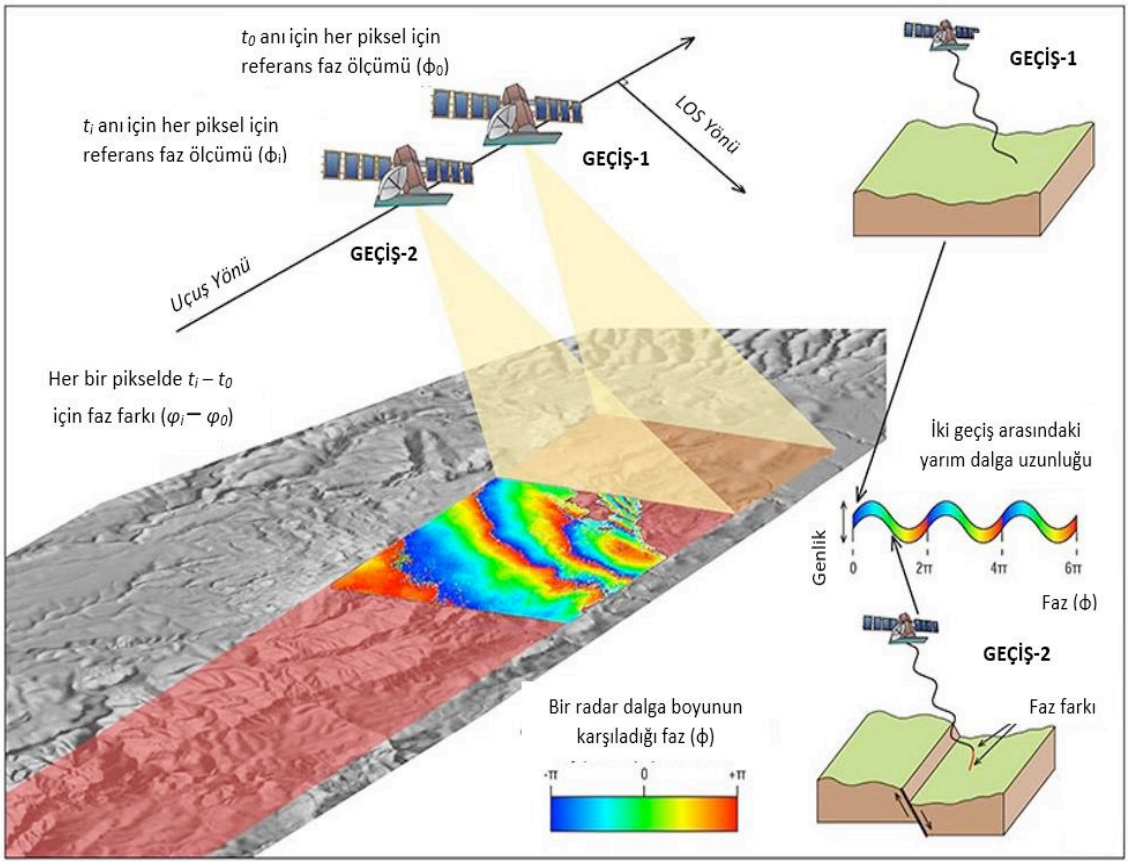
$$\varphi=\varphi topo+\varphi def+\varphi atm+\varphi duz_dun+\varphi yor+e\ [2\pi]\ \varphi def \quad [2.2]$$

$$\varphi def=(4\pi/\lambda)\delta r \quad [2.3]$$

Burada $\varphi topo$ topografya ile ilgili faz bileşeni, φdef deformasyon ile ilgili faz bileşeni, φatm atmosfer ile ilgili faz bileşeni, φduz_dun dünya yüzeyi ile ilgili faz bileşenini, φyor yörünge ile ilgili faz bileşenini ve e ise gürültüyü ifade eder. Deformasyon ile ilgili faz bileşeni eşitliği, sensörün görüş hattındaki δr kadar yer değiştirme miktarını ifade eder (Erkoç, 2022). İnterferometrik SAR (InSAR) tekniği, faz farkından yararlanır. (Crosetto vd., 2016)



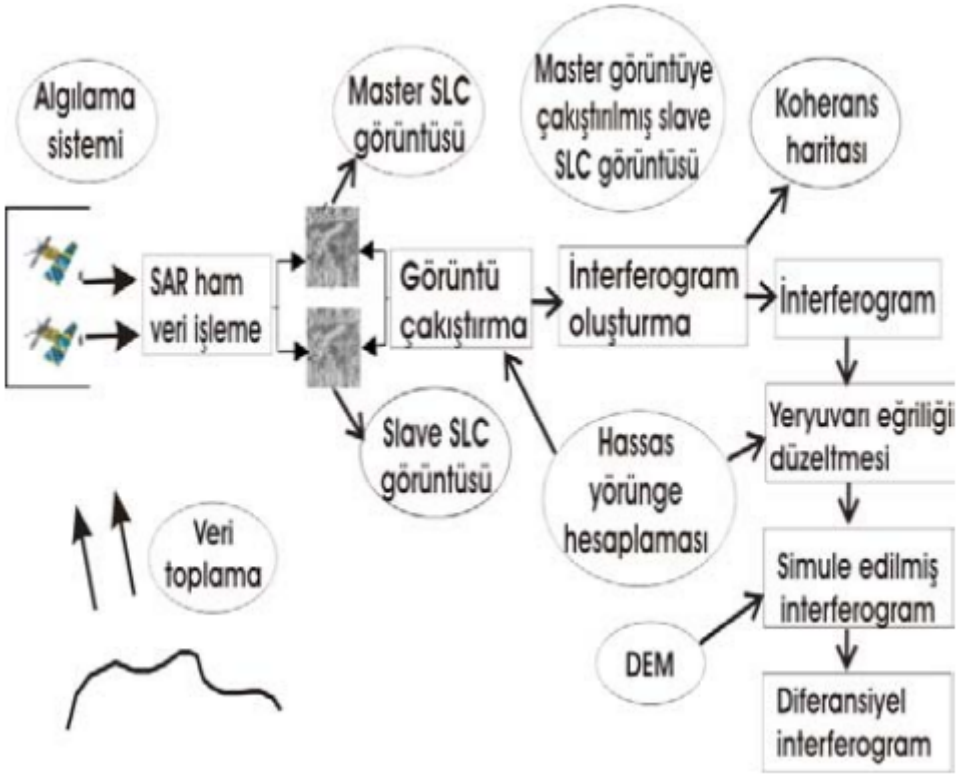
Şekil 2.3 Bir çift SAR görüntüsü. (a) ana görüntü; (b) ikincil görüntü (Zou, 2009)



Şekil 2.4 InSAR yaklaşımı (https://www.ga.gov.au, Erkoç 2022)

2.2.1 InSAR Görüntülerinin İşleme Adımları

Ham olarak uydulardan elde edilen master (birinci) ve slave (ikinci) görüntülerde kayıtlı bulunan faz bilgileri korunarak, SLC formatındaki SAR verileri oluşturulur. Daha sonra slave SLC görüntü master SLC görüntüye göre düzeltilerek çakıştırma işlemi yapılır. Çakıştırma işleminden sonra slave görüntünün kompleks SAR değerleri ile master görüntünün kompleks eşleniği çarpılarak interferogram oluşturulur. Çarpma işlemi sonunda her bir piksel için ortalama genlik değeri ve faz farkı bilgileri elde edilir. **(**Aydöner ve Maktav, 2006)



Şekil 2.5 InSAR görüntülerinin işleme adımları (Aydöner ve Maktav, 2006)

2.2.2 InSAR Veri İşleme Sorunları

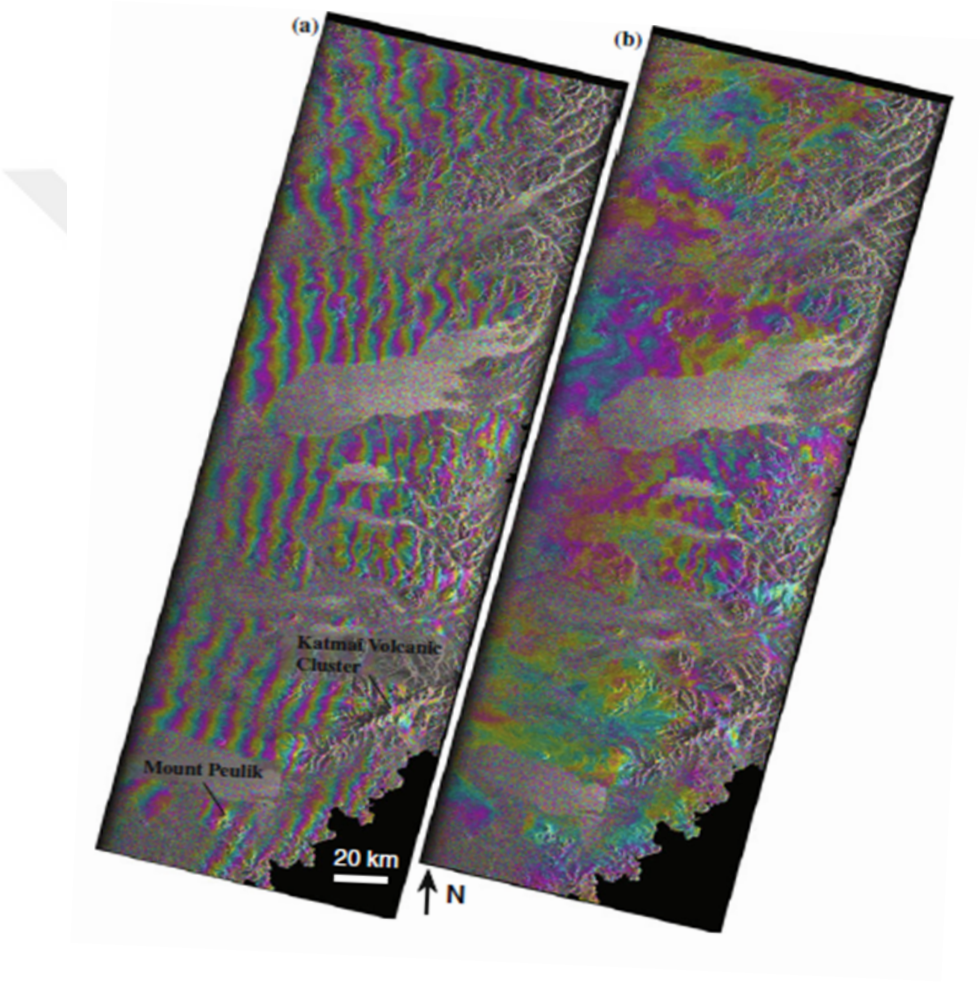
En iyi SAR görüntüsünü almak için InSAR veri işleme sırasında çeşitli sorunlar ele alınmalıdır. Bunlar arasında SAR işlemcisi tarafından tanıtılan sahte faz anomalileri, tutarlılık iyileştirmesi, taban çizgisi tahmini, troposferik yapılar ve iyonosferik etkiler yer almaktadır.

2.2.2.1 SAR İşlemcisinden Kaynaklanan Faz Anomalileri

Bir sar işlemcisi, ham sar verilerinin bir sahnesini, karşılık gelen referans fonksiyonları ile hem aralık hem de azimut yönlerinde ham sar verilerinin eşleştirilmiş filtrelenmesi yoluyla bir SLC

görüntüsüne dönüştürmek için gereklidir (Curlander and McDonough 1991). Bununla birlikte, kusurlu geometrik hesaplamalar, InSAR görüntülerinde sahte bir rampalama aşamasına neden olabilir.

Şekil 2.6, iki farklı sar işlemcisi ile işlenen iki InSAR görüntüsünü göstermektedir. Şekil 2.6 2a'daki rampalama aşaması muhtemelen sar işlemci hatasından kaynaklanmaktadır. Sar işlemci hatasının neden olduğu rampa aşamasının, temel hatanın neden olduğu ile kolayca karıştırılabilmektedir. (Lu ve Dzurisin, 2010).



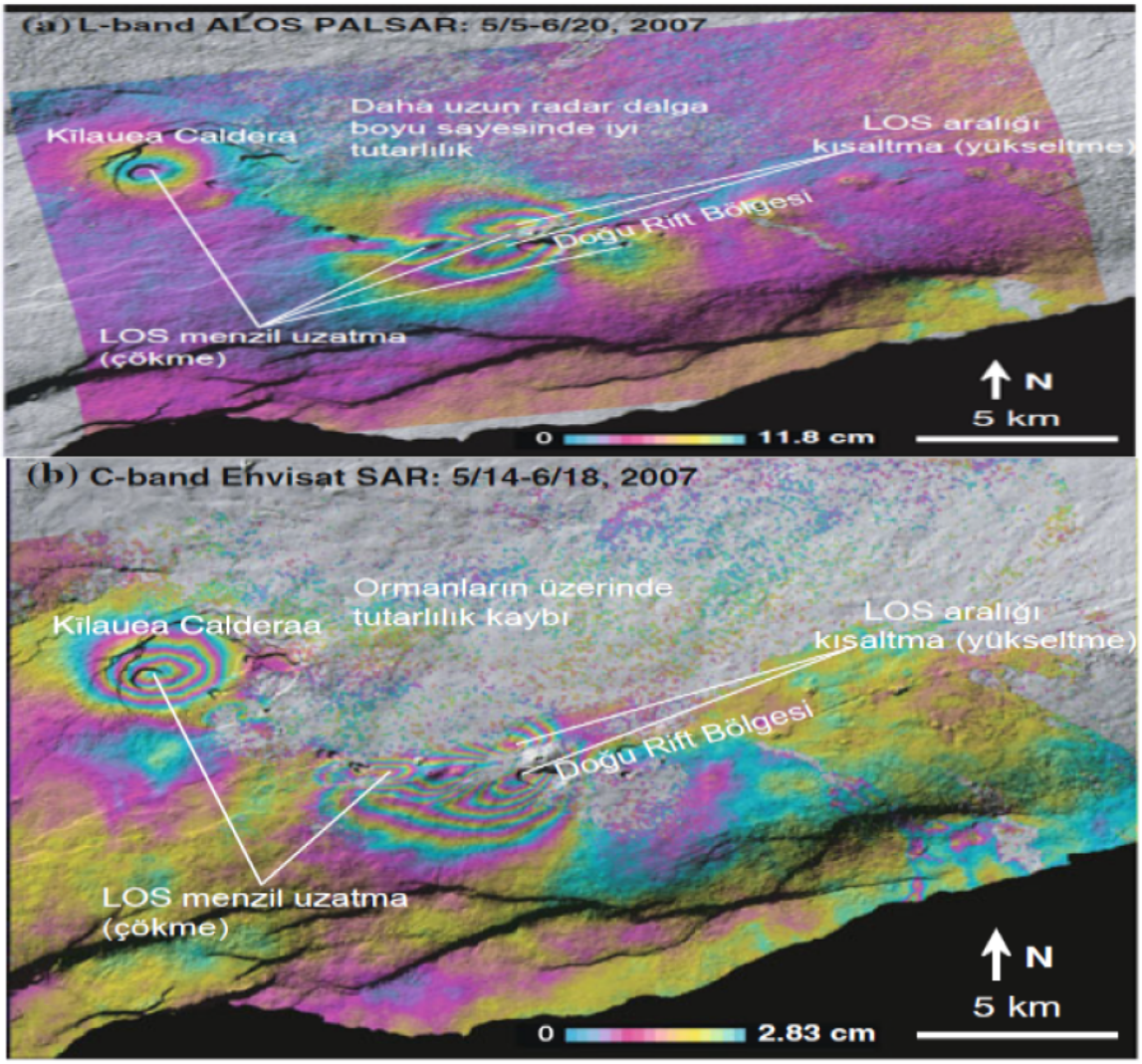
Şekil 2.6 (a)' daki saçaklar (dalgalanmalar) muhtemelen sistematik faz nedeniyle oluşan SAR işlemcisiyle ilişkili bir hata (b)'de büyük ölçüde daha az sistematik faz hatası bulunmaktadır. (Lu, 2014)

2.2.2.2 InSAR Tutarlılık İyileştirmesi

İnterferometrik tutarlılık, farklı zamanlarda elde edilen SAR görüntülerinin korelasyonunun nitel bir değerlendirmesidir. Faz hatası miktarını ve dolayısıyla deformasyon tahminlerinin

veya DEM ürünlerinin doğruluğunu açıklar. Tutarlı bir interferogram oluşturmak, sar görüntülerinin birbirleriyle korelasyon göstermesini gerektirir; yani, geri saçılma spektrumu gözlem süresi boyunca büyük ölçüde benzer olmalıdır. L - bandı ve C - bandı interferometrik tutarlılığının karşılaştırılmasında interferometrik tutarlılık L - bandının uzak olduğunu göstermektedir. Kalın bitki örtüsü veya kolayca mobilize edilebilen gevşek malzeme ile kaplı yüzeyler için L-bandı daha üstündür. Bu nedenle, tutarlı interferogramlar üretme şansı: (1) seyrek bitki örtüsüne sahip arazide zaman içinde sadece birkaç ay ila birkaç yıl arasında ayrılmış C - bandı görüntüleri kullanılarak, (2) yüzeyin kalın bitki örtüsü veya gevşek malzeme ile kaplandığı alanlarda L - bandı görüntüleri kullanılarak ve (3) mevsimsel kar örtüsüne maruz kalan alanlarda yerel yaz aylarında elde edilen sar görüntüleri seçilerek geliştirilmiştir. (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014) (Şekil 2.7)

InSAR tutarlılığını etkileyen bir diğer faktör, görüntü ortak kaydının doğruluğudur. InSAR işlemede katı bir önkoşul, referans ve bağımlı SAR görüntülerinin dikkatli bir şekilde kaydedilmesi ve bağımlı görüntünün referans görüntünün geometrisine yeniden örneklenmesidir. İşleme, birlikte kayıt, referans ve bağımlı görüntülerin piksel konumlarının yoğun bir ızgarasında çapraz korelasyonu ve sonuçların menzil ve azimut ofseti oluşturmak için kullanılması vasıtasıyla yapılır. Aralık ve azimut ofset polinomları, aralık ve azimut piksel pozisyonunun fonksiyonları olarak ifade edilir. Büyük bir dikey taban çizgisine sahip bir interferogram için topografik varyasyonlar, referans ve bağımlı görüntüler arasında ek lokalize ofsetler getirdiğinde bir sorun ortaya çıkar. (Lu ve Dzurisin, 2010).

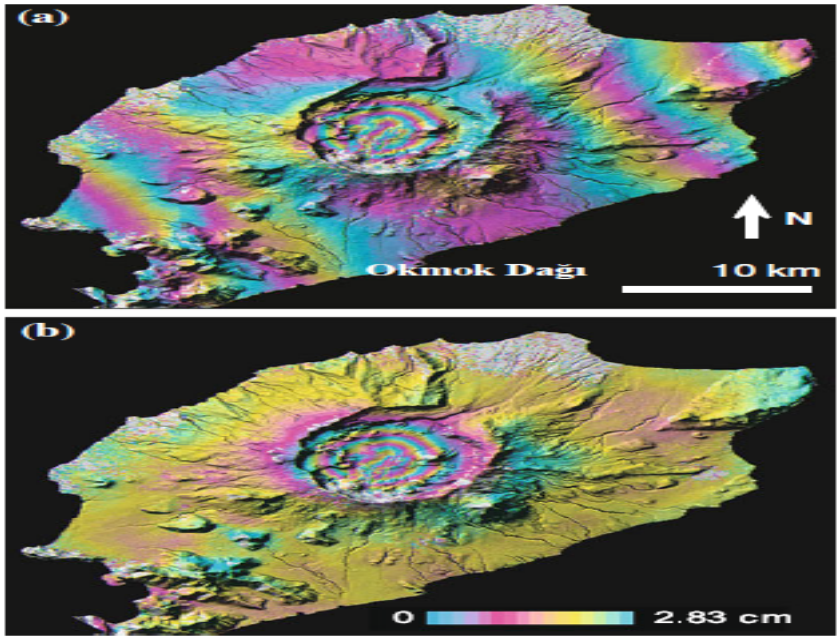


Şekil 2.7 a L - band ALOS ve b C - band Envisat InSAR, Haziran 2007 Hawaii'deki Kilauea yanardağındaki doğu yarık bölgesi boyunca patlama ile ilişkili zemin yüzeyi deformasyonunu gösteren görüntüler. Her saçak (tam renk döngüsü), ALOS ve Envisat interferogramları için sırasıyla 11,8 cm veya 2,83 cm'lik bir görüş alanı değişimini temsil eder. InSAR deformasyon değerleri gölgeli bir kabartma haritası üzerine oluşturulur. Tutarlılık kaybı alanları renksizdir. C - bandı görüntüsü, C - bandı görüntüsündeki baskın hacim geri saçılması nedeniyle yoğun bitki örtüsü alanlarında L - bandı InSAR görüntüsünden daha kolay tutarlılığını kaybeder. C - bandı görüntüsü, 1referans görüntüdeki her pikselin konumunu bağımlı görüntüdeki karşılık gelen bir piksel konumuna eşleyen doğrudan fonksiyonları hesaplayan C - bandı görüntüsündeki baskın hacim geri saçılmasından dolayı yoğun bitki örtüsü alanlarında L - bandı InSAR görüntüsünden daha kolay tutarlılık kaybeder (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).

2.2.2.3 InSAR Taban Çizgisi İyileştirmesi

InSAR deformasyon haritalamasında önemli bir hata kaynağı, görüntü edinme zamanlarında sar anten konumlarının yanlış belirlenmesinden kaynaklanan temel belirsizliktir. Radarsat -1 ve JERS -1 meta verilerinde sağlanan uydu konum vektörlerinin doğruluğu, ERS -1, ERS -2, Envisat, ALOS ve TerraSAR - X için olduğundan çok daha zayıftır. Bu nedenle, taban çizgisi iyileştirmesi özellikle Radarsat -1 ve JERS -1 interferogram işleme için önemlidir (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).

Şekil 2.8'da 18 Ağustos 2000 ve 19 Temmuz 2002'de elde edilen bir çift ERS-2 görüntüsünden üretilen Okmok Dağı'nın interferogramını kesin konum vektörleri kullanarak göstermektedir. Şekil 2.8, 18 Ağustos 2000 ve 19 Temmuz 2002'de elde edilen bir çift ERS-2 görüntüsünden üretilen Okmok Dağı'nın interferogramını kesin konum vektörleri kullanarak göstermektedir. Yaygın olarak kullanılan bir yöntem, en küçük kareler yaklaşımı ile mevcut bir DEM'e dayanarak taban çizgisi vektörünü belirlemektir (Rosen vd., 1996; Lu Z., ve Dzurisin D., 2014). Bu yöntem için, taban çizgisini hassaslaştırmak için kullanılan interferogram alanları, bağımsız bir veri kaynağı tarafından iyi karakterize edilen ihmal edilebilir deformasyona sahip olmalıdır. Şekil 2.8'daki interferogramdan başlayarak, kalderanın çok dışındaki deformasyonun ihmal edilebilir olduğunu varsayılmış ve taban çizgisi vektörünü rafine etmek ve Şekil 2.8'de gösterilen interferogramı üretmek için Rosen ve ark. (1996) yöntemini kullanılmıştır. 8-10 cm yüzey yer değiştirmesine karşılık gelen üçten fazla saçaktan oluşan eş merkezli bir desen (çoğunlukla yukarı kaldırma), kaldera içinde ortalanmıştır (Şekil 2.8). Alternatif olarak, taban çizgisi kaynaklı saçaklar, birinci derece veya ikinci derece bir polinom kullanılarak modellenebilir (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).



Şekil 2.8 Okmok dağı (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014)

Okmok Dağı'nın topografyası çıkarılmış interferogramları, Alaska (a) temel iyileştirmeden önce ve (b) sonrasını göstermektedir. Yer ile uydu arasında her interferometrik saçak (tam renkli döngü), 2,83 cm'lik aralık değişikliğini temsil eder.

2.2.2.4 Troposferik Etkiler

Radar sinyallerinin yayılma yolları boyunca kırılma indisindeki küçük değişikliklerden kaynaklanan atmosferik gecikme anomalileri, su buharı ve aerosollerinin %99'unda en önemli hata kaynağıdır. SAR görüntü alımları sırasında troposferin sıcaklık, basınç ve su buharı içeriğindeki farklılıklar, kırılma indisinde ve dolayısıyla radara geri dönen sinyallerin fazında değişikliklere neden olabilir. Bu faz varyasyonları, interferogramlarda, yüzey deformasyonunun kanıtı ile karıştırılabilecek saçaklar olarak ortaya çıkar. Zebker ve ark. (1997), troposferik su buharı içeriğindeki varyasyonların atmosferik gecikme anomalilerine en çok katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bağıl nemde %20'lik uzamsal ve zamansal değişiklikler, tekrar-geçişli interferometrik deformasyon haritalarında 10 cm'lik hatalara yol açabilir (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).

Troposferik düzeltmeler, hava durumu modellerinden alınan yardımcı bilgiler kullanılarak hesaplanabilir (Wadge, G., ve diğerleri, 2002 , Liu, S., ve diğerleri, 2009 , Doin, M., ve diğerleri, 2009; Jolivet, R. , vd, 2011; Walters, R., vd, 2014; Jolivet, R., vd, 2014; Bekaert D.P. S., vd., 2015) Tahmini düzeltmeler genellikle uzamsal ve zamansal çözünürlük ve yardımcı

verilerin kesinliği ile sınırlıdır. GPS istasyonları, dünyanın birçok yerinde genellikle yoktur veya seyrek olarak dağıtılır. Spektrometreler yalnızca bulutsuz ve gün ışığı koşullarında yararlı düzeltmeler sağlayabilir. SAR verileriyle eş zamanlı olarak elde edilmeyen hava durumu modelleri ve spektrometre gözlemlerinin zaman içinde enterpole edilmesi gerekir ki bu da belirsizliklere neden olabilir (Bekaert D.P. S., vd., 2015).

Troposferik düzeltmeler deneysel olarak doğrudan interferogramdan da hesaplanabilir. Tek bir interferogram için troposferik gecikmeler $\Delta \phi$ tropo , deforme olmayan bir bölgede topografya h ve interferometrik faz $\Delta \phi$ arasındaki doğrusal bir ilişki varsayılarak tahmin edilebilir, $\Delta \phi$ tropo $= K \Delta \phi h + \Delta \phi 0$., 2002) veya deformasyona duyarsız bir uzamsal bantta (Lin, Simons, Hetland, Muse ve DiCaprio, 2010), burada $K\Delta \phi$ tahmin edilecek gradyandır ve $\Delta \phi 0$ yalnızca tüm interferograma uygulanan sabit bir kaymayı temsil ettiği için ihmal edilebilecek bir sabittir. Elliott, Biggs, Parsons, & Wright (2008) bu yöntemin bir modifikasyonunu kullandı ve $K\Delta\phi$ tahmininden önce deformasyon yer değiştirmelerinin bir ön tahminini kaldırdı . Bu tür faza dayalı yöntemler, troposferik sinyallerin azaltılmasında etkili olmuştur, ancak troposferik özelliklerin hiçbir uzamsal değişkenliğinin bulunmadığını varsaydıkları için sınırlıdırlar (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).

Buluta eğilimli ve yağışlı bölgelerde, troposferik gecikmelerin neden olduğu aralık değişikliği önemli olabilir ve deformasyon analizi sırasında dikkate alınmalıdır. Troposferik gecikme anomalilerinin yüzey deformasyonundan etkilerini ayırt etmek multi-temporal interferogramlar gerektirir (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).

2.2.2.5 İyonosferik Etkiler

İyonosfer, atmosferin yaklaşık 50 ila 1000 km yükseklikten uzanan üst kısmıdır, ancak 250-400 km yüksekliğinde bir bölgede yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni alçalan yükseklikle azalan solar radyasyon yoğunluğuyla ve artan yükseklikle azalan atmosferik yoğunluğuyla 15 açıklanabilir Güneş'ten gelen enerjik radyasyon, serbest eletronların, iyonların ve gazların bir karışımını oluşturmak için iyonosferdeki molekülleri iyonize eder. Elektron yoğunluğu öncelikle güneş aktivitesinin yoğunluğu, coğrafi konum ve günün saati ile kontrol edilir (Meyer, vd., 2006). UVB ışınlarının yoğunluğu mevsime, yere ve günün saatine göre değişir. İyonosfer dağıtıcı bir ortamdır, yani elektromanyetik dalgalar üzerinde frekansa bağlı etkiler üretir. Bu etkiler, uzun dalga boylu SAR görüntülerinde (örneğin, L-bandı) kısa dalga boylu SAR görüntülerinden (örneğin, X-bandı, C-bandı) daha şiddetlidir. İyonosferin dağıtıcı doğası, 1 radar taşıyıcısının faz hızının vakumdaki ışık hızından biraz daha yüksek olmasına ve 2 radar

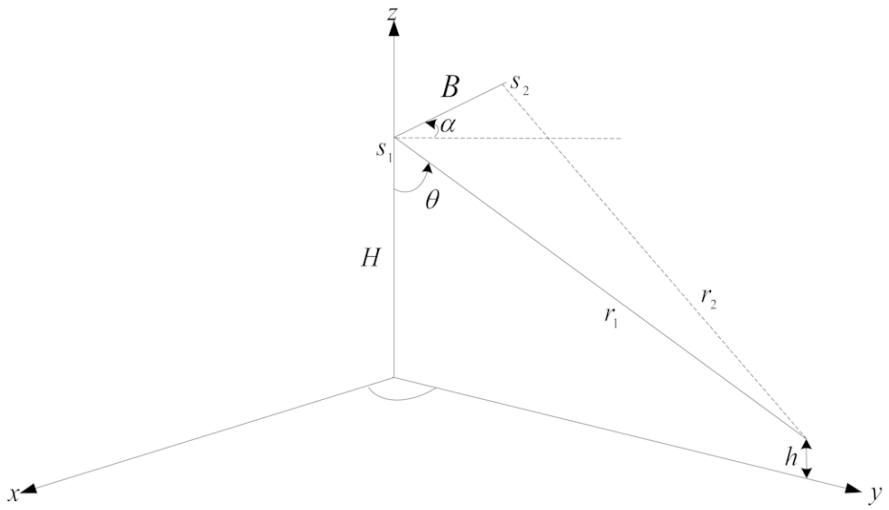
sinyalinin grup hızına neden olur. Sonuç olarak, iyonosferik elektron yoğunluğundaki dalgalanmalar sar ve InSAR görüntülerindeki anomalilerin bir başka nedenidir (Gray vd., 2000; Mattar ve Gray 2002; Meyer vd., 2006; Wegmuller vd., 2006; Meyer, 2011; Jung vd., 2013; Lu Z., ve Dzurisin D., 2014). Onlarca ila yüzlerce kilometrelik uzunluk ölçekleri üzerinde meydana gelen bu tür dalgalanmalar, sar genlik görüntülerinde coğrafi konum hatalarına neden olabilir, InSAR görüntü korelasyonunu etkileyen azimut piksel kaymalarına (" azimut çizgisi ") ve etkilenen alan için kesin olmayan interferometrik faz değerlerine neden olabilir (Lu Z., ve Dzurisin D., 2014).

İyonosferik etki iki farklı frekanstaki gözlemlerle ayırt edilebilir. Aynı teknik, GPS gözlemlerinden iyonosferik etkileri tanımlamak ve ortadan kaldırmak için başarıyla kullanılmıştır (Parkinson, vd., 1996; Meyer, vd., 2006; Lu ve Dzurisin, 2010). İyonosferik etkilerini hafifletmek için başka bir yöntem ise iki SAR gözlemi arasındaki toplam elektron yoğunluğundaki farkı tahmin etmek için iyonosferin neden olduğu grup gecikmesi ve faz ilerlemesindeki farklılıklar kullanır (Meyer, vd., 2006).

2.2.3 SAR Görüntülerinin Alınması

Normalde, bir platform üzerine monte edilen anten sayısına ve oluşturulan temel hattın yönüne göre görüntüleri elde etmenin üç yolu vardır: ilki SAR görüntülerini tekrar geçiş ile elde etme ikincisi Across-track ile SAR görüntülerinin edinilmesi sonuncusu ise yol boyunca SAR görüntülerinin edinilmesidir.

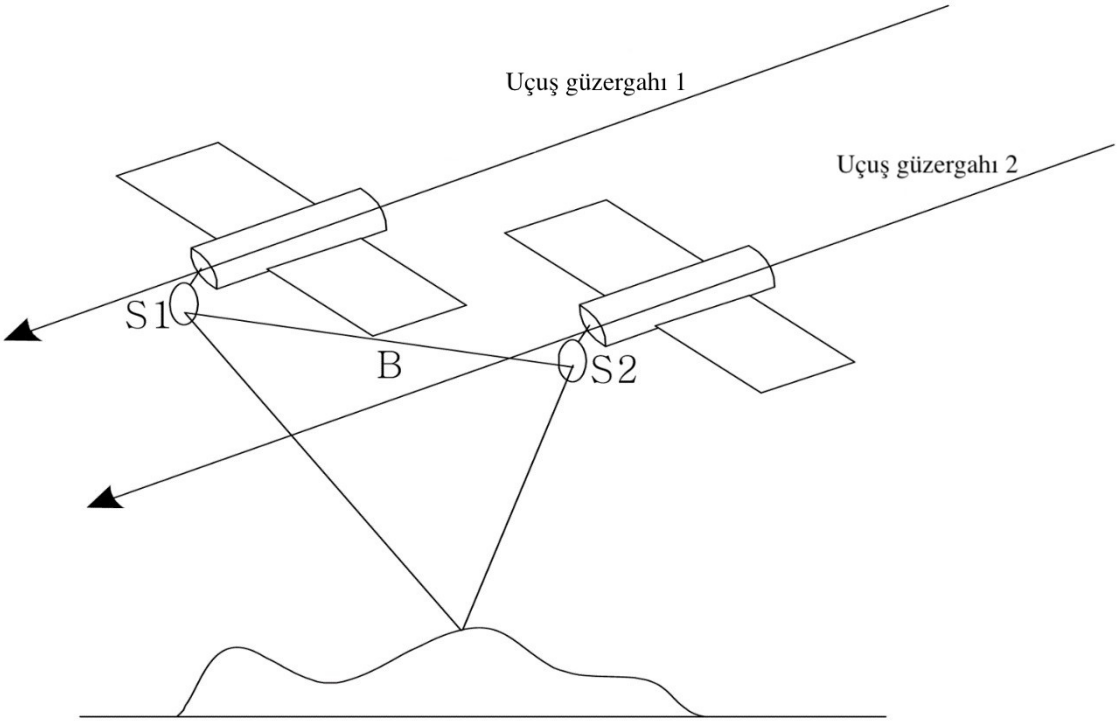
SAR görüntüsü elde etme prensibi, genel InSAR görüntüleme geometrisi Şekil 2.9'de gösterilmektedir. Paralel uçuş yollarındaki iki anten s_1 ve s_2, bir taban çizgisi B ile ayrılır. Anten yerdeki aydınlatılmış bir noktaya olan eğim aralığı r_1'dir ve r_2 ise anten S_2'den aynı noktaya olan eğim aralığıdır. Bakış açısı θ, yatay çizgi a'ya göre taban çizgi açısı ve uçuş H ile INSAR'ın görüntüleme geometisi sabitlenir (Zou, 2009).



Şekil 2.9 SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou, 2009)

2.2.3.1 SAR Görüntülerini Tekrar Geçiş ile Elde Etme (Repeat-pass)

Bu yaklaşımda sadece bir anten kullanılır ve SAR sistemi aynı alandan iki kez geçerek SAR veri setlerini elde eder. Tekrar geçiş ile elde etme yöntemiyle SAR'ın görüntüleme geometrisi interferometri Şekil 2.10'te gösterilmektedir. Şekilden, ilk geçişte radar dalgasının s_1 anteninden iletildiği ve arazi ile etkileşime girdikten sonra geri saçılan dönüş sinyalinin de s_1 anteni tarafından kaydedildiği fark edilmektedir. Sinyal bilahare karmaşık SAR görüntüsüne işlenir, ayrıca s_2 de ikinci geçişte sinyal başka bir karmaşık SAR görüntüsüne işlenir. Bu SAR görüntüleri, daha sonra gösterileceği gibi sırasıyla ana görüntü ve ikincil görüntü olarak adlandırılır (Zou, 2009).

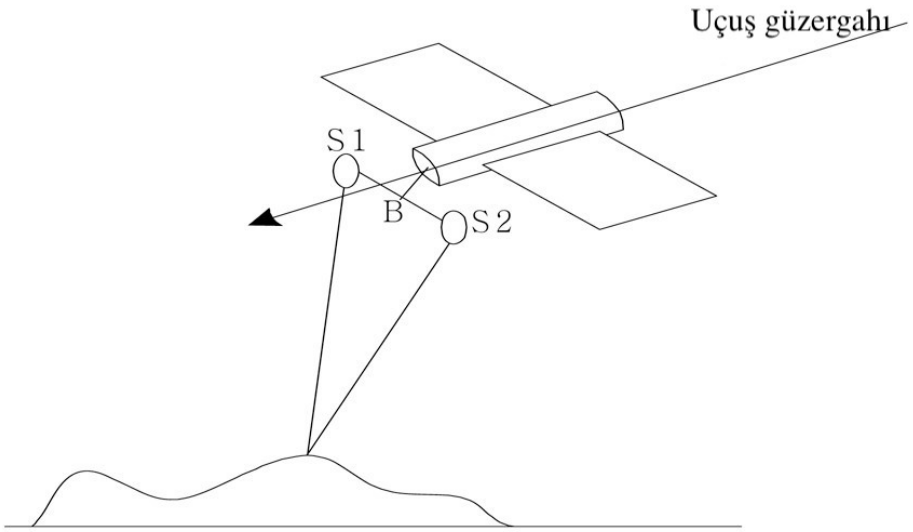


Şekil 2.10 Tekrar geçişli SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou, 2009)

2.2.3.2 Yol boyunca ile SAR Görüntülerinin Edinilmesi (Across-track)

Görüntüleme geometrisi Şekil 2.11'te gösterilmektedir. Bu yaklaşımda, iki SAR anteni, S1 ve S2, aynı platform üzerine monte edilir. SAR verileri aynı anda alınır ve taban çizgisi B, uçuş yoluna diktir. Bu nedenle sistem, ana görüntüyü ve ikincil görüntüyü aynı anda, ancak biraz farklı iki konumdan kaydeder.

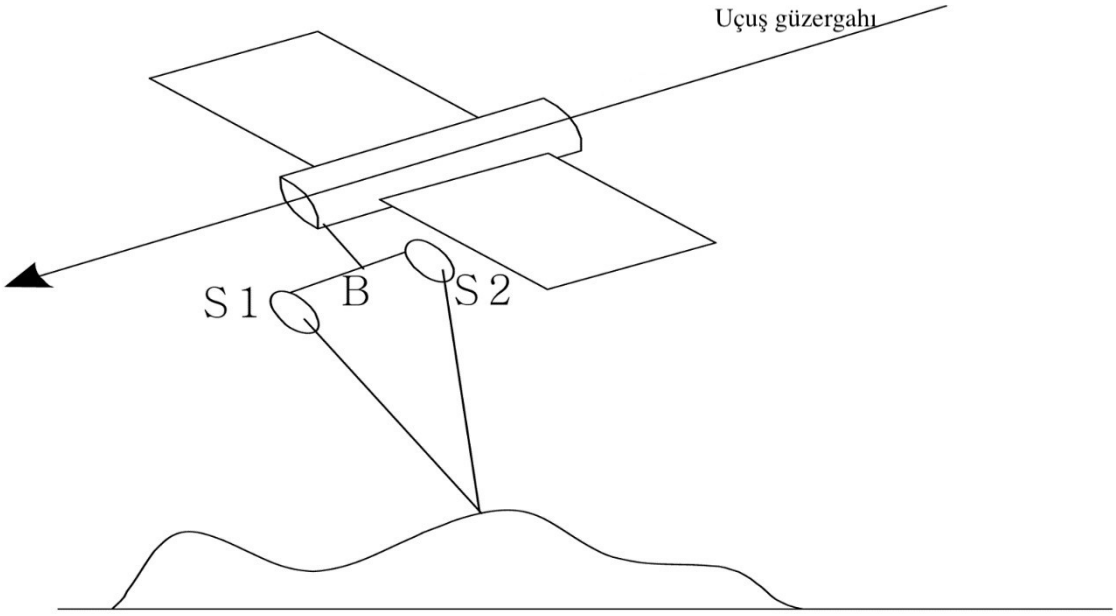
İzler arası interferometre ayrıca DEM üretimi için kullanılır. (Bamler, 2003) Buna ek olarak, deniz yüzeyi haritalaması için de kullanılabilir. (Lehner, 2001; Zou vd., 2009)



Şekil 2.11 Across-track SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou vd., 2009)

2.2.3.3 Yol Boyu SAR Görüntülerinin Edinilmesi (Along-track)

Along-track, iki SAR anteni, s1 ve s2 ile SAR görüntüleri elde etmek anlamına gelir. İki anten aynı yörüngede ve muhtemelen aynı platformda SAR verisi elde etmek için kısa bir mesafede birbirini takip eder. Taban çizgisi, B, uçuş yönüne paraleldir. Görüntüleme geometrisi Şekil 2.12'te gösterilmektedir. Aynı platformda iki anten gerektirdiğinden, şu anda uzun yol yaklaşımı yalnızca havadaki SAR sistemleri için geçerlidir. İz boyunca yaklaşım, saçılmaların menzil yönündeki hareketine duyarlıdır. Dünya yüzeyi hızlarını ölçmek için kullanılabilir. Bu nedenle, bu teknik, yavaş hareket eden yer hedeflerinin tespiti için umut vaat ediyor. Okyanus akıntılarının haritalanmasında geliştirilmiştir. Denizin üzerinde, radar bakış yönüne paralel olarak mevcut hız bileşeninin bir haritasını üretir. Artık ana görüntü ve ikincil görüntü aynı konumdan ancak biraz farklı zamanlarda kaydedilir. Bu nedenle karşılık gelen sinyaller arasındaki faz farkları, örneğin su akımı gibi ölçülen nesnenin hareketinden kaynaklanır. Hareket eden yüzey, su dalgalarının faz hızına göre bir Doppler kaymasına yol açar. Tüm sabit hedefler görünmezken, hareketli olanlar radar görüntüsünde görülebilir. Uzun yol modu, okyanus akıntılarının ve yerdeki nesnelerin hızını ölçmek için kullanılabilir (Gray vd., 1994; Eberhard vd., 2004; Zou vd., 2009).

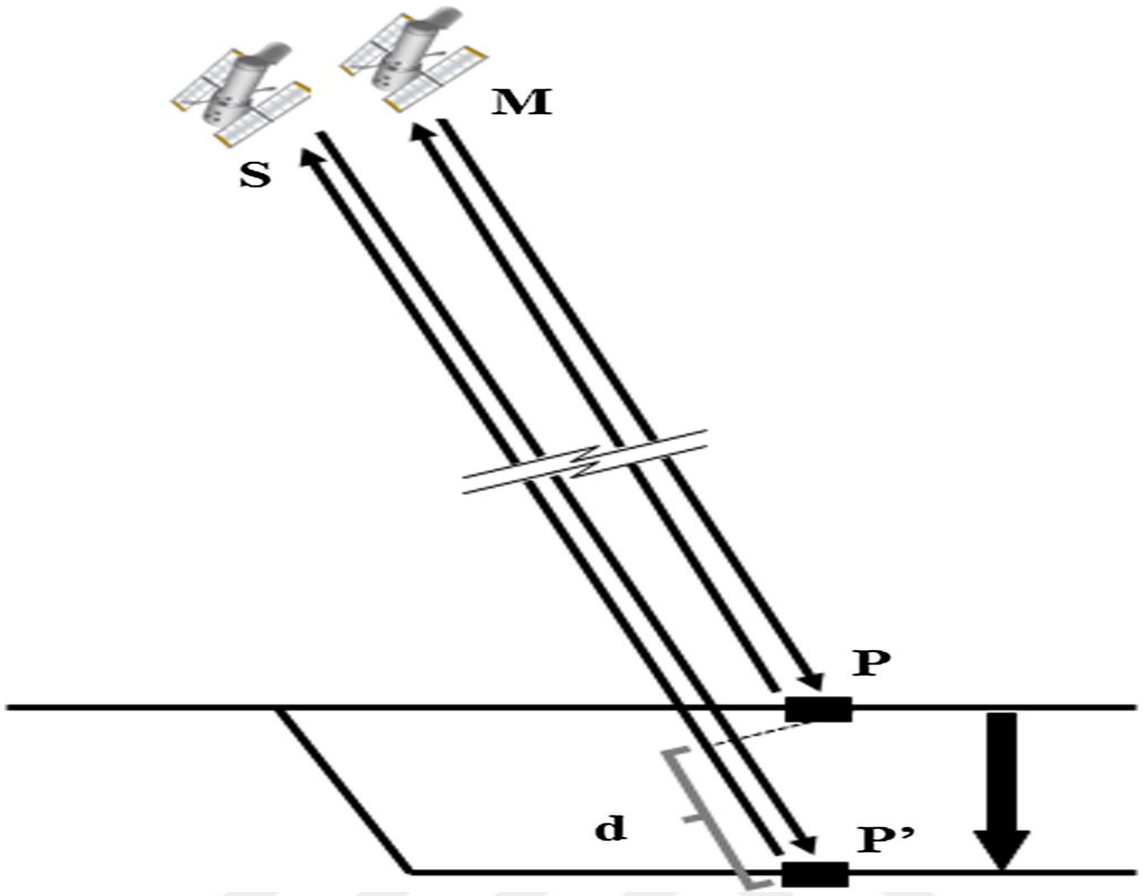


Şekil 2.12 Along-track SAR interferometrisinin görüntüleme geometrisi (Zou vd., 2009)

2.2.4 Diferansiyel InSAR Tekniği - DInSAR

Diferansiyel InSAR Tekniği (DInSAR) aynı alanın farklı zamanlarda alınmış iki sar görüntüsünün faz farklarından yararlanarak deformasyonların belirlenmesine dayanır. DInSAR son 30 yılda yaygın olarak kullanıldı ve sismoloji alanlarında önemli sonuçlar vermiştir (Crosetto vd., 2016).

Diferansiyel interferometri (DInSAR), kullanılan dalga boyuna göre, yani ERS verileriyle bir santimetreden daha az olan, radar bakış yönündeki hareketleri algılayabilir (Oštir ve Komac, 2007).



Şekil 2.13 DINSAR deformasyon ölçümünün şeması (Crosetto vd., 2016)

2.2.5 PSInSAR

PSInSAR, InSAR ile aynı prensiplere dayanmaktadır, ancak daha gelişmiş ve kesin sonuçları vardır. InSAR, farklı açılardan alınan iki radar görüntüsü arasındaki faz farkını ölçerek hesaplama yapar. Faz farkı, radar anteni ile yer arasındaki mesafeyi hesaplamak için kullanılabilir. PSInSAR (Kalıcı Dağılım InSAR) tekniği, doğal veya insan yapımı olabilen ve tüm edinim aralığı boyunca kararlı radyometrik özelliklere sahip olan yer çözünürlük hücresi içindeki noktasal hedefleri (PS, Kalıcı Saçılımlar) belirlemek için ortak kayıtlı SAR görüntülerinin uzun yığınlarını analiz eder. Bu tutarlı noktalardan geri saçılan faz bilgisi, hareketin yer değiştirmesini ve zamansal gelişimini türetmek için kullanılır. Bu tekniğin ana sınırlaması, bitki örtüsü geometrisindeki veya ıslaklıktaki değişikliklerin faz bozulmasına neden olduğu ve tutarlı noktaların seçimini zorlaştırdığı kırsal veya ormanlık alanlarda (Solari, vd., 2016) tutarlı PS noktalarının neredeyse yokluğudur.

PSInSAR'ın jeoloji, çevre bilimi ve birçok mühendislik uygulaması ve değerlendirmesinde çok sayıda uygulaması vardır. En önemli uygulamalardan biri, deprem ve toprak kayması gibi doğal

afetlerin neden olduğu zemin deformasyonunun izlenmesidir. PSInSAR, yer hareketini tespit ederek hatta küçük miktarlarda zemin deformasyonunu bile tespit edebilmekte çalışma yapılan bölgede oluşan deformasyon hakkında araştırmacılara hassas bilgi sunmaktadır. Çünkü PSInSAR'ın en büyük avantajlarından biri, yüksek doğruluk derecesidir.

PSInSAR'ın belli avantajları ve sınırlamaları aşağıdaki Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 PSInSAR'ın belli avantajları ve sınırlamaları (Oštir ve Komac, 2007)

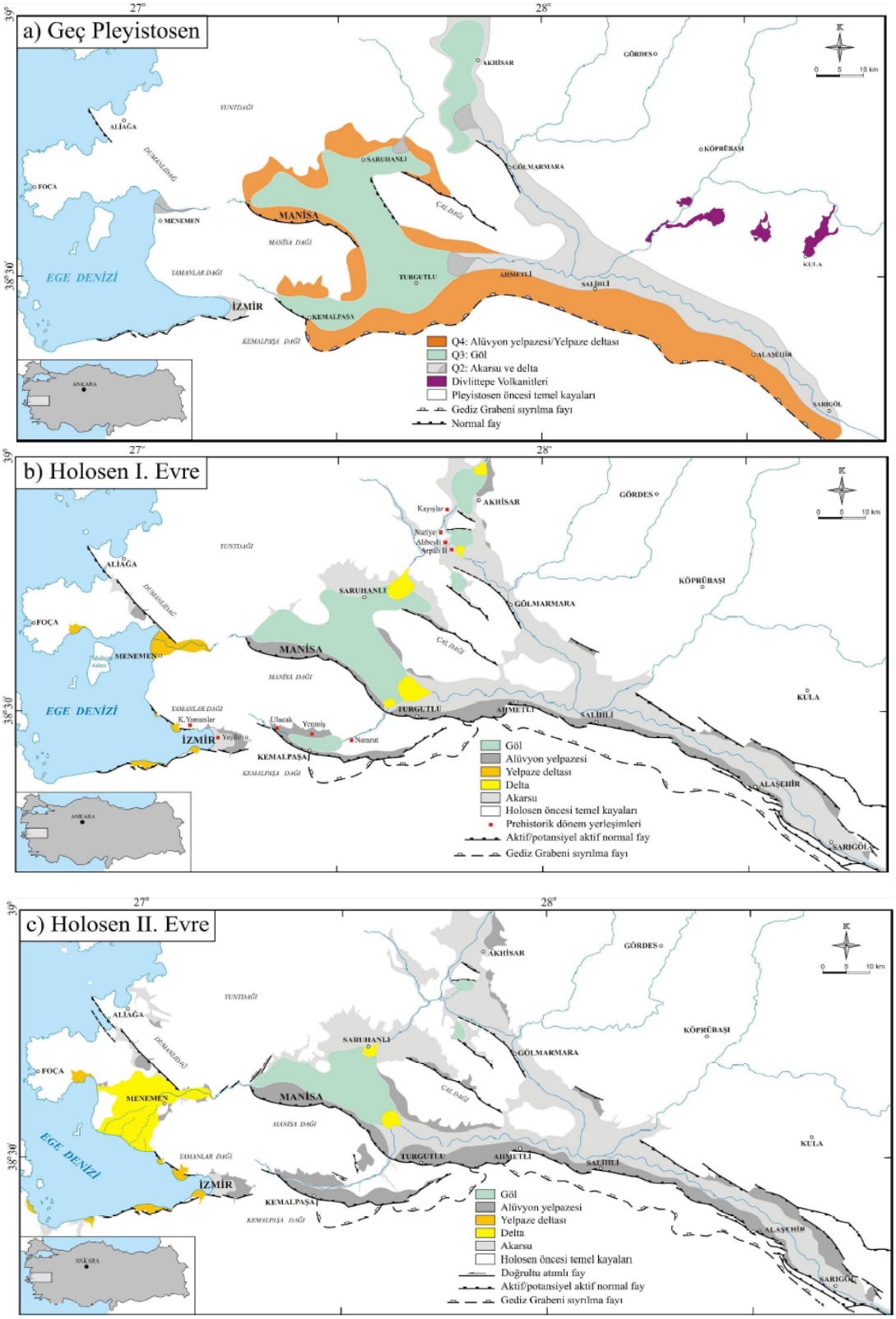
PSInSAR Tekniğinin	
Avantajları	**Sınırlamaları**
Daha geniş alanların düzenli ve finansal olarak kabul edilebilir ölçümler	PSInSAR'ın Bitki örtüsü alanları kullanımı devre dışı kalması
Yüksek PS yoğunluğu(1.000 PS/km^2'ye kadar)	Sürekli yüzeylerde uygulanamazlık
Hızlı veri işleme	Zaman ölçümleri uyduların yörünge aralıklarıyla sınırlıdır.
Yüksek doğruluk	Yavaş deformasyonların tespiti (< 10 cm/yıl LOS yönü)
GIS'ye basit aktarım	

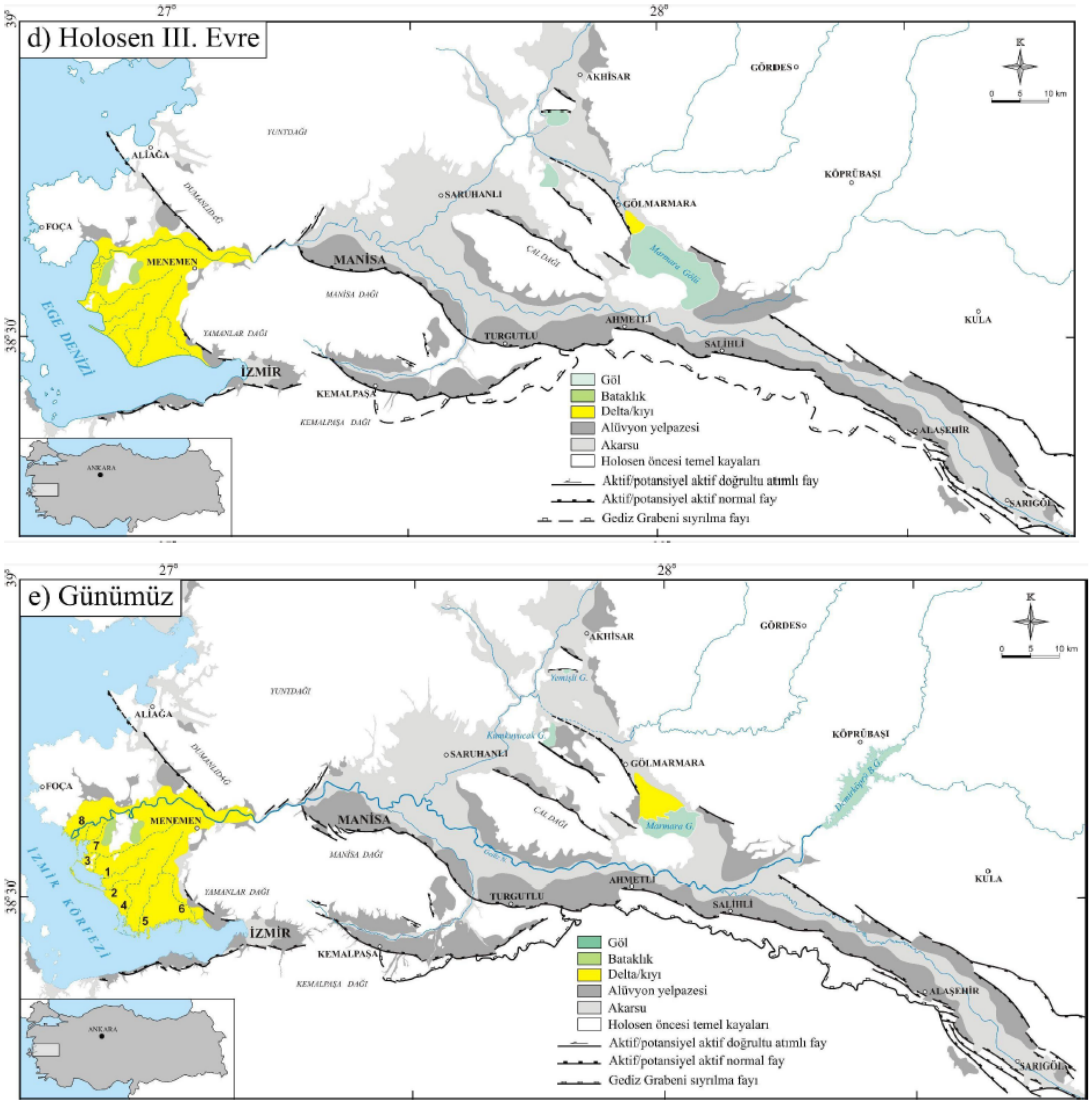
3.UYGULAMA

3.1 Gediz Grabeni ve Jeolojisi

Morfolojik olarak iyi tanımlanmış birkaç graben arasında Gediz Grabeni, Türkiye'nin batısındaki en belirgin ve en gelişmiş graben havzasıdır. Sismik olarak en aktif ve en büyük fayların güney kenarı boyunca yer aldığı asimetrisi, geçen yüzyılda çok sayıda depremle kendini göstermiştir (örn., Arpat ve Bingöl, 1969; Eyidoğan ve Jackson, 1985; Firuzan, 2008; Polat vd., 2008; Tan vd., 2008; Çiftçi ve Bozkurt 2009) Gediz Grabeni'nin içinde bulunduğu bölge Neojen ve Kuvaterner boyunca dolgulanma, tektonik ve jeomorfoloji bakımından karmaşık bir evrim geçirmiştir. Batı Anadolu'da Orta Miyosen'den itibaren açılmış olan fay denetimli Neojen havzalarının genel uzanımı KD-GB'dır. Bu graben havzalarında Orta Miyosen süresince çökelmiş olan dolgular, kuzeyde Kütahya-Uşak dolayında genellikle fluviyal, deltayik ve gölsel ortamları, güneyde Aydın-Denizli-Muğla yörelerinde ise başlıca gölsel ortamı karakterize ederler (Kaya, 1979; Leflef, 1980; Yılmaz, 2000; Hakyemez vd., 2013).

Paleocoğrafya haritalarında (Şekil 3.1) Gediz havzasının Kuvaterner boyunca geçirdiği sedimanter ve jeomorfolojik evrimi sırasıyla gösterilmektedir.


a) Geç Pleyistosen
27°
28°
39°
38°30'
AKHİSAR
GÖRDES
ALİAĞA
YUNTDAĞI
DEMİRELDAĞ
SARUHANLI
GÖLMARMARA
KÖPRÜBAŞI
FOÇA
ÇAL DAĞI
MENEMEN
MANİSA
MANİSA DAĞI
EGE DENİZİ
YAMANLAR DAĞI
TURGUTLU
AHMETLİ
SALİHLİ
İZMİR
KEMALPAŞA
KEMALPAŞA DAĞI
KULA
ALAŞEHİR
SARIGÖL
ANKARA
Q4: Alüvyon yelpazesi/Yelpaze deltası
Q3: Göl
Q2: Akarsu ve delta
Divlittepe Volkanitleri
Pleyistosen öncesi temel kayaları
Gediz Grabeni sıyrılma fayı
Normal fay
b) Holosen I. Evre
Kayışlar
Nurlıye
Alibeyli
Arpalı II
Ulucak
Yeşilova
Yeniniş
Namrut
Göl
Alüvyon yelpazesi
Yelpaze deltası
Delta
Akarsu
Holosen öncesi temel kayaları
Prehistorik dönem yerleşimleri
Aktif/potansiyel aktif normal fay
Gediz Grabeni sıyrılma fayı
c) Holosen II. Evre
Doğrultu atımlı fay
Aktif/potansiyel aktif normal fay
Gediz Grabeni sıyrılma fayı



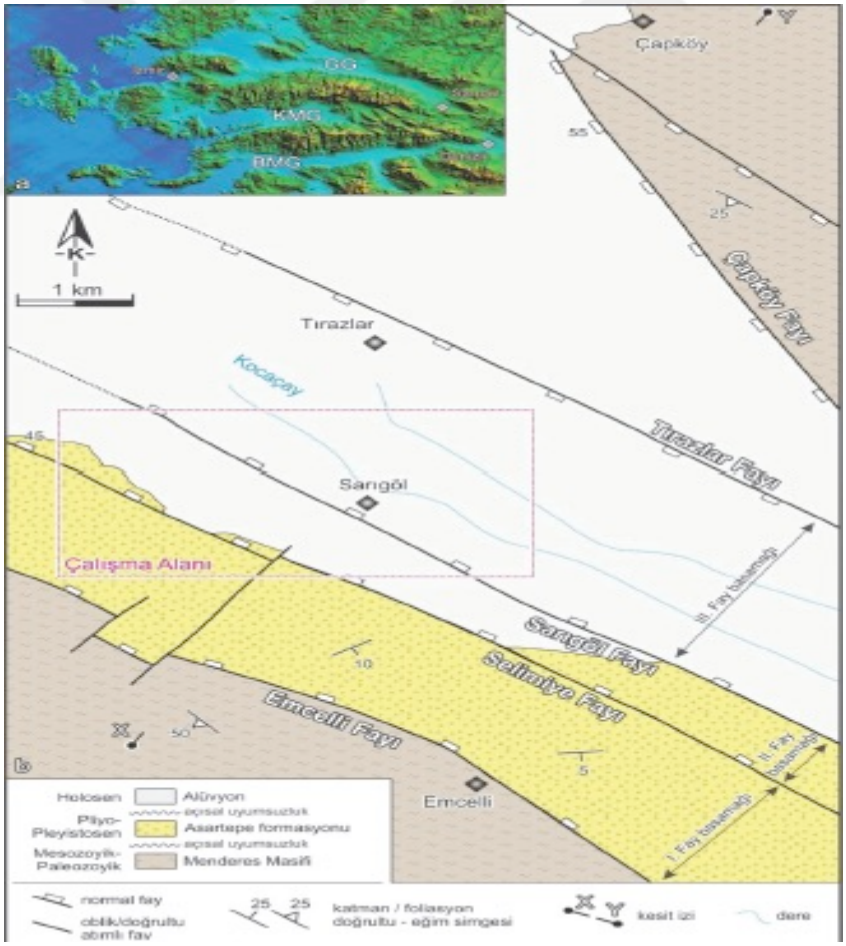
Şekil 3.1 Geç Pleistosen-Holosen sırasında Gediz Nehri havzasındaki en genç çökel dolgusu fasiyeslerinin dağılımını gösteren paleocoğrafya haritaları. a) Geç Pleyistosen dönemi, b) Holosen ilk evresi, c) Holosen ikinci evresi, d) Holosen üçüncü evresi, e) Günümüz (Rakamlar Gediz deltası üzerindeki dağıtım kanallarının göç sırasını göstermektedir). (Hakyemez vd., 2013)

Gediz Grabeni Manisa'dan Pamukkale'ye kadar uzanır. Yaklaşık 200 km uzunluğundadır. Grabenin ana fayı güney kenarı boyunca uzanır, kuzeyde ise yer yer bu fayın antitetik bileşeni yer alır. Graben içinde oluşan M=6.5 büyüklüğündeki 28 Mart 1969 Alaşehir depremi meydana gelmiştir. (Poyraz vd., 2015) Depremde 53 kişi yaşamını yitirmiş, 50 kişi yaralanmış, 4.651 ev ve iş yeri tamamen yıkılmış ya da ağır hasar almıştır. Alaşehir depremi en uzunu yaklaşık 12 km uzunluğunda olmak üzere toplam altı ayrı kırılma ile gelişmiştir (Arpat ve Bingöl 1969; Doğan vd., 2022). 150 km uzunluğundaki Gediz Graben Sistemi, modern Gediz Grabeni'nin

sınır faylarını oluşturan, doğuda KB-GD doğrultuya batıda DB doğrultuya sahip yay şeklinde bir yapıdır. (Doğan vd., 2022)

3.2 Çalışma Sahası

Çalışma bölgesi olarak Gediz Grabeni'nin doğu kesimi seçilmiştir. Gediz Grabenin doğu kesiminde aktif fay hatları geçmekte ve gözle görülebilir deformasyonlar meydana gelmektedir. Gediz Grabeni doğu kesiminde yer alan Sarıgöl ilçesinin en güneyde, kuzeybatı – güneydoğu uzanımlı ve Asartepe formasyonu ile Menderes Masifi'ne ait kayaçlar arasındaki dokanağı temsil eden Emcelli Fayı, birinci fay basamağının güney sınırını oluştururken; ikinci fay basamağını güneyden Selimiye Fayı, kuzeyden ise Sarıgöl Fayı sınırlar. Sarıgöl yerleşim alanının kuzeydoğusundaki üçüncü fay basamağı, Sarıgöl ve Tırazlar fayları arasında Gediz Grabeni'nin devamı şeklindeki graben içinde yer almaktadır. (Koca vd., 2011).

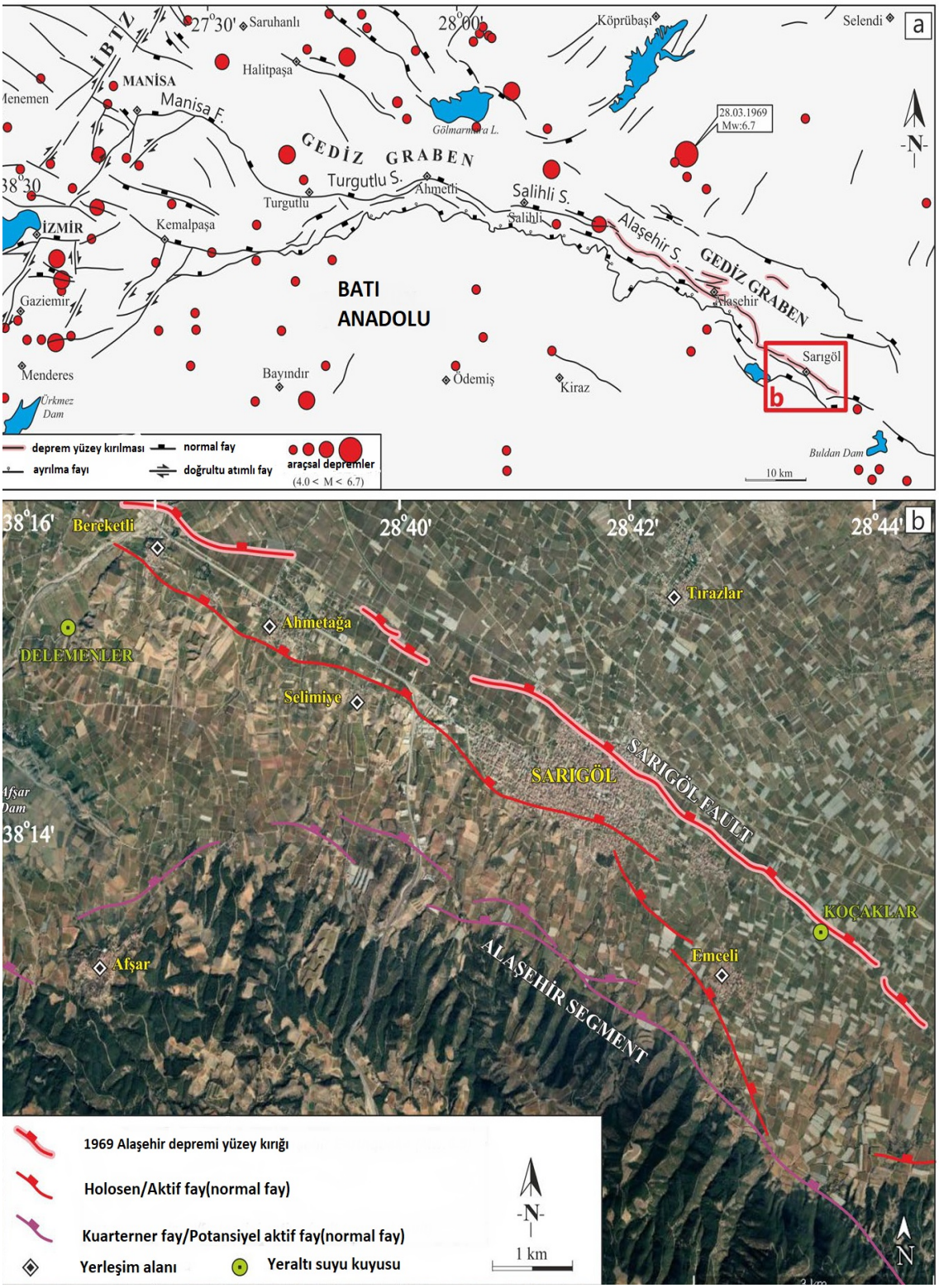


Şekil 3.2 Sarıgöl yöresinde gelişmiş graben fayları ve bu fayların oluşturduğu I, II ve III numaralı fay basamakları (Koca vd., 2000; Koca vd., 2011)

Sarıgöl ve yöresinde yer alan faylar kuzeydoğuya doğru eğimlidirler. Fayların doğrultuları genellikle vadiye paraleldir. Vadiye paralel çok sayıda fayla grabenin tabanı kademeli olarak çökmüştür. Bu faylar günaybatıdan kuzeydoğuya doğru (grabenin ortasına) doğru gençleşirler. 1881'den 2011 yılına kadar Gediz Grabeni üzerinde 40'tan fazla hasar verici deprem (Mw> 5.5) meydana gelmiştir (Koeri, 2011). Bunlardan en bilineni 1969 Alaşehir depremidir. 6.5 büyüklüğündeki deprem 30 km uzaklıktaki Sarıgöl ilçesinde de etkili olmuştur (Koca vd., 2011).

Şekil 3.3 koeri.boun.edu.tr/ sitesinden alınan Gediz Grabeni Doğu kesimini gösteren fay hatları

Sarıgöl ilçesinden geçen Sarıgöl fayı normal bir fay olup, bu faya bağlı olarak halihazırda yerleşim alanında yüzey deformasyonu görülmektedir. Sarıgöl ilçe merkezinde alüvyon içerisinde KD bloğun 10 ile 50 cm arasında alçaldığı ve K50° B ile DB arasında yön değiştirdiği yaklaşık 7 km uzunluğunda yüzey deformasyonu meydana gelmiştir. Veriler, yüzeyde gözlenen bu deformasyonun 1969 depreminden bu yana meydana geldiğini ve bu hareketin son 10 yılda hızlandığını gösteriyor. Son zamanlarda bildirilen 1969 depremi kuşağı boyunca maksimum 40–50 cm'lik dikey ötelemeler olmuştur (Koca vd. 2011; Gül 2016; Doğan vd. 2022).



Şekil 3.4 a) Gediz Grabeni'nin aktif fay haritası (Emre vd., 2018; Doğan vd., 2022) ve b) 1969 Alaşehir Depremi'nin (Mw = 6.5) (pembe içinde kırmızı)

Sarıgöl yöresinde yüzeyleyen stratigrafi alttan üste Menderes Masifi'nin metamorfik kayaçlarını, Plio-Pleyistosen yaşlı Asartepe formasyonunu ve Holosen alüvyonunu içermektedir. Asartepe formasyonu zayıf çimentolu konglomera ve kumtaşı; ayrıca Menderes Masifi'nin metamorfik kayaçları üzerine uyumsuz olarak gelir. Menderes Masifi'nin genel stratigrafisi gnayslı bir çekirdek, şist ve mermer örtüden oluşmaktadır. Masif, genişlemeli yapılarla, önce sığ-dalımlı sıyrılmalarla ve ardından mevcut grabenleri sınırlayan dik-eğimli normal faylarla yeniden işlenmiştir (Bozkurt ve Park 1994 , 1997 ; Hetzel ve diğerleri 1995; Lips ve diğerleri 2001; Doğan ve diğerleri 2022).

3.3 Uygulama için Kullanılan Veri Setleri

Gediz Grabeni doğu kesimi için tektonik hareketlerin daha iyi izlenilmesi için iki yıllık Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz olarak sunulan Sentinel-1A ve Sentinel-1B görüntülülerinin edinilmesi ve kullanılmasına karar verildi. Sentinel-1, Avrupa Uzay Ajansı tarafından yürütülen Kopernik Programı uydu takımyıldızının ilkidir. Sırasıyla 2014 ve 2016'da fırlatılan bu uydular, bir Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) cihazı kullanarak tüm hava koşullarında, gündüz ve gece görüntüleme yetenekleri sağlamak üzere tasarlanmıştır. Görüntüleri oluşturmak için görünür veya kızılötesi ışık yerine radar kullanır. Bu da SAR'ın hava koşullarından bağımsız olarak Dünya'nın yüzeyini görüntüleyebildiği ve özellikle sık bulut örtüsünün yaşandığı alanlarda veya gece saatlerinde de kullanılabileceği anlamına gelir. Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydularında bulunan SAR cihazları, radar darbelerini Dünya yüzeyine ileterek ve ardından uyduya geri yansıyan sinyalin gücünü ölçerek çalışır. Bu, uzak bölgelerde veya olumsuz hava koşullarında bile Dünya yüzeyinin yüksek çözünürlüklü görüntülerinin oluşturulmasına izin verir. Sentinel-1 uydusu, 5 m'ye kadar uzaysal çözünürlüğe ve 400 km'ye kadar bir alana sahiptir. Uydular, Güneş ile eş zamanlı, kutuplara yakın (98.18°) bir yörüngede dönerler. Yörüngenin 12 günlük bir tekrar döngüsü vardır ve döngü başına 175 yörüngeyi tamamlar. İlk uydu Sentinel-1A, 3 Nisan 2014'te ve Sentinel-1B, 25 Nisan 2016'da fırlatıldı. Sentinel-1, ERS ve Envisat görevlerinden gelen verilerin sürekliliğini, tekrar ziyaret, kapsam, hizmetin güncelliği ve güvenilirliği açısından daha fazla iyileştirme sağlayacaktır (Url-3). Birçok bilimsel uygulamasının yanı sıra Sentinel-1A ve Sentinel-1B tarafından toplanan veriler halka ücretsiz olarak sunulmaktadır. Bu, araştırmacıların, işletmelerin verilere erişebileceği ve afet müdahalesinden ticari uygulamalara kadar çeşitli amaçlar için kullanabileceği anlamına gelir. Genel olarak, Sentinel-1A ve Sentinel-1B uyduları, Dünya gözlemi için oldukça önemli araçlardır ve bilimsel ve ticari kullanım için zengin bir veri sağlar.

SAR cihazlarıyla, hava koşullarından bağımsız olarak Dünya yüzeyinin yüksek çözünürlüklü görüntüsünü sağlayabilirler, bu da onları doğal kaynakları izlemek ve dünya yüzeyindeki değişiklikleri izlemek için elverişli hale getirir.

Bu tez kapsamında 2020 Ocak ayından 2021 Aralık ayına kadar alçalan ve yükselen yörünge görüntülerden hem Sentinel-1A hem Sentinel-1B görüntüler elde edilmiştir. Sentinel-1A ve Sentinel-1B görüntüleri birlikte kullanılarak zaman aralığı 12 günden 6 güne düşürülmüştür. Sentinel-1A ve Sentinel-1B yükselen ve alçalan uydu görüntüleri birlikte StaMPS PSI yöntemi benimsenerek değerlendirilmiştir. Analizlerde Sentinel Uygulama Platformu (SNAP) ve StaMPS yazılımı kullanılmıştır. SNAP yazılımı Brockmann Consult, Skywatch, Sensar ve CS tarafından geliştirilmiştir (URL-4). ESA SNAP, Avrupa Uzay Ajansı'nın Sentinel uydularından gelen Dünya gözlem verilerini işlemek ve analiz etmek için tasarlanmış açık kaynaklı bir yazılım aracıdır. Yazılım ücretsiz olarak herkese açıktır. Bilim insanları, araştırmacılar ve uzaktan algılama, çevresel izleme ve doğal kaynak yönetimi alanlarındaki çalışmalar tarafından kullanılabilir. Sentinel-1 görüntüsü Esa-SNAP programında çalışma alanı kırpılırken görüntü üç parçaya ayrılmaktadır. Bu bölümler IW1, IW2 ve IW3'tür. Bu her bölümde kendi içinde dokuz parçaya ayrılmaktadır. Çalışma alanının mevsimsel yüzey deformasyonunu SAR görüntülerinden belirlemek için Sentinel-1A ve Sentinel-1B yükselen uydu görüntüsünde 04.01.2020 tarihi ile 30.11.2021 tarihleri arasında 131 iz numaralı çerçevede 116 görüntü edinilmiştir. Çizelge 3.1 PSI tekniğinde kullanılan birincil olarak seçilmiş görüntü referans alınarak, diğer görüntüler ile arasındaki dik baz uzunluğu (Bperp) ve zamansal baz uzunluğu (Btemp) ifade edilmektedir.

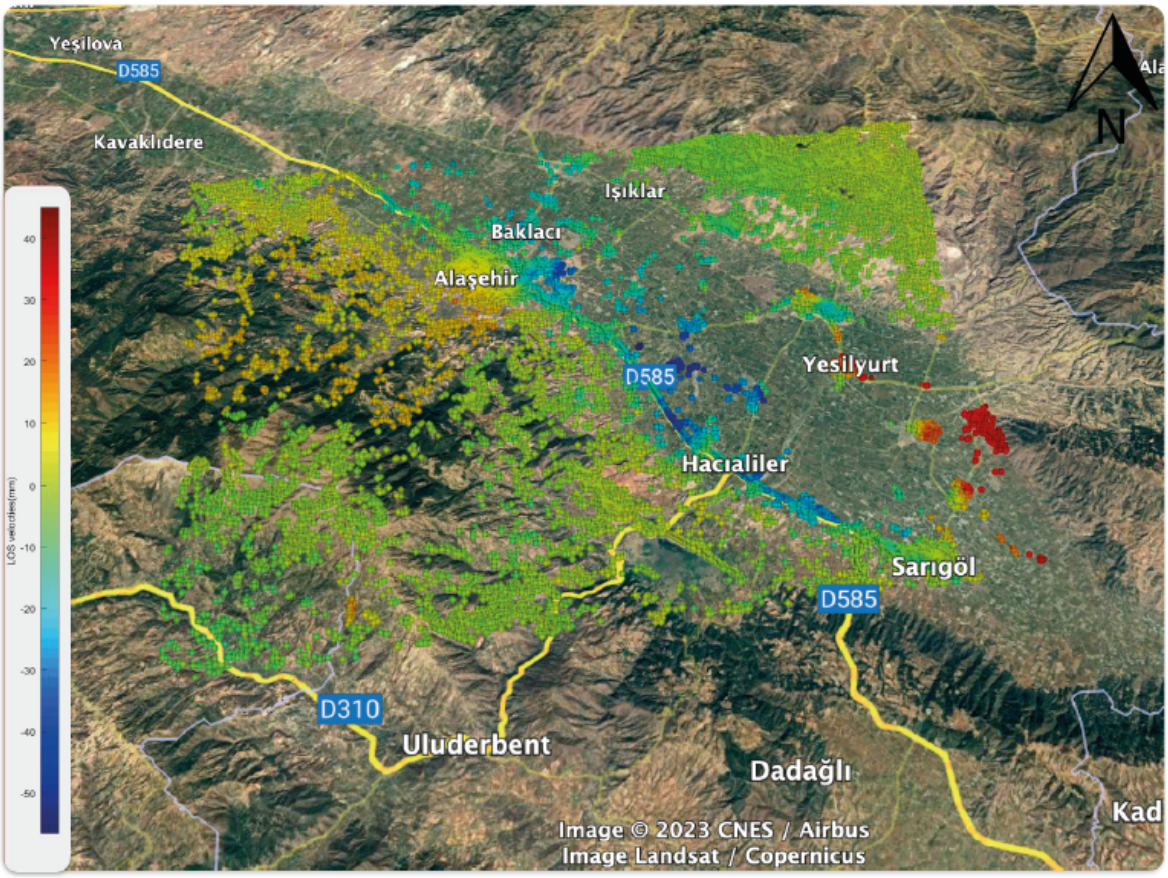
Çizelge 3.1 PSI uygulaması için kullanılan Sentinel-1A ve Sentinel-1B 131 iz numaralı yükselen yörünge görüntülerine ait bilgiler (*:master görüntü)

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Bperp(m)	Btemp (gün)
1	S1A	04.01.2020	VV	2	-348
2	S1B	10.01.2020	VV	-158	-342
3	S1A	16.01.2020	VV	11	-336
4	S1B	22.01.2020	VV	-106	-330
5	S1A	28.01.2020	VV	-49	-324
6	S1B	03.02.2020	VV	-17	-318
7	S1A	09.02.2020	VV	-153	-312
8	S1B	15.02.2020	VV	31	-306
9	S1A	21.02.2020	VV	-51	-300
10	S1B	27.02.2020	VV	-109	-294

11	S1A	04.03.2020	VV	-41	-288
12	S1B	10.03.2020	VV	-129	-282
13	S1A	16.03.2020	VV	18	-276
14	S1B	22.03.2020	VV	-93	-270
15	S1A	28.03.2020	VV	-55	-264
16	S1B	03.04.2020	VV	2	-258
17	S1A	09.04.2020	VV	-122	-252
18	S1B	15.04.2020	VV	13	-246
19	S1A	21.04.2020	VV	-133	-240
20	S1B	27.04.2020	VV	-7	-234
21	S1A	03.05.2020	VV	-47	-228
22	S1B	09.05.2020	VV	-78	-222
23	S1A	15.05.2020	VV	6	-216
24	S1B	21.05.2020	VV	-129	-210
25	S1A	27.05.2020	VV	-39	-204
26	S1B	02.06.2020	VV	13	-198
27	S1A	08.06.2020	VV	-126	-192
28	S1B	14.06.2020	VV	-37	-186
29	S1A	20.06.2020	VV	-73	-180
30	S1B	26.06.2020	VV	10	-174
31	S1A	02.07.2020	VV	-97	-168
32	S1B	08.07.2020	VV	-100	-162
33	S1A	14.07.2020	VV	9	-156
34	S1B	20.07.2020	VV	-184	-150
35	S1A	26.07.2020	VV	-23	-144
36	S1B	01.08.2020	VV	-47	-138
37	S1A	07.08.2020	VV	-164	-132
38	S1B	13.08.2020	VV	104	-126
39	S1A	19.08.2020	VV	-221	-120
40	S1B	25.08.2020	VV	48	-114
41	S1A	31.08.2020	VV	-72	-108
42	S1B	06.09.2020	VV	-117	-102
43	S1A	12.09.2020	VV	69	-96
44	S1B	18.09.2020	VV	-217	-90
45	S1A	24.09.2020	VV	103	-84
46	S1B	30.09.2020	VV	-203	-78
47	S1A	06.10.2020	VV	-35	-72
48	S1B	12.10.2020	VV	7	-66
49	S1A	18.10.2020	VV	-97	-60
50	S1B	24.10.2020	VV	-6	-54
51	S1A	30.10.2020	VV	-144	-48
52	S1B	05.11.2020	VV	-5	-42
53	S1A	11.11.2020	VV	-111	-36
54	S1B	17.11.2020	VV	-42	-30
55	S1A	23.11.2020	VV	12	-24
56	S1B	29.11.2020	VV	-155	-18

57	S1A	05.12.2020	VV	19	-12
58	S1B	11.12.2020	VV	-127	-6
59*	S1A*	17.12.2020*	VV	0	0
60	S1B	23.12.2020	VV	-36	6
61	S1A	29.12.2020	VV	-134	12
62	S1B	04.01.2021	VV	31	18
63	S1A	10.01.2021	VV	-152	24
64	S1B	16.01.2021	VV	11	30
65	S1A	22.01.2021	VV	-75	36
66	S1B	28.01.2021	VV	-131	42
67	S1A	03.02.2021	VV	8	48
68	S1B	09.02.2021	VV	-103	54
69	S1A	15.02.2021	VV	-61	60
70	S1B	21.02.2021	VV	-28	66
71	S1A	27.02.2021	VV	-77	72
72	S1B	05.03.2021	VV	-28	78
73	S1A	11.03.2021	VV	-51	84
74	S1B	17.03.2021	VV	-82	90
75	S1A	23.03.2021	VV	-23	96
76	S1B	29.03.2021	VV	-113	102
77	S1A	04.04.2021	VV	-35	108
78	S1B	10.04.2021	VV	-63	114
79	S1A	16.04.2021	VV	-75	120
80	S1B	22.04.2021	VV	96	126
81	S1A	28.04.2021	VV	-142	132
82	S1B	04.05.2021	VV	-74	138
83	S1A	10.05.2021	VV	-110	144
84	S1B	16.05.2021	VV	-41	150
85	S1A	22.05.2021	VV	-2	156
86	S1B	28.05.2021	VV	-125	162
87	S1A	03.06.2021	VV	-47	168
88	S1B	09.06.2021	VV	-97	174
89	S1A	15.06.2021	VV	-31	180
90	S1B	21.06.2021	VV	20	186
91	S1A	27.06.2021	VV	-56	192
92	S1A	09.07.2021	VV	-141	204
93	S1B	15.07.2021	VV	-25	210
94	S1A	21.07.2021	VV	-64	216
95	S1B	27.07.2021	VV	-72	222
96	S1A	02.08.2021	VV	19	228
97	S1B	08.08.2021	VV	-106	234
98	S1A	14.08.2021	VV	-38	240
99	S1B	20.08.2021	VV	-125	246
100	S1A	26.08.2021	VV	-96	252
101	S1B	01.09.2021	VV	10	258
102	S1A	07.09.2021	VV	-123	264

103	S1B	13.09.2021	VV	35	270
104	S1A	19.09.2021	VV	-122	276
105	S1B	25.09.2021	VV	-105	282
106	S1A	01.10.2021	VV	72	288
107	S1B	07.10.2021	VV	-204	294
108	S1A	13.10.2021	VV	11	300
109	S1B	19.10.2021	VV	-124	306
110	S1A	25.10.2021	VV	-40	312
111	S1B	31.10.2021	VV	-4	318
112	S1A	06.11.2021	VV	-158	324
113	S1B	12.11.2021	VV	39	330
114	S1A	18.11.2021	VV	-139	336
115	S1B	24.11.2021	VV	20	342
116	S1A	30.11.2021	VV	-124	348



Şekil 3.5 116 tane 131 iz numaralı yükselen yörünge görüntülerin StaMPS adımından sonra üretilen PS noktaların Google-Earth'teki kml görüntüsü

Sentinel-1A ve Sentinel-1B alçalan uydu görüntüsünde 138 iz numaralı Alçalan uydu görüntüsü için 114 tane Sentinel-1A ve Sentinel-1B görüntüsü kullanılmıştır. 05.01.2020 ile 25.11.2021 tarihleri arasındaki görüntüler edinilmiştir. Çizelge 3.2 PSI tekniğinde kullanılan birincil olarak seçilmiş görüntü referans alınarak, diğer görüntüler ile arasındaki dik baz uzunluğu (Bperp) ve zamansal baz uzunluğu (Btemp) ifade edilerek aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

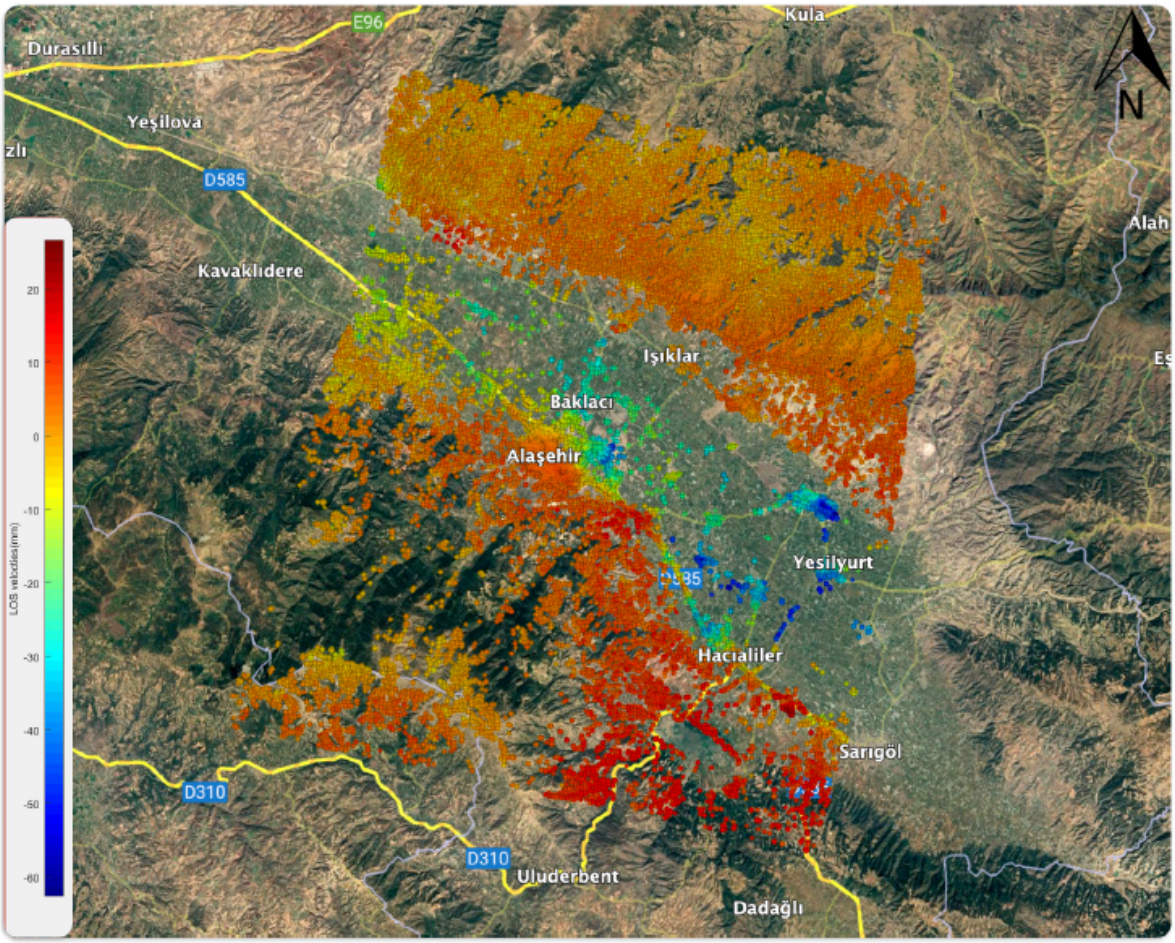
Çizelge 3.2 PSI uygulaması için kullanılan Sentinel-1A ve Sentinel-1B 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntülerine ait bilgiler (*:master görüntü)

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Bperp(m)	Btemp (gün)
1	S1A	05.01.2020	VV	58	-342
2	S1B	11.01.2020	VV	-192	-336
3	S1A	17.01.2020	VV	42	-330
4	S1B	23.01.2020	VV	-123	-324
5	S1A	29.01.2020	VV	-44	-318
6	S1B	04.02.2020	VV	33	-312
7	S1A	10.02.2020	VV	-188	-306
8	S1B	16.02.2020	VV	19	-300
9	S1A	22.02.2020	VV	-160	-294
10	S1B	28.02.2020	VV	-10	-288
11	S1A	05.03.2020	VV	29	-282
12	S1B	11.03.2020	VV	-147	-276
13	S1A	17.03.2020	VV	34	-270
14	S1B	23.03.2020	VV	-130	-264
15	S1A	29.03.2020	VV	-30	-258
16	S1B	04.04.2020	VV	-132	-252
17	S1B	16.04.2020	VV	43	-240
18	S1A	22.04.2020	VV	-174	-234
19	S1B	28.04.2020	VV	-30	-228
20	S1A	04.05.2020	VV	-89	-222
21	S1B	10.05.2020	VV	-84	-216
22	S1A	16.05.2020	VV	-36	-210

23	S1B	22.05.2020	VV	-105	-204
24	S1A	28.05.2020	VV	47	-198
25	S1B	03.06.2020	VV	-128	-192
26	S1A	09.06.2020	VV	-34	-186
27	S1B	15.06.2020	VV	-3	-180
28	S1A	21.06.2020	VV	-177	-174
29	S1B	27.06.2020	VV	-22	-168
30	S1A	03.07.2020	VV	-67	-162
31	S1B	09.07.2020	VV	-89	-156
32	S1A	15.07.2020	VV	-16	-150
33	S1B	21.07.2020	VV	-32	-144
34	S1A	27.07.2020	VV	-4	-138
35	S1B	02.08.2020	VV	-157	-132
36	S1A	08.08.2020	VV	-48	-126
37	S1B	14.08.2020	VV	-78	-120
38	S1A	20.08.2020	VV	-38	-114
39	S1B	26.08.2020	VV	-67	-108
40	S1A	01.09.2020	VV	-57	-102
41	S1B	07.09.2020	VV	-85	-96
42	S1A	13.09.2020	VV	-32	-90
43	S1B	19.09.2020	VV	-104	-84
44	S1A	25.09.2020	VV	-81	-78
45	S1B	01.10.2020	VV	-13	-72
46	S1A	07.10.2020	VV	-124	-66
47	S1B	13.10.2020	VV	-20	-60
48	S1A	19.10.2020	VV	-166	-54
49	S1B	25.10.2020	VV	65	-48
50	S1A	31.10.2020	VV	-83	-42
51	S1B	06.11.2020	VV	-107	-36
52	S1A	12.11.2020	VV	14	-30
53	S1B	18.11.2020	VV	-192	-24
54	S1A	24.11.2020	VV	69	-18
55	S1B	30.11.2020	VV	-102	-12

56	S1A	06.12.2020	VV	-79	-6
57*	S1B*	12.12.2020*	VV	0	0
58	S1A	18.12.2020	VV	-198	6
59	S1B	24.12.2020	VV	87	12
60	S1A	30.12.2020	VV	-179	18
61	S1B	05.01.2021	VV	-9	24
62	S1A	11.01.2021	VV	-53	30
63	S1B	17.01.2021	VV	-140	36
64	S1A	23.01.2021	VV	99	42
65	S1B	29.01.2021	VV	-200	48
66	S1A	04.02.2021	VV	72	54
67	S1B	10.02.2021	VV	-153	60
68	S1A	16.02.2021	VV	-90	66
69	S1B	22.02.2021	VV	27	72
70	S1A	28.02.2021	VV	-201	78
71	S1B	06.03.2021	VV	84	84
72	S1A	12.03.2021	VV	-191	90
73	S1B	18.03.2021	VV	-7	96
74	S1A	24.03.2021	VV	3	102
75	S1B	30.03.2021	VV	-144	108
76	S1A	05.04.2021	VV	18	114
77	S1B	11.04.2021	VV	-148	120
78	S1A	17.04.2021	VV	10	126
79	S1B	23.04.2021	VV	-121	132
80	S1A	29.04.2021	VV	-31	138
81	S1B	05.05.2021	VV	14	144
82	S1A	11.05.2021	VV	-102	150
83	S1B	17.05.2021	VV	-87	156
84	S1A	23.05.2021	VV	-56	162
85	S1B	29.05.2021	VV	-141	168
86	S1A	04.06.2021	VV	71	174
87	S1B	10.06.2021	VV	-122	180
88	S1A	16.06.2021	VV	-4	186

89	S1B	22.06.2021	VV	-137	192
90	S1A	28.06.2021	VV	-1	198
91	S1A	10.07.2021	VV	-135	210
92	S1B	16.07.2021	VV	-38	216
93	S1A	22.07.2021	VV	-115	222
94	S1B	28.07.2021	VV	-8	228
95	S1A	03.08.2021	VV	-50	234
96	S1B	09.08.2021	VV	-90	240
97	S1A	15.08.2021	VV	-2	246
98	S1B	21.08.2021	VV	-106	252
99	S1A	27.08.2021	VV	-108	258
100	S1B	02.09.2021	VV	-31	264
101	S1A	08.09.2021	VV	-90	270
102	S1B	14.09.2021	VV	-37	276
103	S1A	20.09.2021	VV	-51	282
104	S1B	26.09.2021	VV	-64	288
105	S1A	02.10.2021	VV	-72	294
106	S1B	08.10.2021	VV	-102	300
107	S1A	14.10.2021	VV	45	306
108	S1B	20.10.2021	VV	-95	312
109	S1A	26.10.2021	VV	-82	318
110	S1B	01.11.2021	VV	-60	324
111	S1A	07.11.2021	VV	-100	330
112	S1B	13.11.2021	VV	39	336
113	S1A	19.11.2021	VV	-94	342
114	S1B	25.11.2021	VV	-92	348



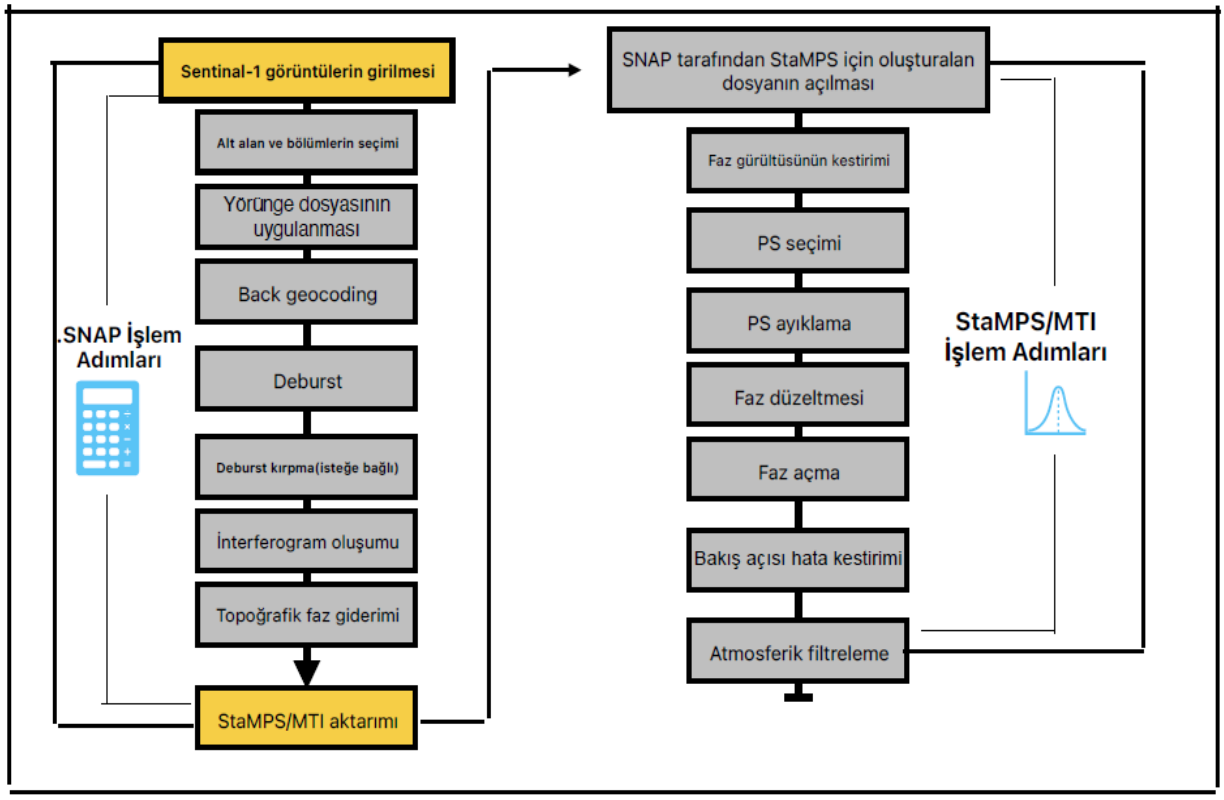
Şekil 3.6 114 tane 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntülerin StaMPS adımından sonra üretilen PS noktaların Google-Earth'teki kml çıktısı

3.4 Gediz Grabeni Doğu kesimi için PSI Sonuçları

Tez çalışması kapsamında Avrupa Uzay Ajansı'ndan (ESA) IW modundaki Sentinel S1A ve Sentinel S1B edinilmiştir. Verilerin hepsi, StaMPS PSI yöntemi benimsenerek analiz edilmiştir. İlk aşamada SNAP yazılımı ile görüntülerin bölünmesi, uyduların yörüngelerinin düzeltilmesi, master ve slave görüntülerin eşleştirilmesi, birleştirilmesi, her bir görüntü çiftinden interferogramların elde edilmesi ve interferogramlardan topografik faz çıkarılması adımları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sonuçlar StaMPS yazılımına uygun bir formatta dışa aktarılmıştır. İkinci aşamada Hooper ve arkadaşları tarafından geliştirilen StaMPS yazılımı kullanılmıştır. PS noktalarının LOS yönündeki hızlarını elde etmek için kullanılan (Hastaoğlu vd., 2023). StaMPS, (Stanford Method for Persistent Scatterers), Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görüntülerini analiz etmek için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır. StaMPS zaman içindeki zemin deformasyonunun ölçülmesine izin veren interferometrik SAR verilerini

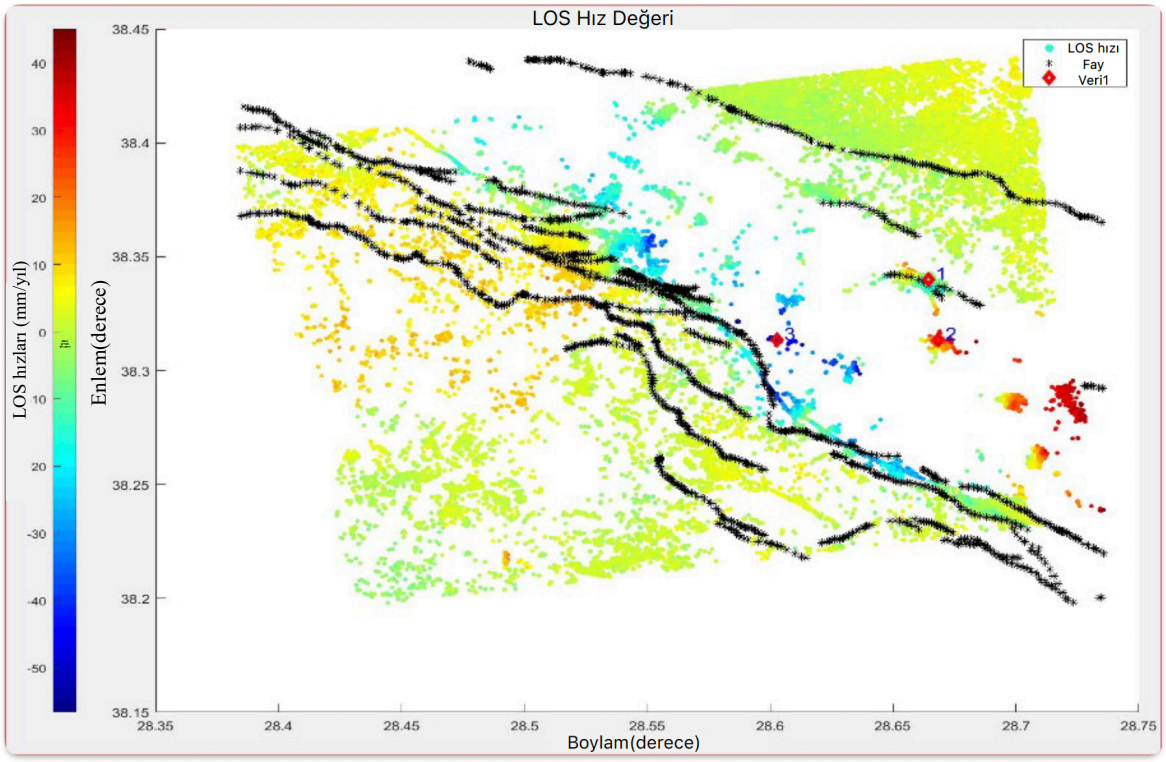
işlemek için kullanılır. Bu özelliği ile heyelanların, çökmelerin ve diğer zemin deformasyon türlerinin izlenmesinde kullanılır. StaMPS, akademik kullanım ve her türlü araştırma ve bulgular elde etmede ücretsiz olarak kullanıma sunulan açık kodlu bir yazılımdır. SAR görüntülerinden zemin deformasyon sinyallerini belirlemek ve çıkarmak için kalıcı saçılma tekniğini kullanır. Kalıcı saçılma tekniği, zemin deformasyonunu doğru bir şekilde ölçmek için kullanılabilen, zaman içinde sabit kalan tutarlı radar hedeflerinin tanımlanmasına dayanır.

Sentinel-1 görüntülerini işlemek için kullanılan SNAP ve StaMPS yazılımlarında uygulanan iş adımları sırasıyla Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

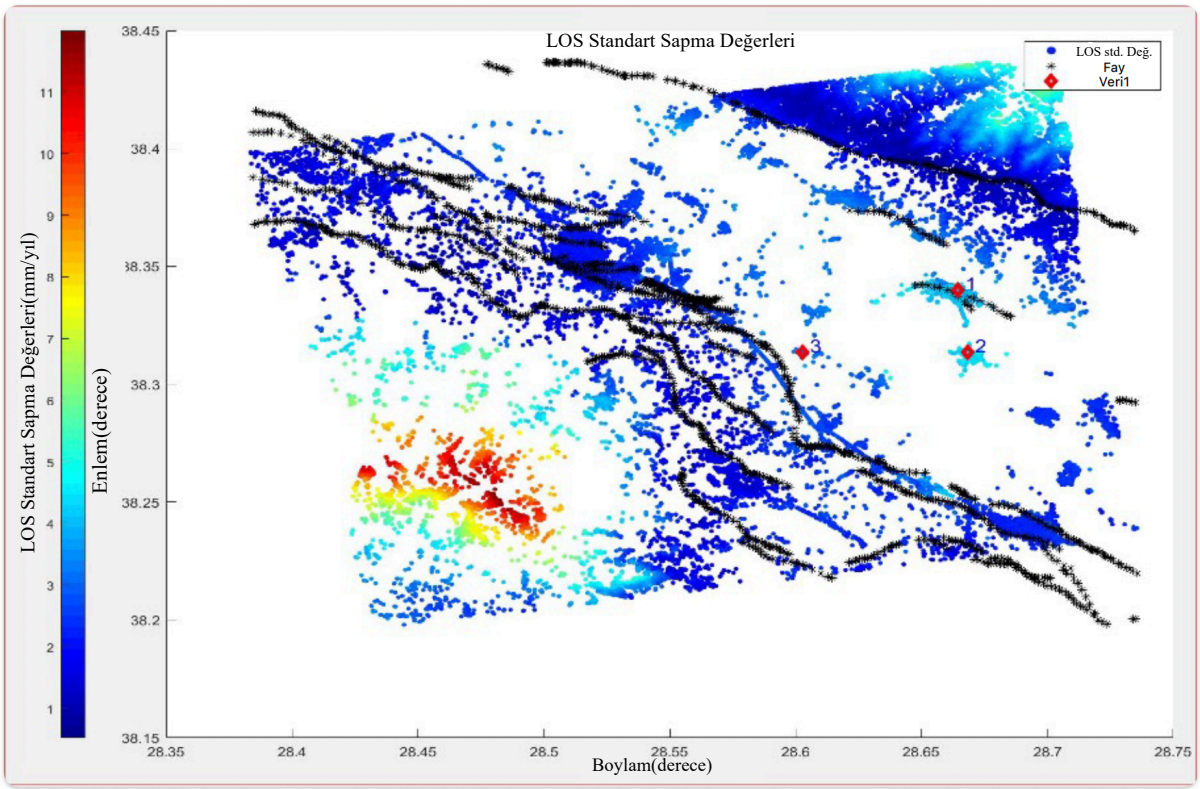


Şekil 3.7 Sentinel-1 görüntülerinin PSI uygulaması için kullanılan iş diyaframı (Poyraz vd., 2020)

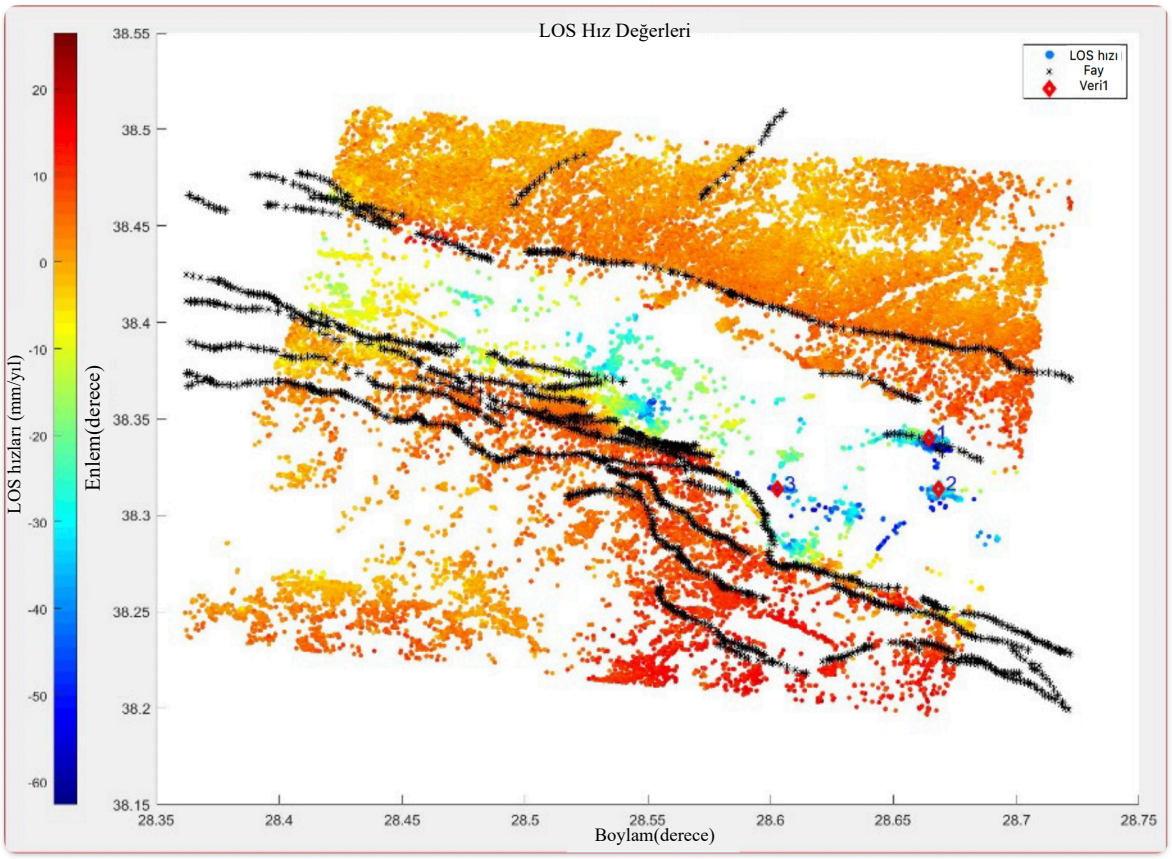
İki yıllık alçalan ve yükselen yörünge görüntülerinden elde edilen LOS yönlü hız değerleri ve standart sapmaları aşağıdaki şekillerde gösterilip yorumlanmıştır.



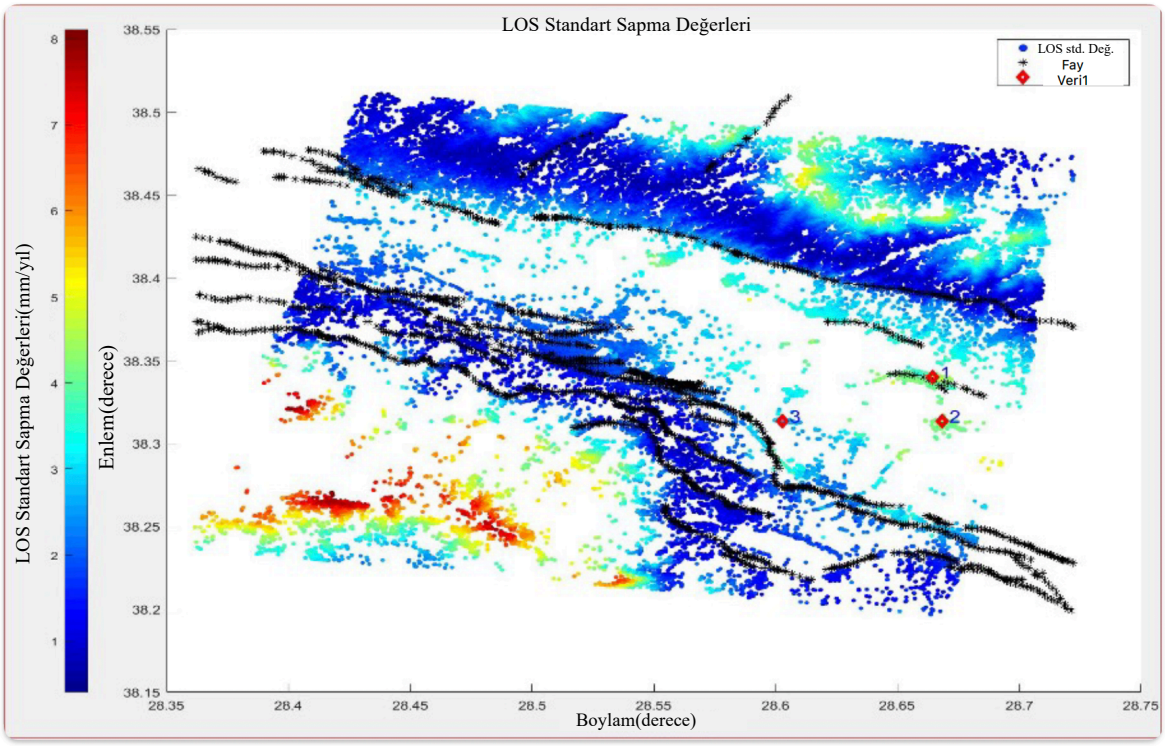
Şekil 3.8 Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen yörünge LOS yönünde hız değerleri



Şekil 3.9 Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen yörünge LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri



Şekil 3.10 Sentinel S1A/B 138 iz numaralı alçalan yörünge LOS yönünde hız değerleri



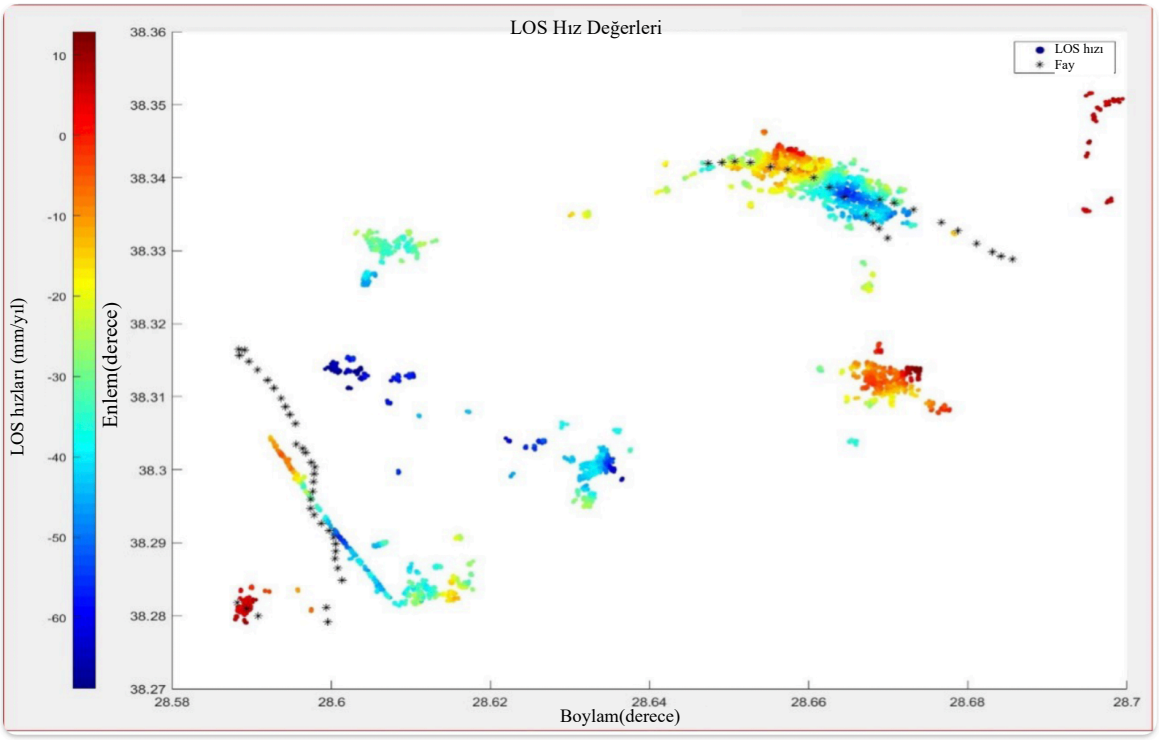
Şekil 3.11 Sentinel S1A/B 138 iz numaralı alçalan yörünge LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri

Şekil 3.8 ve Şekil 3.10'de yer alan yükselen ve alçalan yörüngeleri ait LOS yönündeki hızlar incelendiğinde Alaşehir ilçesine bağlı Yeşilyurt bölgesi ve çevresinde beklenilenin çok üzerinde hareket gözlemlenmiş bu durumun dikkat çekici olduğuna ve bundan sonraki süreçte bu bölgede çalışma ve araştırma yapılmasına karar verilmiştir. Yeşilyurt bölgesi için daha lokal yani çalışma alanı daha da küçültülerek sadece Yeşilyurt ve çevresi seçilmiştir. Yeşilyurt ve çevresinde deformasyonun en çok olduğu bölgeye 3 tane nokta atılıp bu noktaların yükselen ve alçalan yörüngelerdeki zaman serisi grafiği çıkartıldıktan sonra alçalan ve yükselen yörüngeler için Decompase (Ayrıştırma) işlemi yapılmıştır. Decompase işlemi sonunda yatay ve düşey bileşenlerine ait hız değerleri hesaplanmıştır.

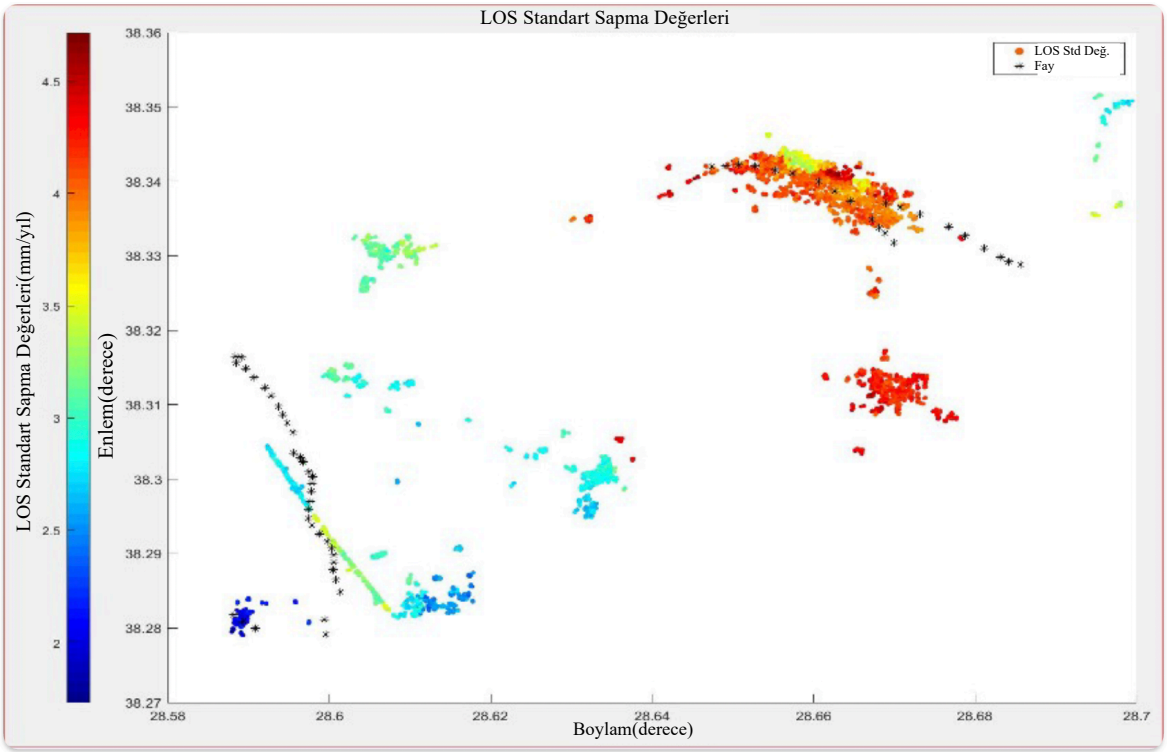
Sentinel 1 A/B alçalan ve yükselen uydulara ait verilerinin değerlendirilmesinden elde edilen LOS yönündeki yer değiştirme değerleri Doğu ve yükseklik bileşenlerine dönüştürülmüştür. Düşey ve yatay bileşenlerine ait hız değerleri hesaplanırken eşitlik [3.1]'den faydalanılmıştır (Hanssen, 2001; Hastaoğlu, 2023).

$$\begin{pmatrix} -\cos(\alpha_{ASC}) & \sin(\alpha_{ASC})\mathrm{X}\cos(\delta_{ASC}) \\ -\cos(\alpha_{DSC}) & \sin(\alpha_{DSC})\mathrm{X}\cos(\delta_{ASC}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{UP} \\ V_{EW} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{LOS,ASC} \\ V_{LOS,DSC} \end{pmatrix} \quad [3.1]$$

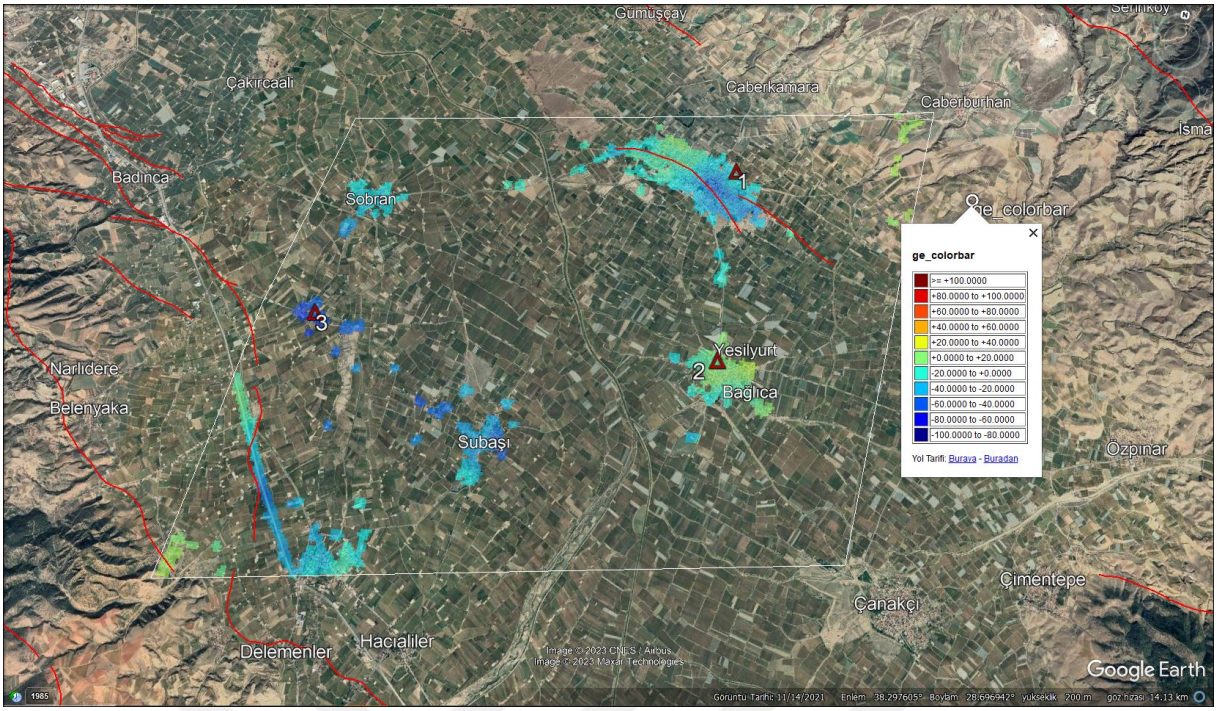
Eşitlik 5' de yükselen ve alçalan uydular için α_{ASC}, α_{DSC} yön (heading) açılarını, δ_{ASC}, $\cos(\delta_{ASC})$ ise geliş (incidence) açılarını göstermektedir. V_{UP} yükseklik bileşeni için hız, V_{EW} doğu bileşeni için hız, $V_{LOS,ASC}$ yükselen uydu LOS doğrultusunda hız, $V_{LOS,DSC}$ alçalan uydu LOS doğrultusunda hız değerlerini göstermektedir. SAR uydu yörüngelerinin Kuzey-Güney yönlü olması nedeniyle ve SAR uydularının sağ yanal bakışlı görüntü almasından kaynaklı SAR yöntemi ile Kuzey-Güney yönündeki yüzey hareketleri ancak gerçek deformasyon miktarının %10-15' i arasında belirlenebilmektedir. Bu yüzden birçok SAR çalışmasında kuzey yöndeki deformasyonlar sıfır kabul edilerek Eşitlik [3.1]' deki iki boyutlu dönüşüm matrisi kullanılmaktadır (Pawluszek and Borkowski, 2020; Hastaoğlu, 2023).



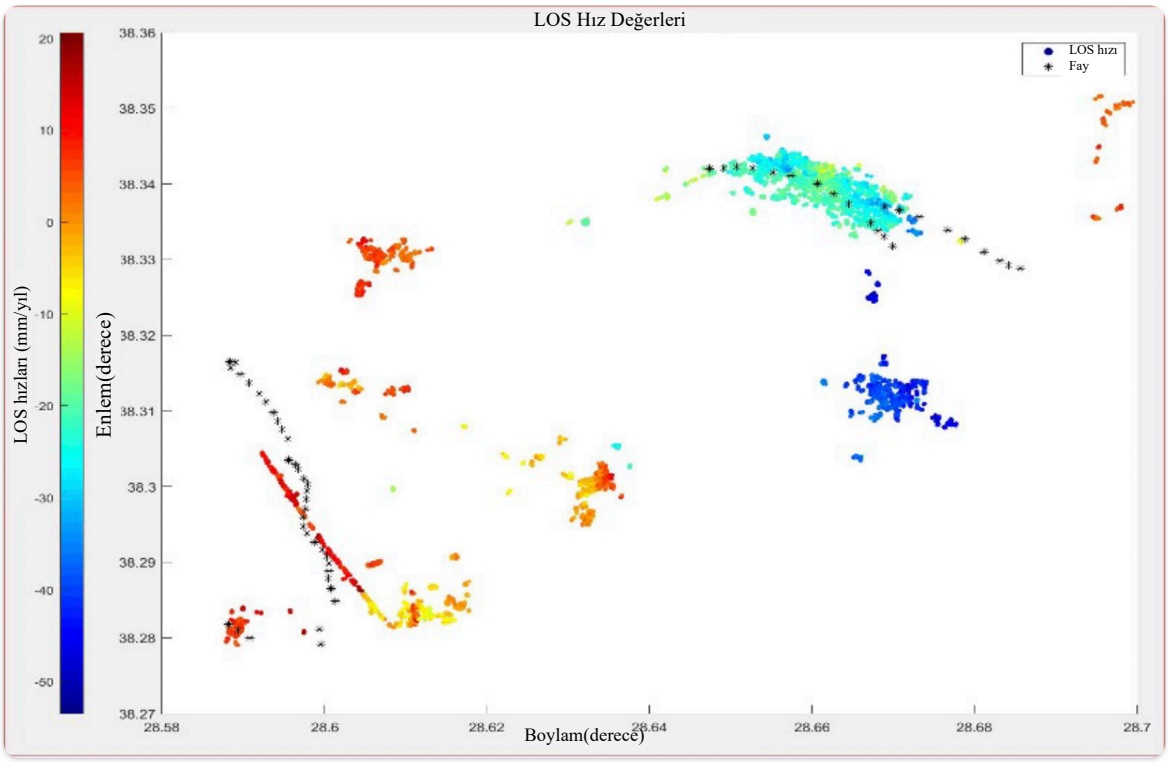
Şekil 3.12 Sentinel 1A/B 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara yörünge alçalan decompase işlemi sonucunda düşey bileşenine ait hız değerleri



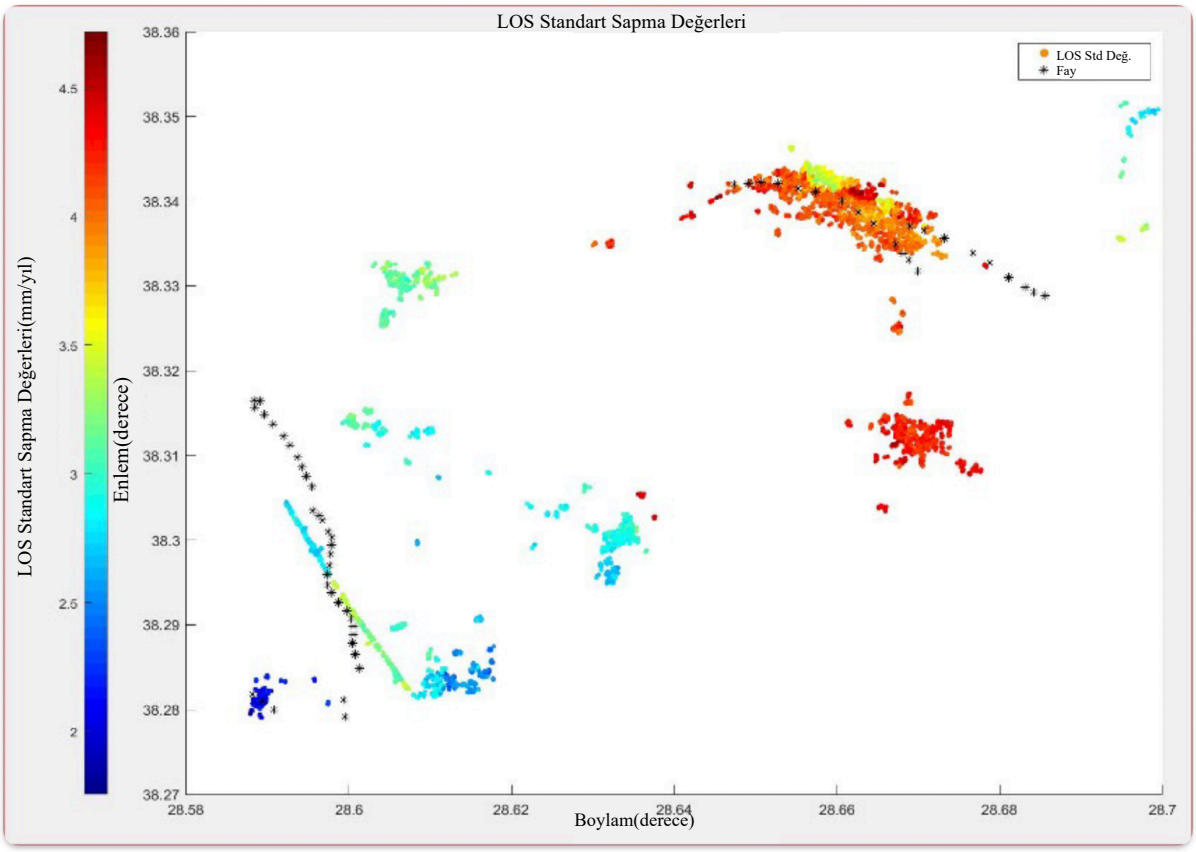
Şekil 3.13 Sentinel 1A/B 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara alçalan yörünge decompase işlemi sonucunda düşey bileşenine ait hız değerlerine ait standart sapma değerleri



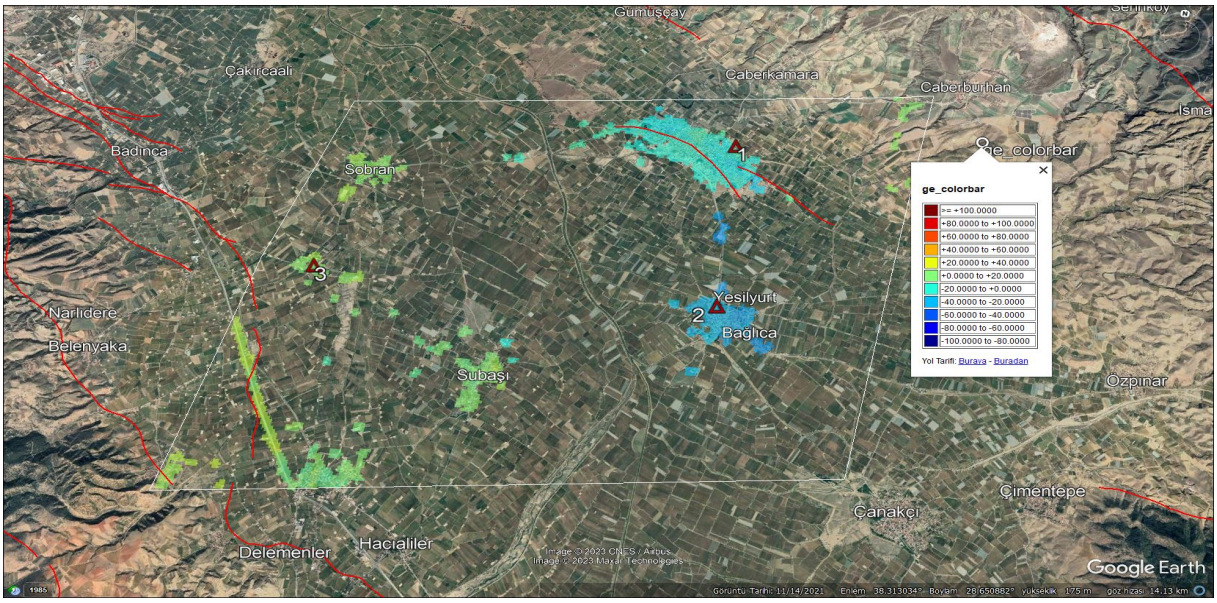
Şekil 3.14 Decompase sonucu kırpılan alanın düşey yönlü hızı ve 1,2 ve 3 numaralı noktaların Google-Earth gösterimi



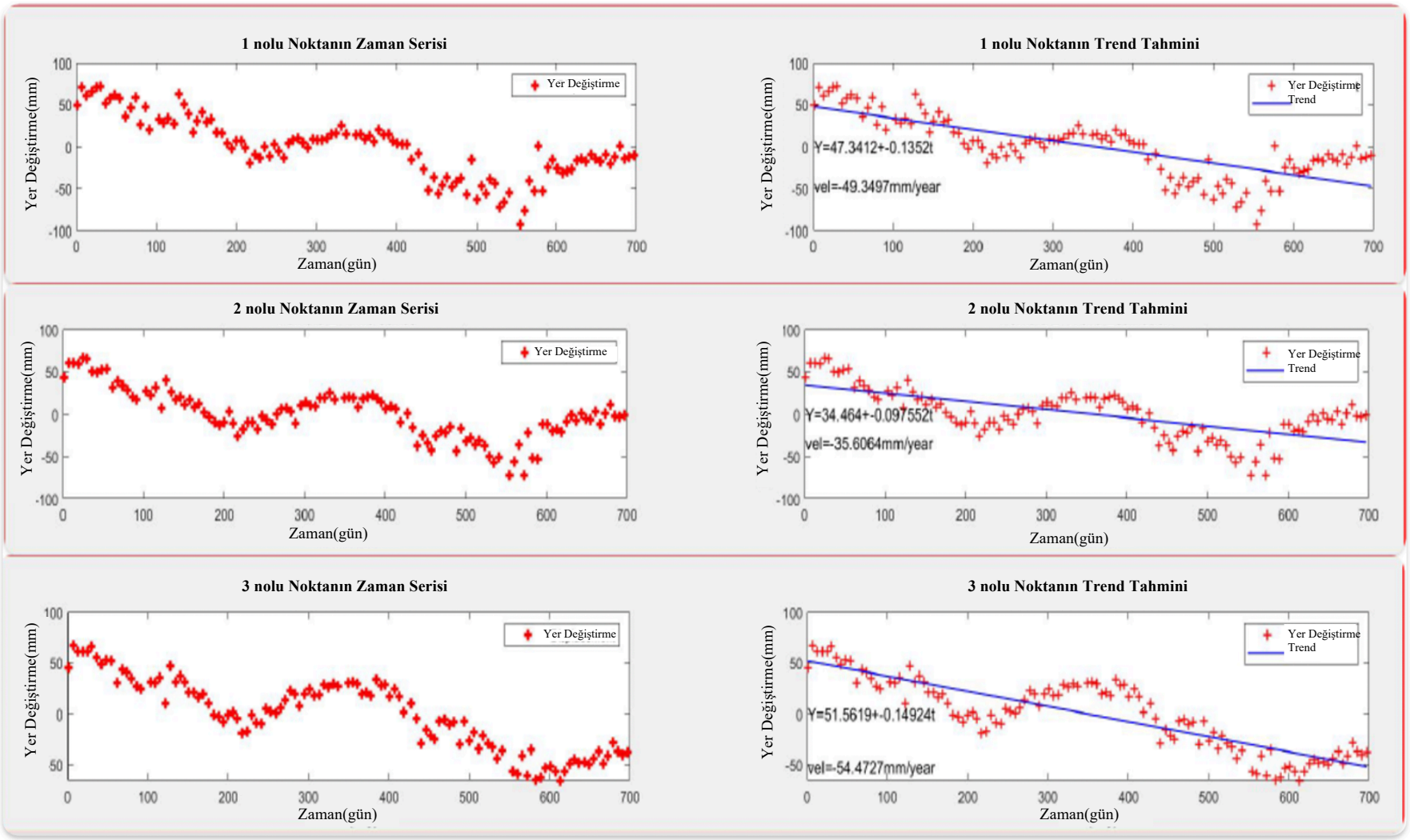
Şekil 3.15 Sentinel 1A/B yükselen 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara alçalan yörünge decompase işlemi sonucunda yatay bileşenine ait hız değerleri



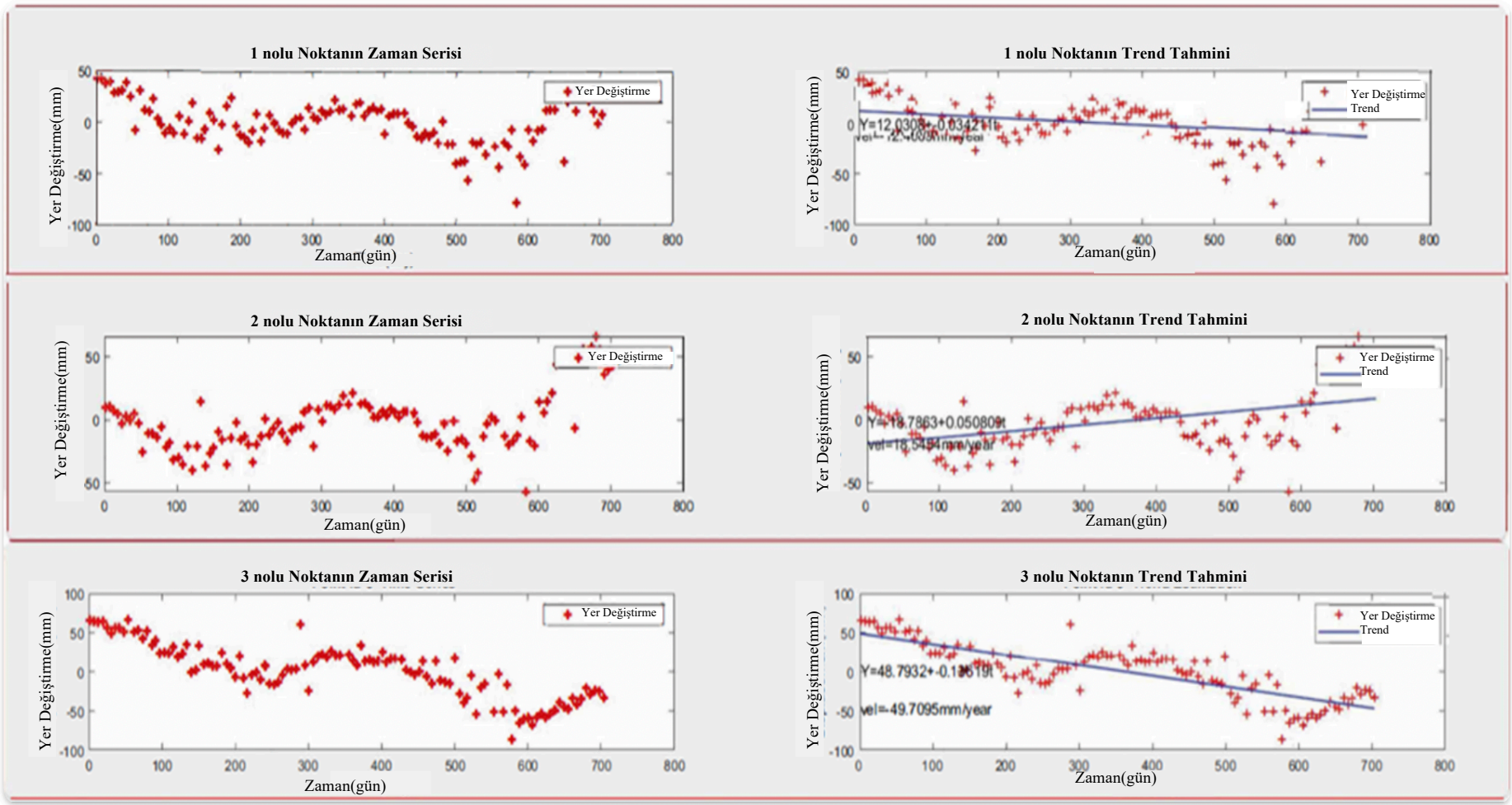
Şekil 3.16 Sentinel 1A/B 131 iz numara yükselen yörünge ve 138 iz numara alçalan yörüngenin decompase işlemi sonucunda yatay bileşenine ait hız değerlerine ait standart sapma değerleri



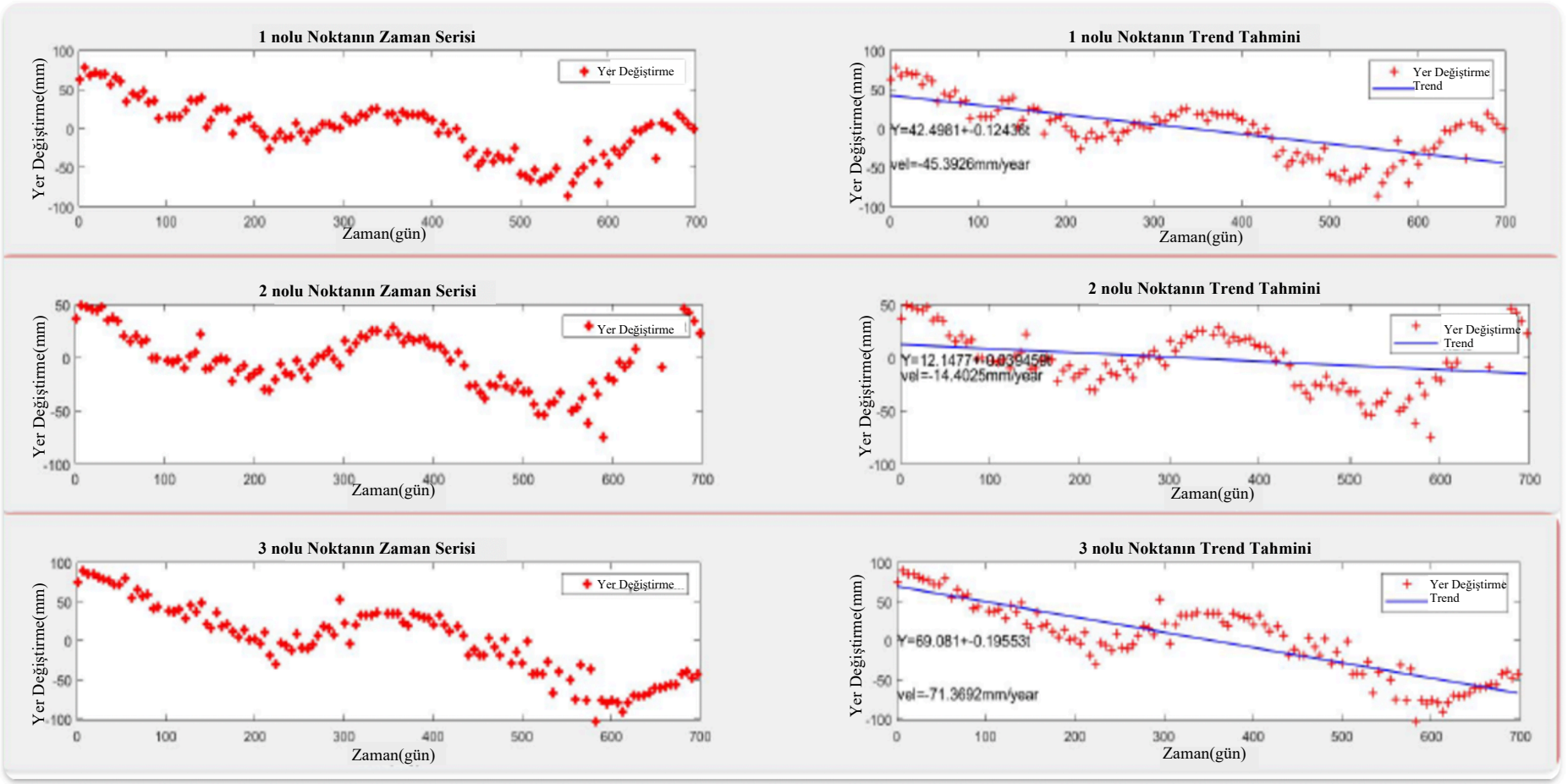
Şekil 3.17 Decompase sonucu kırpılan alanın yatay yönlü hızı ve 1,2 ve 3 numaralı noktaların Google-Earth gösterimi



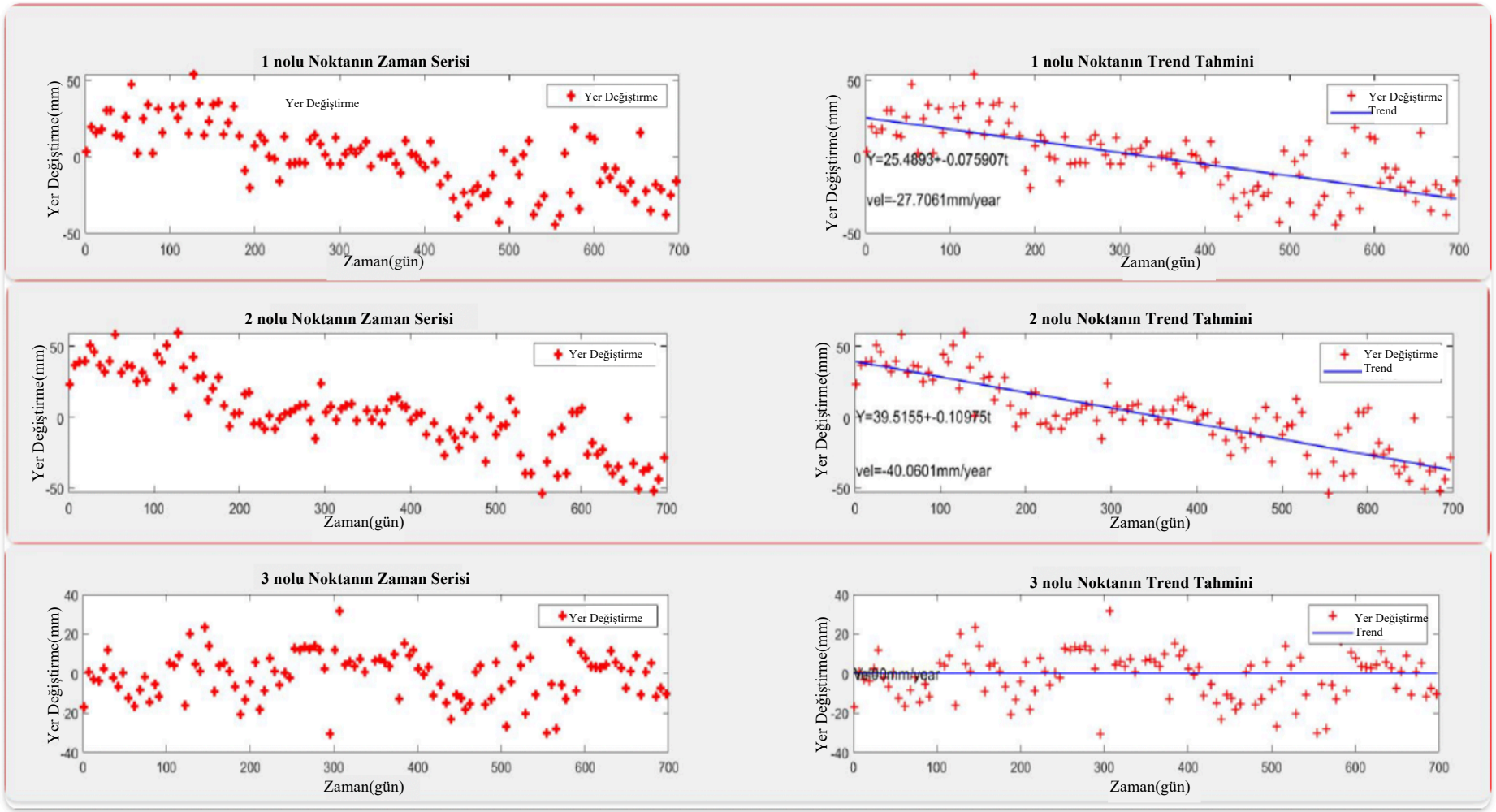
Şekil 3.18 Sentinel S1A/B 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 numaralı noktaların yaklaşık 2 yıllık zaman serisi grafiği



Şekil 3.19 Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 nolu noktaların yaklaşık 2 yıllık zaman serisi grafiği



Şekil 3.20 Sentinel S1A/B yaklaşık 2 yıllık (04.01.2020-01.12.2021) 131 iz numaralı yükselen yörünge ve 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 numaralı noktaların decompase yapıldıktan sonraki düşey hızlarının zaman grafiği



Şekil 3.21 Sentinel S1A/B yaklaşık 2 yıllık (04.01.2020-01.12.2021) 131 iz numaralı yükselen yörünge ve 138 iz numaralı alçalan yörünge görüntüsüne ait seçilen 1, 2 ve 3 numaralı noktaların decompase yapıldıktan sonraki yatay hızlarının zaman grafiği

İki yıllık (2020-2021) Sentinel-1 verilerinden decompase işlemi sonunda kırpılan alanda düşey yönlü hız bileşeni yıllık -60 mm ile 10 mm olurken yatay yönlü hız bileşeni yıllık -50 mm ile 20 mm arasında değişmektedir. Daha sonra seçilen 1,2 ve 3 numaralı noktaların genel karakteristik hareketi yükselen ve alçalan yörüngelerine ait zaman serisi incelendiğinde 0. gün ile yaklaşık 50. gün aralığında durağan hareket yaptığı ve bu aralığının ocak ve şubat yani kış mevsimine denk geldiği görülüyor. 50. günden itibaren noktalarda çökme eğilimin başlandığı ve 100. güne kadar devam ettiği yaklaşık 100. günden sonra kısa zaman aralıklarında hafif yükselmeler olduğu ve bunun sebebinin de mevsimsel bahar yağışlarla gelen yağmurun toprağı suyla dolmasıyla gelen yükselme olduğunu düşünülmektedir. Fakat genel eğilim bu aralıkta çökme yönündedir. Yaklaşık 150. günden itibaren seçilen noktalarda çökme hızının arttığı ve belirginleştiği yaklaşık 200. güne kadar devam ettiği görülmektedir. 150. gün ile 200. gün aralığının haziran ve temmuz aylarına denk gelmektedir. Yaz aylarında yeraltı suyu kullanımın ciddi oranda arttığı düşünülmektedir. Noktaların hareketinin 200. günden sonra yaklaşık 250. güne kadar durağan seyrettiği gözlemlenmektedir. 250. günden itibaren tekrardan yükseldiği ve bu yükselmenin 350. güne kadar devam ettiği yer yer durağanlaştığı da görülmektedir. 250 ile 350. günler arasında aralığın sonbahar ve kış mevsimlerine denk gelmektedir. Böylece bir yıllık periyot tamamlanmıştır. Yaklaşık 350. günden 400. güne kadar noktalarda durağan hareket fark edilmektedir ve bu zaman aralığı 2021 Ocak ve 2021 Şubat aylarına denk gelmektedir. 400. günden sonra çökmenin tekrardan başladığı izlenmektedir. Noktalarda genel çökme eğilimi yaklaşık 600. güne kadar devam ettiği gözlemlemektedir. 400 ile 600. gün aralığı bahar ve yaz aylarına gelmektedir. 600. günden 700. güne kadarsa noktalarda yükselme eğilime geçtiği rahatlıkla tespit edilmektir. Bu iki yıllık süreçte (2020-2021 yılları) genel trendin çökme eğiliminde olduğundadır. Mevsimlere bağlı kış aylarında yükselen nispeten durağan bahar ve yaz aylarında ise çökmenin hızlandığı sonbahara geçişte ise yükselmenin devam ettiği gözlenmesinin sebebi bölgede yoğun üzüm tarlalarının olması bilinçsiz yeraltı suyu kullanımın olduğu düşünülmektedir.

Şekil 3.12 ve Şekil 3.15'da görüldüğü üzere Sentinel S1A/B değerlendirme sonucunda 2 yıllık zaman aralığı seçildiği için uydu radar verilerinden çalışma alanında bilhassa tarımsal alanlarda yeteri düzeyde PS noktasına rastlanılmamıştır. PSI tekniğinin tek master görüntü kullanması ile interfarogramlar arasında bazların gerek zaman gerekse uzamsal olarak çok büyük fark içermesidir. Baz değerleri büyüdükçe interfarogramlar arası ilintisizlikler (Decorrelation) artmaktadır (Berardino vd, 2002; Hastaoğlu, 2023). PSI tekniğinde de baz mesafeleri ve zamansal farklılıklar azaldıkça PS sayısı artmakta ve deformasyon değerleri

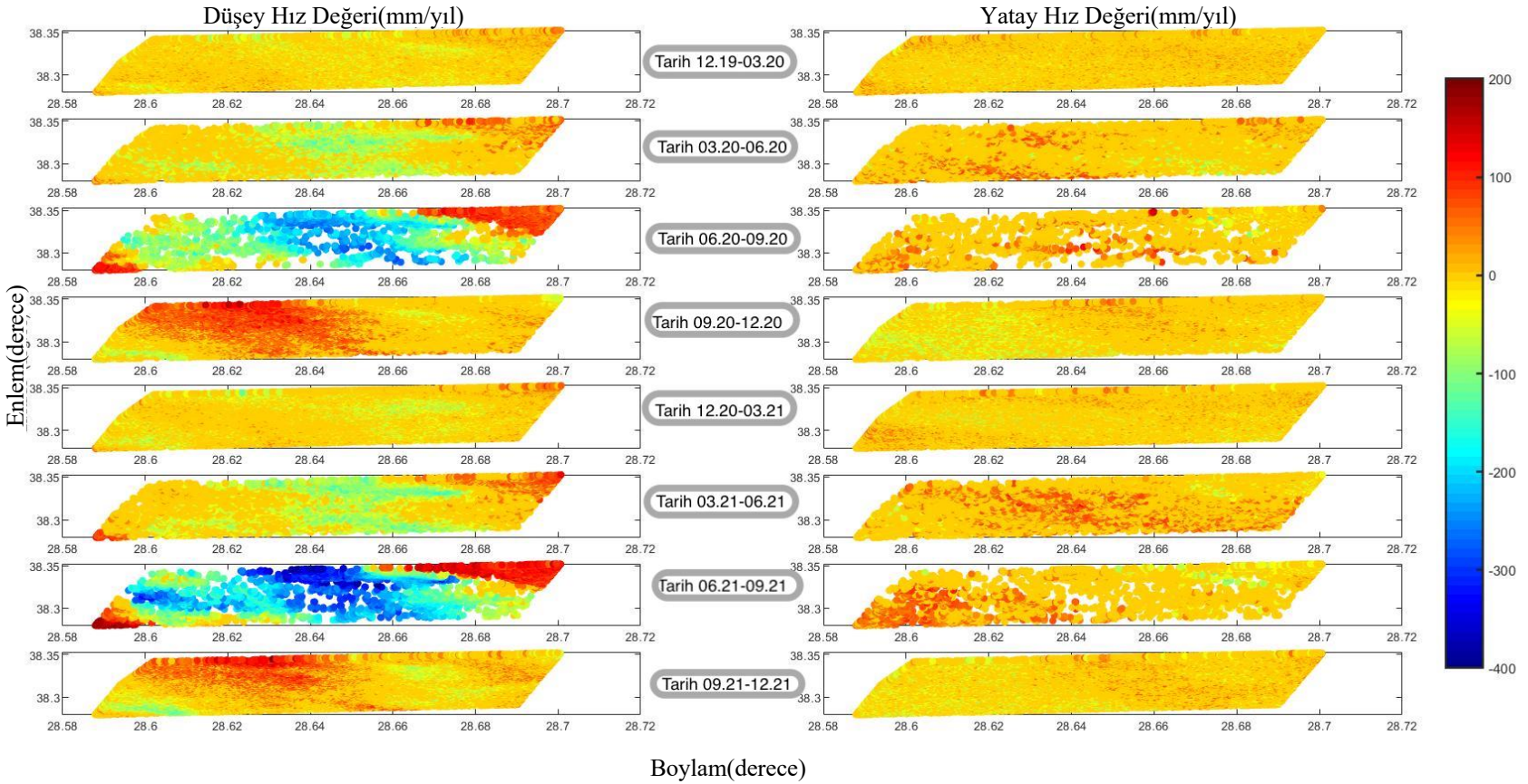
büyümektedir. Ayrıca belirtildiği üzere mevsimsel etkilere bağlı çökme ve yükselmeleri de daha detaylı analiz ederek mevsimsel etkiyi daha net ortaya çıkartmak için ve yeteri sayıda tarım alanlarında PS noktaları üretebilmek adına zaman aralığını 3'er aylık süreyle mevsimlere göre kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar olmak üzere yani bazlar arası zamansal farklılıkları azaltarak 1 yılı 4 periyota ayırarak toplam 2 yıllık süreci 8 periyotta olmak üzere ayrı ayrı yükselen ve alçalan yörünge görüntüleri işlemek ve tekrardan çalışma alanını değerlendirilmiştir. Aşağıda belirtilen periyotları Sentinel S1A/B uydu verilerini yükselen ve alçalan yörünge görüntüsünü kullanarak SNAP ve StaMPS yazılarımda her bir periyot ayrı ayrı değerlendirilerek yatay ve düşeydeki hızları hesaplanmıştır (Şekil 3.22).

Çizelge 3.3 Üçer aylık verilerin periyot sıralaması

1. periyot 01.12.2019-29.02.2020	5. periyot 01.12.2020-28.02.2021
2. periyot 01.03.2020-31.05.2020	6. periyot 01.03.2021-31.05.2021
3. periyot 01.06.2020-31.08.2020	7. periyot 01.06.2021-31.08.2021
4. periyot 01.09.2020-30.11.2020	8. periyot 01.09.2021-30.11.2021

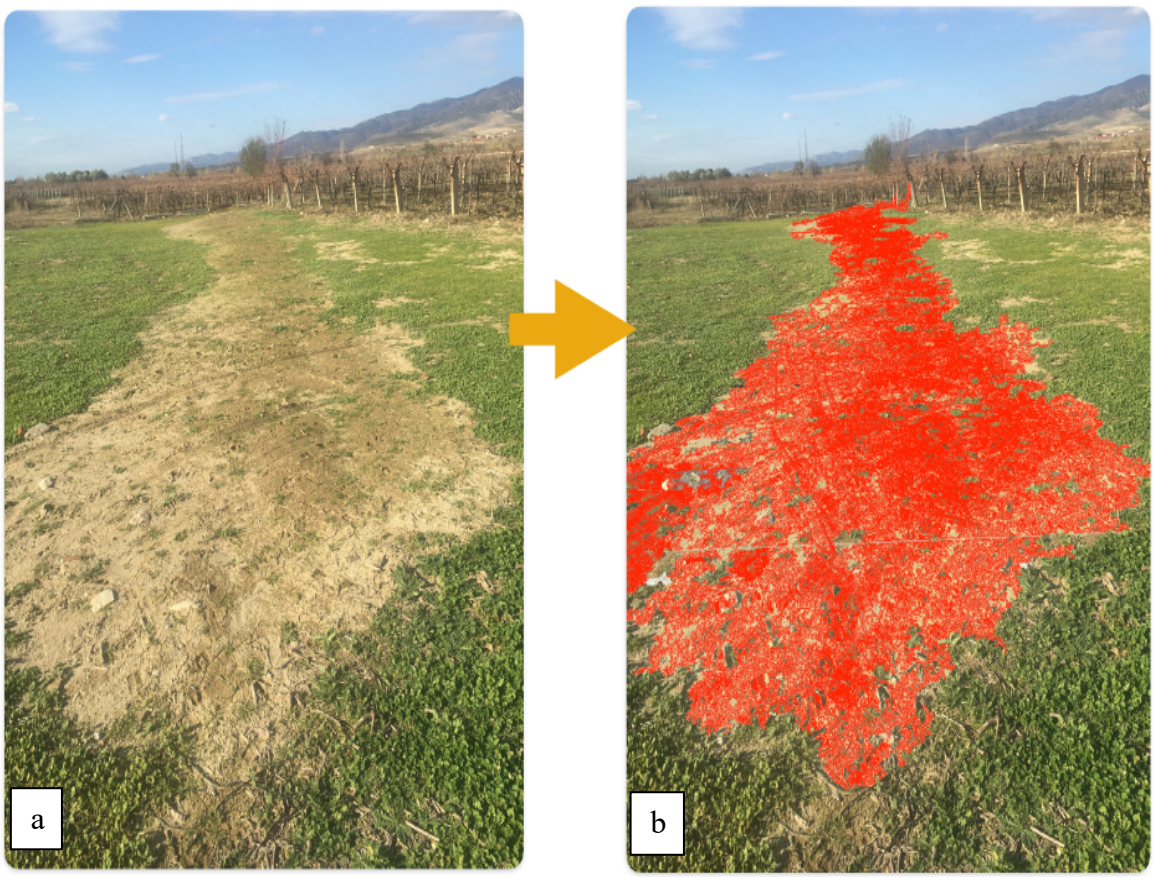
Periyotların yükselen ve alçalan yörünge görüntü sayısı edinilen görüntü tarihleri ve master(birincil) görüntüleri **EK**'de sunulmuştur.

.



Şekil 3.22 Sekiz periyoda ilişkin düşey ve yatay bileşenlere ait hız değerleri

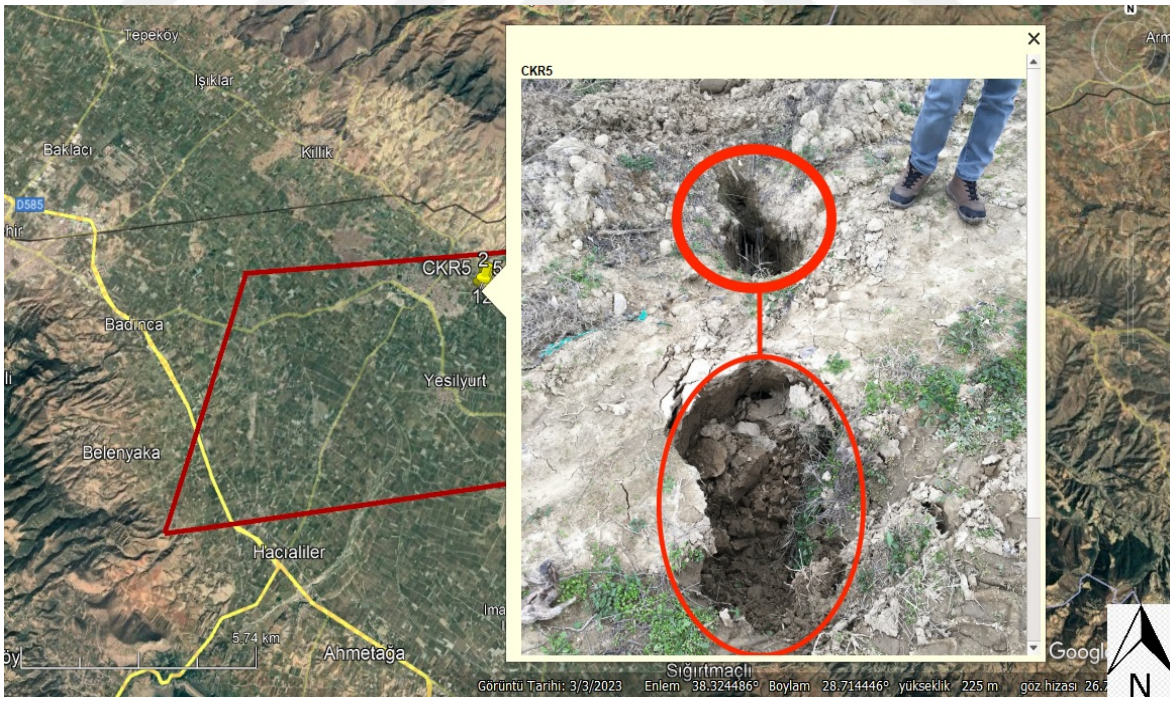
Şekil 3.22'de bakıldığında 1. periyot (01.12.2019-29.02.2020) kış mevsiminde düşey ve yatay hızlarda durağan hareket gözlemleniyor. İkinci periyota geçildiğinde (01.03.2020-31.05.2020) ilkbahar mevsiminde düşey bileşenine ait hızın çalışma alanının yaklaşık orta kısımlarda çökmeye başladığının eğilimin başladığı fark ediliyor. İkinci periyodun yatay bileşeninde ise alanın sağ tarafında doğuya doğru düşük hızda hareket tespit ediliyor. Üçüncü periyot (01.06.2020-31.08.2020) aralığı geldiğinde ise düşey hız bileşeninde alanın genelinde çökmenin çok bariz olduğu gözükmektedir. Dördüncü periyot (4. periyot 01.09.2020-30.11.2020) zaman diliminde yani sonbahar ayında düşey hız bilişeninde alanda üçüncü periyodun aksine alanda kabarma olduğu görülüyor. Dördüncü periyot yatay hız bileşeninde ise durağan hareket söz konusu. 5. periyoda gelinde (01.12.2020-28.02.2021) tekrardan kış mevsimine geçildiğinde düşeydeki ve yataydaki hız değerlerine ait bileşenler 1. periyottaki kış mevsiminde olan hareketle çok benzer hareketler gözlemlenmektedir. Benzer hareketler ilkbahar mevsimine denk gelen altıncı periyot ile ikinci periyot arasında da muvafakat getirilebilir. 2021 yılı yaz mevsimine denk gelen yedinci periyodun aynı üçüncü periyottaki 2020 yaz mevsiminde olduğu gibi alanın genelinde çökmenin en yoğunlaştığı en fark edilir seviyeye geldiği görülüyor. İki yıllık (2020-2021) Sentinel S1A/B verileri değerlendirilmesinde seçilen 1,2 ve 3 numaralı noktaların (Şekil 3.18, Şekil 3.19) mevsimlere göre hareketleri benzer üçer aylık mevsimlere göre zaman dilimleri seçilen 8 periyottan oluşan Sentinel S1A/B verilerin değerlenmesinde alan hareketlerinin düşey ve yataydaki hız bileşenleri birbirini desteklemektedir. Her iki değerlendirme sonucunda da bölgede ilkbahar ve yaz aylarında yoğun yeraltı su kullanımı artmakta sonbahar mevsimine geçerken ve kış mevsimine doğru gelirken oluşan yağış sebebiyle alanda kabarmanın olduğu ve kış mevsiminde hareketlerin durağanlaştığına yönünde görüş oluşmuştur. Öncül process sonuçlarından bölgede oluşan ya da oluşmuş deformasyonları gözlemlemek için Yeşilyurt ve çevresine saha gezisi yapılmasına karar verilmiştir. 13.08.2021 ve 14.08.2022 tarihlerinde bölgede saha gezisine çıktım. Yerel halktan alınan bilgilere göre Yeşilyurt bölgesinde çökmelerin olduğu alanlarda incelemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.23 a) Açılmanın olduğu bölge b) Açılmanın olduğu alanın taranmış hali

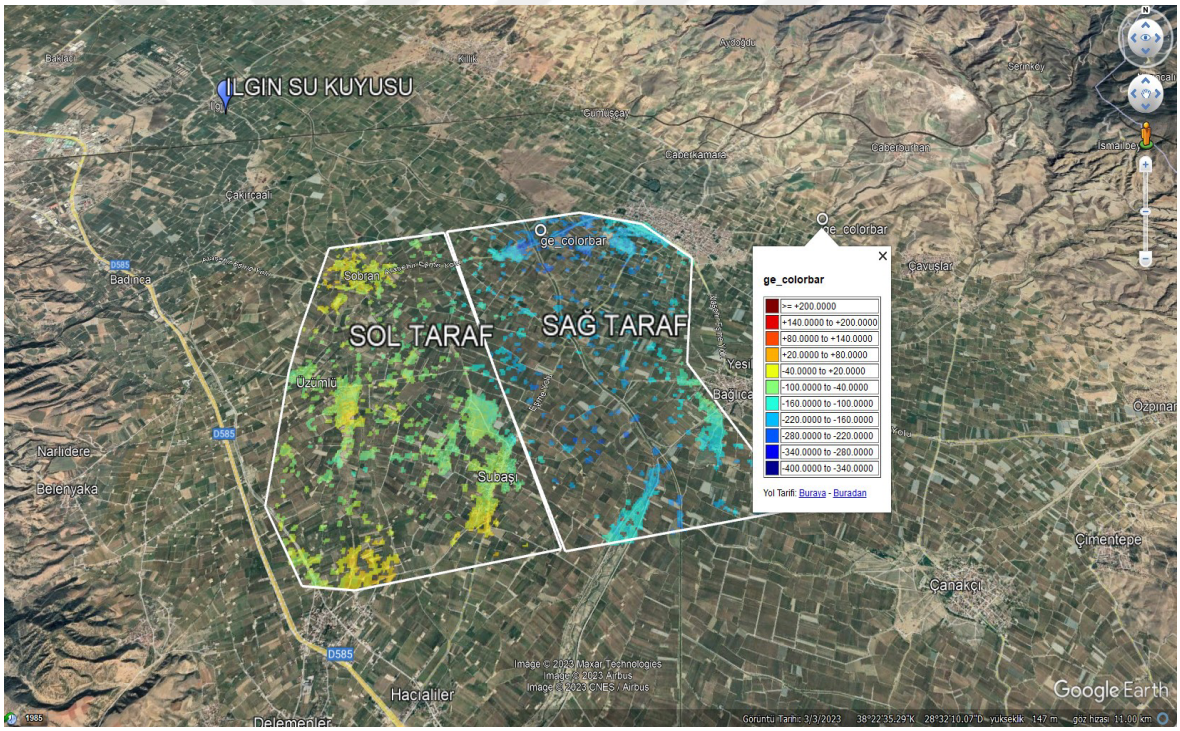
Manisa Alaşehir ilçesine bağlı Yeşilyurt beldesinde çekilen fotoğrafta yer alan arazi sahibinden alınan bilgiye göre Şekil 3.25'te taranan alan haziran ayları gibi neredeyse komple açıldığı ve çökmenin olduğu ve daha sonra bu alanı toprakla sürekli kapattığını belirtilmiştir. Arazi sahibi ayrıca bu açılmanın olduğu alandan düz bir hat üzerinden Sarıgöl ilçesine kadar yer yer açılma ve çökmelerin olduğunu da belirtmiştir. Bunun üzerine alanın bulunduğu hat üzerinde arazi gezisi gerçekleştirilmiş ve kendiliğinden oluşmuş çukurlara rastlanılmıştır (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25). Yine arazi sahibinin edilen bilgilere göre tespit edilen çukurlardan daha da büyük çukurların oluştuğu ve bu çukurların yerel halk tarafından kapatıldığı öğrenilmiştir.

Şekil 3.24 Yeşilyurt bölgesinde tespit edilen çukurların Google Earth'de düştüğü konumu ve fotoğrafı

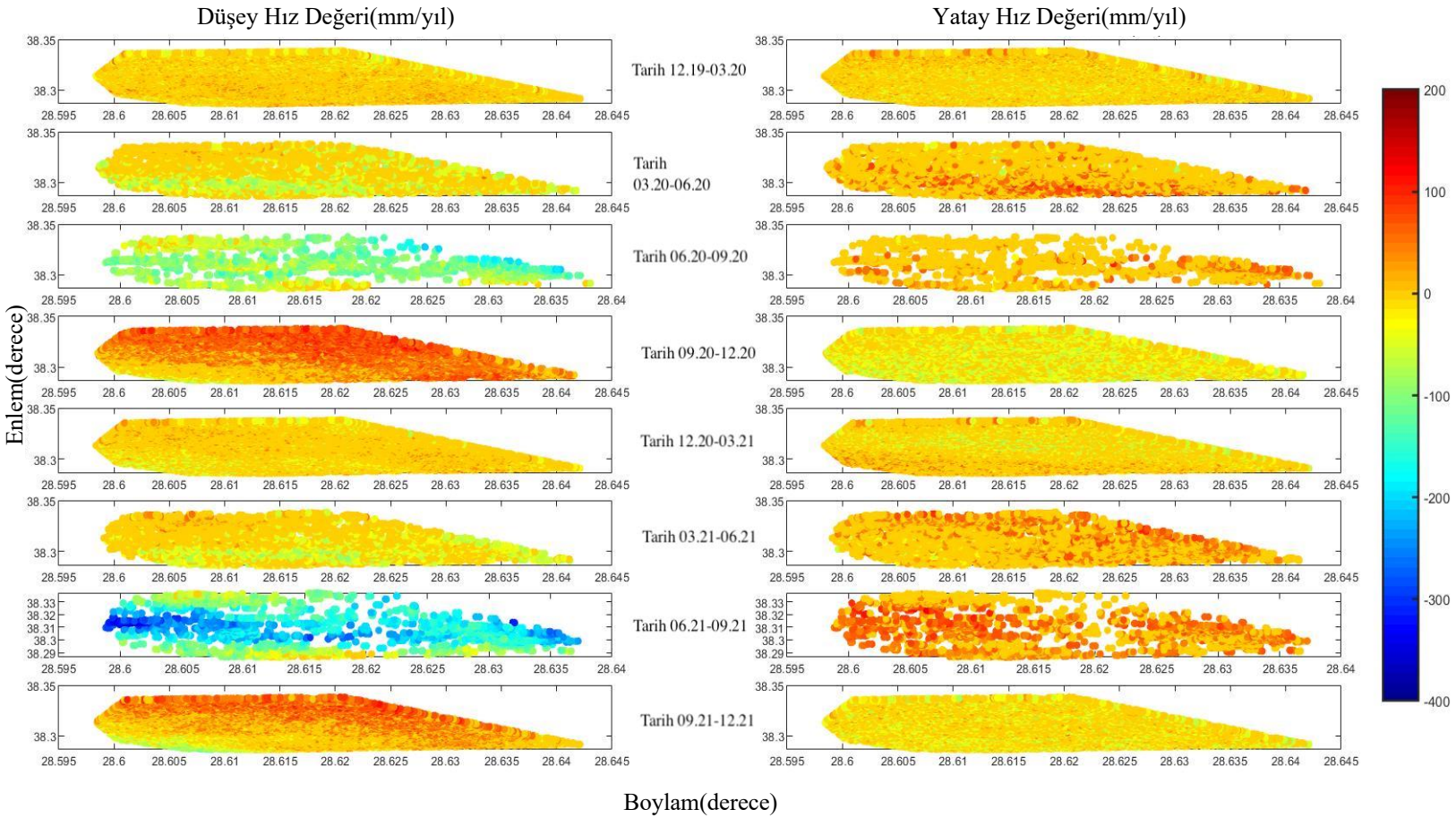


Şekil 3.25 Yeşilyurt bölgesinde tespit edilen çukurlardan bazılarının Google Earth'de düştüğü konumu ve fotoğrafı

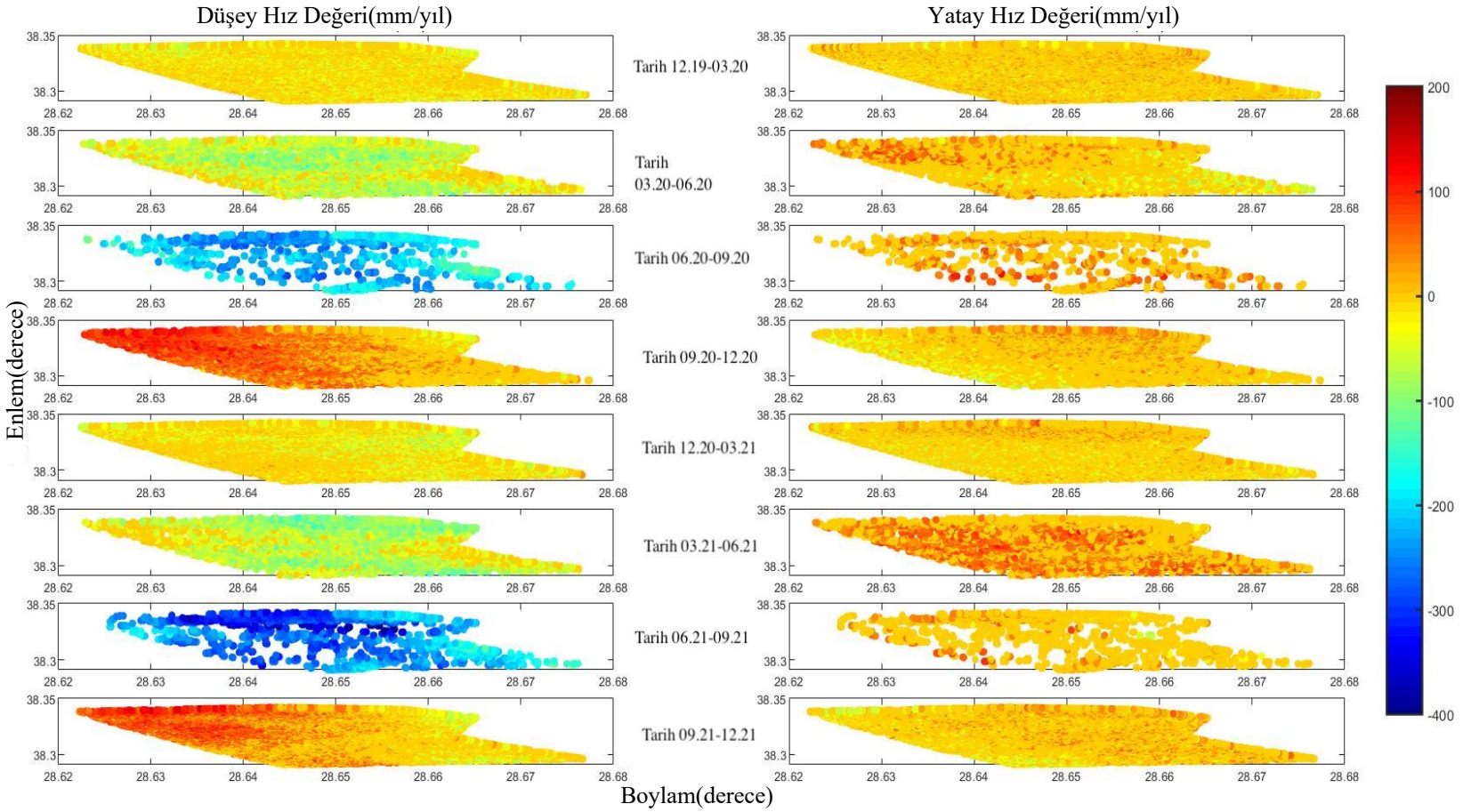
Hem üçer aylık periyotlardaki çizdirilen grafiklerde özellikle ikinci, dördüncü, altıncı ve sekizinci periyotlarda çalışma sahasının sağ ve sol kısımları farklı karakterde haraket etmeleri hem çalışma alanında mevsimler arası gerçekleşen deformasyonun sahanın hangi bölgelerinde ne tür karakteristik olduğunu daha net belirlemek ve Ilgın su kuyusundan alınan su verileriyle arazide oluşan deformasyonun karşılaştırılması için iki yıllık süreci kapsayan(2020-2021) üçer aylık periyotlara ayrılan Sentinel S1A/B yükselen ve alçalan yörünge görüntülerinin SNAP ve StaMPS yazılımlarındaki değerlendirme sonucundaki decompase işlemi yapıldıktan sonra alan, sol ve sağ olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İkiye ayrılan alanın ayrı ayrı düşey ve yatay bileşenlerine ait hız değerleri kestirilmiştir (Şekil 3.27 ve Şekil 3.28). Tüm çalışma sahası ve çalışma sahasının ikiye ayrılan sağ ve sol kısımlarındaki hızları Ilgın su kuyusundaki su verileriyle kıyaslanıp korelasyon değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.26 Ilgın Su kuyusu konumu Google-Earth gösterimi ve çalışma alanı (Hastaoğlu, 2023)



Şekil 3.27 İkiye ayrılan çalışma sahasının sol parçasına ait düşey ve yatay bileşenlerine ait hız değerleri



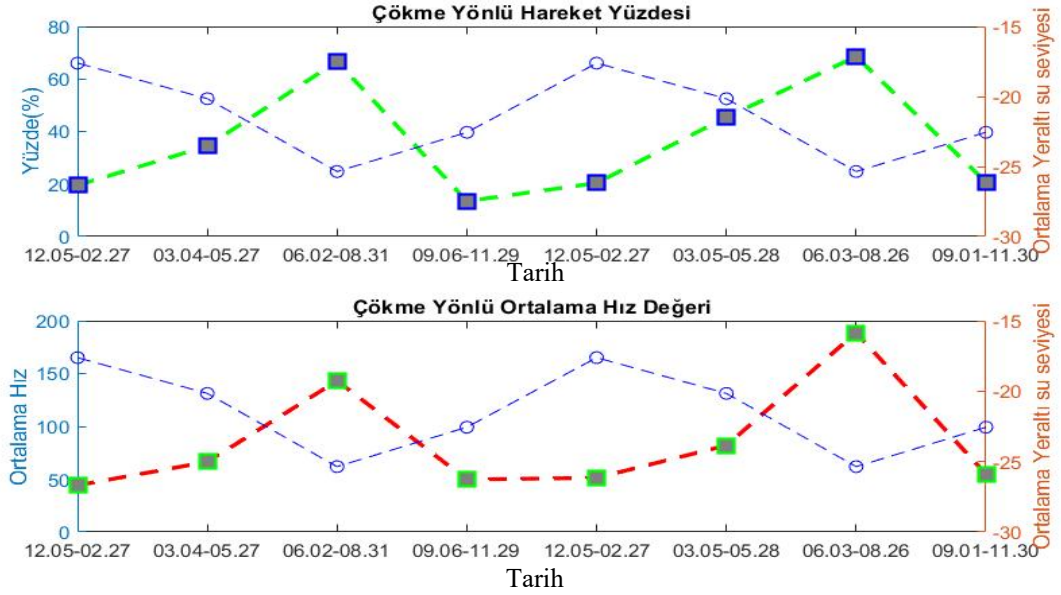
Şekil 3.28 İkiye ayılan çalışma sahasının sağ parçasına ait düşey ve yatay hız değerleri

İkiye ayrılan çalışma sahasının sağ ve sol kısımları incelendiğinde özellikle 2. periyotta ve 6. periyotta düşeye ait çökmenin sağ kısımda çökmenin sol tarafa göre daha belirgin ve yaklaşık 100 mm/yıl olduğu gözlemleniyor. 3. periyotta ve 7. periyotta sağ ve sol parçalarda çökme gözlemlenmekte fakat yine sağ tarafta sol tarafa göre daha keskin ve belirgin çökmeler görülüyor. Yatayda ise sol tarafta sağa göre daha belirgin doğuya göre hareket gözlemleniyor. Sonuç olarak Çökme çalışma alanının sağ tarafında daha belirgin ve daha hızlı hareketler sergilemektedir.

Ilgın su deposu verileriyle Sentinel S1A/B iki yıllık (2020-2021) verilerinden decompase işlemi sonucunda elde edilen çökme yönlü hareket yüzdesi ve çökme yönlü ortalama hız değeri karşılaştırılmıştır. Bu işlem için çalışma bölgesinde 5mm/yıl' dan daha büyük çökme değerine sahip PS noktalarının sahadaki tüm PS sayısına oranından hareket yüzdesi ve çalışma sahasındaki tüm PS noktalarından elde edilen ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Ilgın su deposunun verileri yıllara ve aylara göre verileri Çizelge 3.4 de gösterilmiştir.

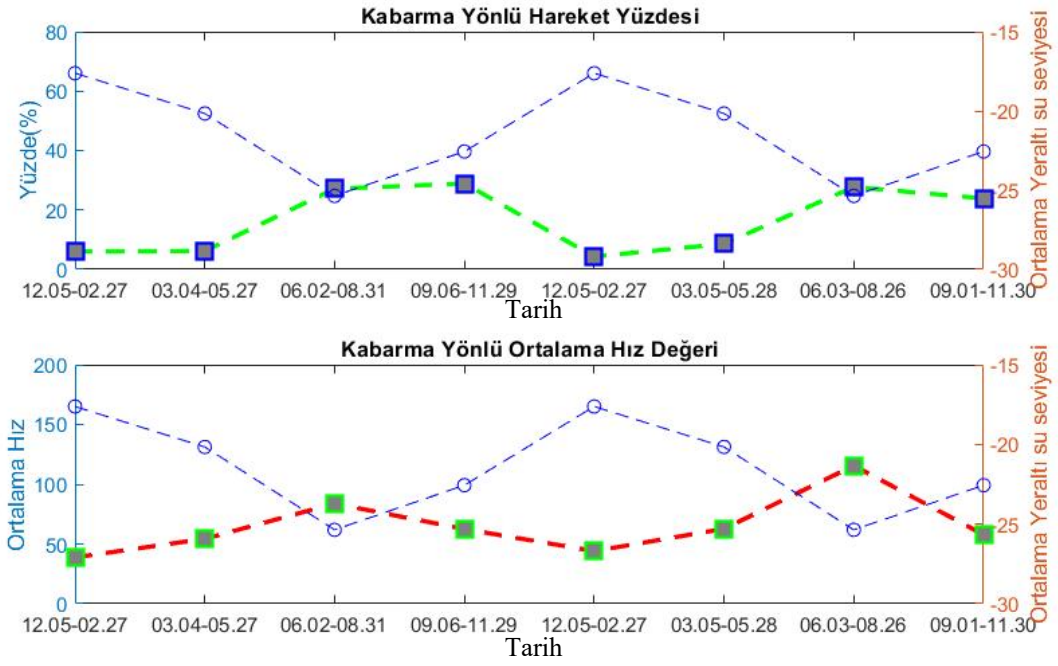
Çizelge 3.4 Ilgın su kuyusu verileri

Yıllar	Ortalama Değerler			
2013	-16.1	-20.23	-23.7	-19.42
2014	-15.32	-20.2	-24.516	-21.416
2015	-15.45	-18.65	-24.42	-21.55
2016	-19.416	-21.325	-25.05	-23.42
2017	-19.01	-20.93	-28	-27.5
2018	-20.4	-20.65	-26.5	Veri bulunmuyor
Aylar	ocak-mart	mart-haziran	haziran-eylül	eylül-aralık
Ortalama	-17.616	-20.33	-25.36	-22.66



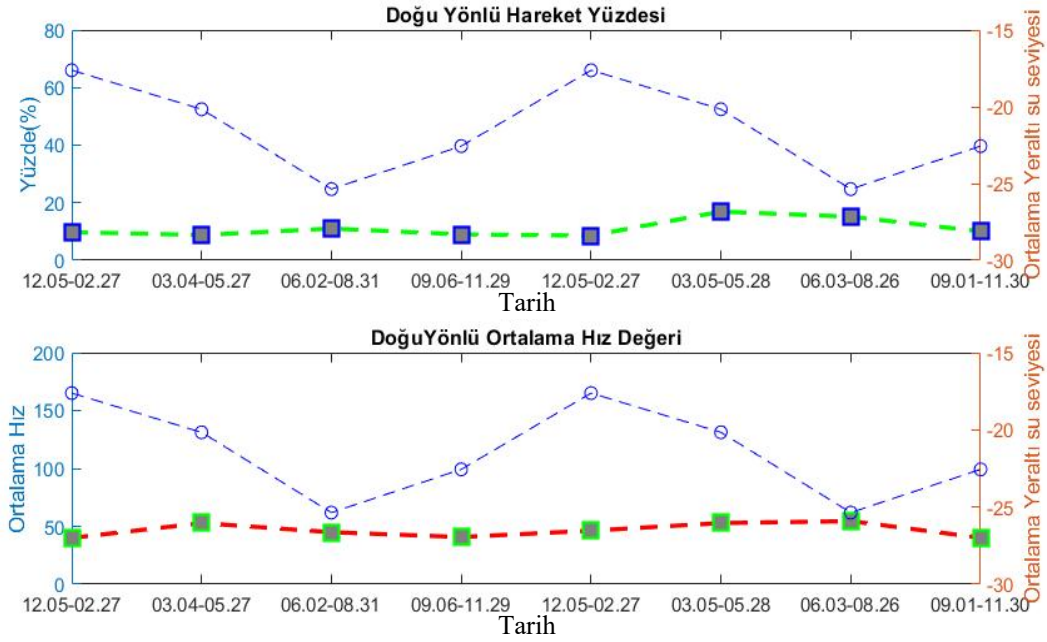
Şekil 3.29 Tüm çalışma sahasının çökme yönü hareketiyle Ilgın su deposu verileriyle karşılaştırılması

Şekil 3.29'da yer alan çökme yönlü hareket yüzdesi, çöken alanın bütün çalışma sahasına alan yüzdeliğini göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Çökme yönlü hareket yüzdesi %20 ile %70 arasında değişmektedir. Çökme yönlü hareket yüzdesinin en düşük olduğu mevsim, sonbahar ve kış mevsimi olurken en yüksek olduğu zaman dilimi ise yaz mevsimine denk gelmektedir. Ortalama yeraltı su seviyesinin en yüksek olduğu zaman -17 seviyelerinde kış ayları olurken en düşük seviye ise yaz aylarında -25 seviyelerinde tekabül etmektedir. Buradan da görülüyor ki mevsimlere bağlı yeraltı su seviyesi değişiklik göstermektir. Çökme yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin korelasyon değeri 0.68 hesaplanırken çökme yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise 0.77 hesaplanmıştır. Yüksek korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Korelasyon, iki ya da daha fazla rassal değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve şiddetini gösterir.



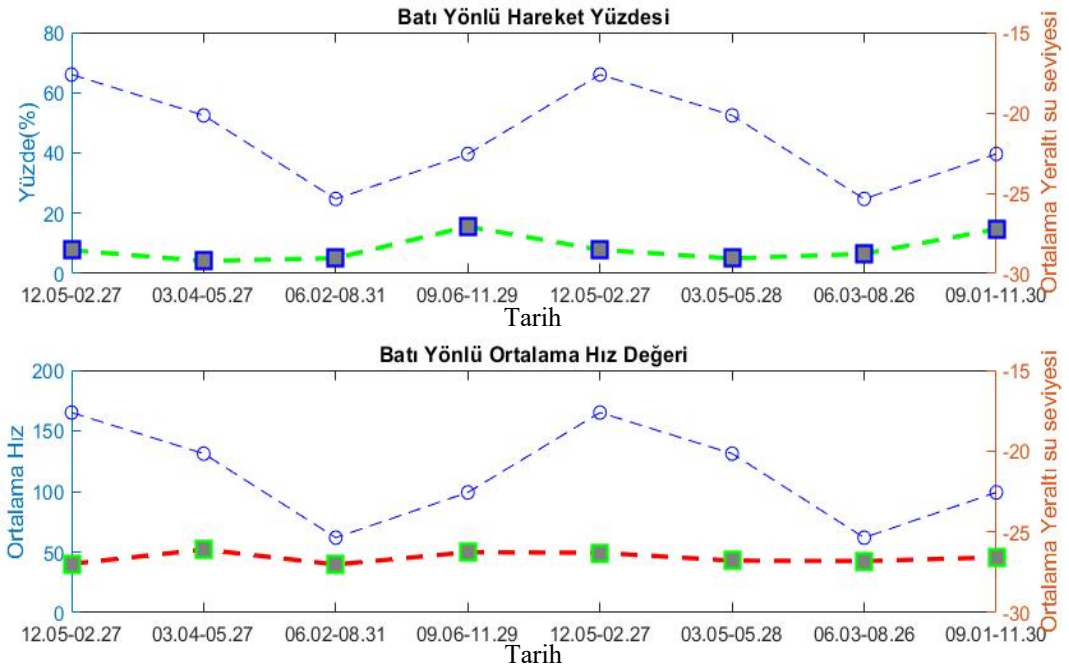
Şekil 3.30 Tüm çalışma sahasının kabarma yönü hareketiyle Ilgın su deposu verileriyle karşılaştırılması

Kabarma yönlü hareket yüzdesi tüm çalışma sahasına göre kabaran alanın yüzdesi yaklaşık %5 ile %30 arasında değişiyor. Yıllık kabarma hızı 40-120 mm arasında değişkenlik gösteriyor. Kabarma yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri -0.90 hesaplanırken kabarma yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.87 hesaplanmıştır.



Şekil 3.31 Tüm çalışma sahasının yatayda Doğu yönlü hareketi ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması

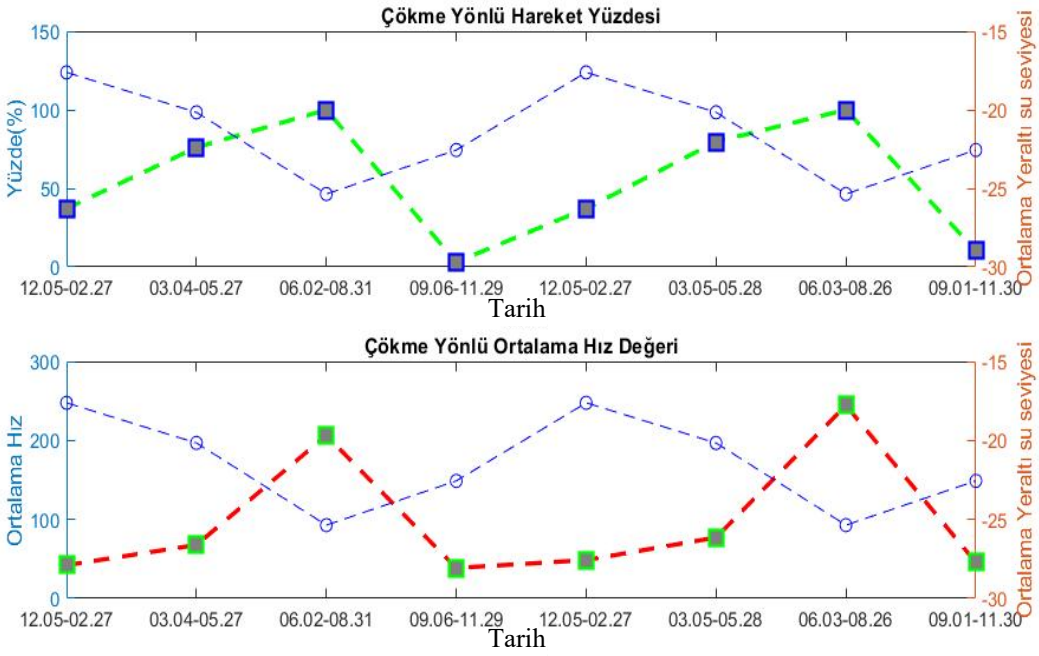
Doğu yönlü hareket yüzdesi tüm çalışma sahasına göre Doğu yönlü yüzdesi yaklaşık %5 ile %30 arasında değişiyor. Yıllık Doğu yönlü ortalama hız değeri 40-50 mm arasında değişkenlik gösteriyor. Doğu yönlü hareket yüzdesi ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri -0.16 hesaplanırken Doğu yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.32 hesaplanmıştır. Korelasyon değerleri düşük çıktığı için ve ortalama hız değerinde mevsimlere göre büyük farklar olmadığı için yatayda Doğu yönlü harekette mevsimsel etki gözlemlenmemiştir.



Şekil 3.32 Tüm çalışma sahasının yatayda Batı yönlü hareketi ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması

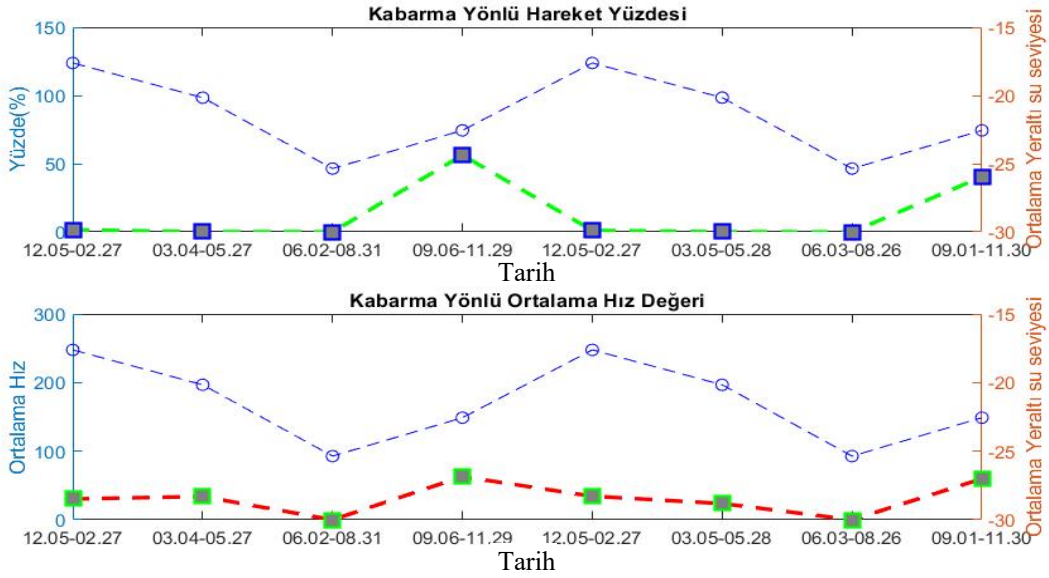
Batı yönlü hareket yüzdesi tüm çalışma sahasına göre Batı yönlü yüzdesi yaklaşık %5 ile %15 arasında değişiyor. Yıllık Batı yönlü ortalama hız değeri ise 40-50 mm arasında değişkenlik gösteriyor. Batı yönlü hareket yüzdesi ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.09 hesaplanırken Batı yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.29 hesaplanmıştır. Burada da doğu da olduğu gibi korelasyon değerleri düşük çıktığı için ve ortalama hız değerinde mevsimlere göre büyük farklar olmadığı için yatayda batı yönlü harekette mevsimsel etki gözlemlenmemiştir.

Tüm çalışma sahası düşeyde; çökme, kabarma yatayda ise doğu, batı olmak üzere ortalama hareket hızları ve hareket yüzdeleri tüm çalışma sahalarına oranı yeraltı su seviyeleriyle kıyaslanıp korelasyonu hesaplandıktan sonra Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'daki tüm çalışma sahası sağ ve sol olmak üzere ikiye bölündüğü parçaların yatay ve düşeydeki hızları yeraltı su seviyesiyle karşılaştırılmıştır.



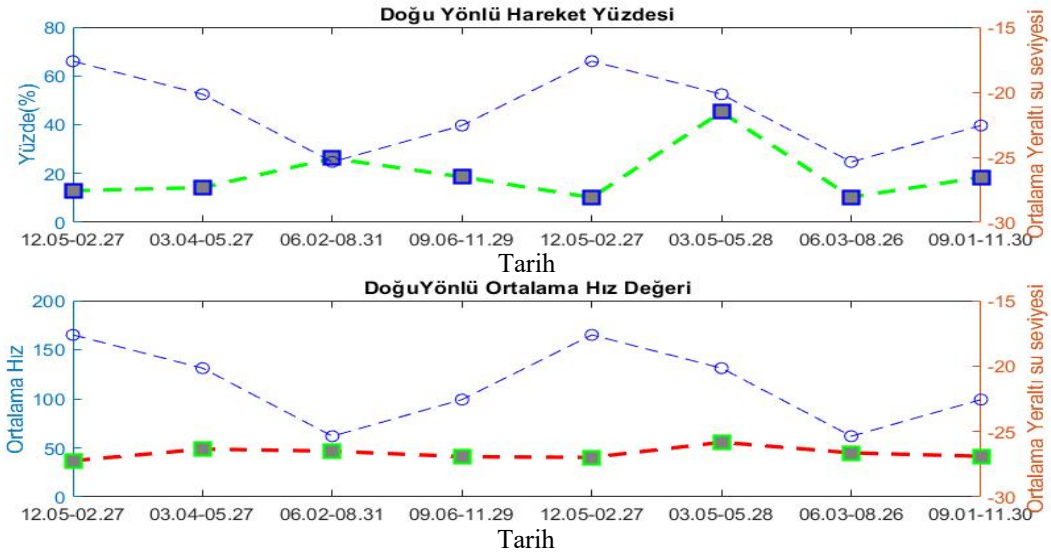
Şekil 3.33 Çalışma alanının sağ tarafının çökme hareketinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılması

Çökme yönlü hareket yüzdesinin en düşük olduğu mevsim, sonbahar mevsimi olurken en yüksek olduğu zaman dilimi ise yaz mevsimine denk gelmektedir. Arazinin tamamında yapılan karşılaştırma (Şekil 3.29) gibi burada da görülüyor ki mevsimlere bağlı yeraltı su seviyesi değişiklik göstermektir. Çökme yönlü hareket yüzdesi %10 ile %100 arasında değişmektedir. Yani bu değerlerden anlaşılıyor ki çalışma alanının sağ tarafında yüzde yüz çökme hareketi olduğunu gösteriyor. Çökme yönlü ortalama hız değeri yıllık -50 mm ile -250mm arasında değişmektedir. Yine en yüksek hıza yaz aylarında en düşük hıza kış aylarında denk gelmektedir. Çökme yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.76 hesaplanırken çökme yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise 0.39 hesaplanmıştır. Özellikle çökme yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değerinin yüksek çıkması ve çökme yönlü hareket yüzdesi ile çökme yönlü ortalama hız değerlerinin oldukça yüksek değerlere ulaşması ve aynı zaman dilimlerinde en yüksek ve en düşük aralıklarına ulaşması burada bariz mevsimsel etki olduğunu göstermektedir.



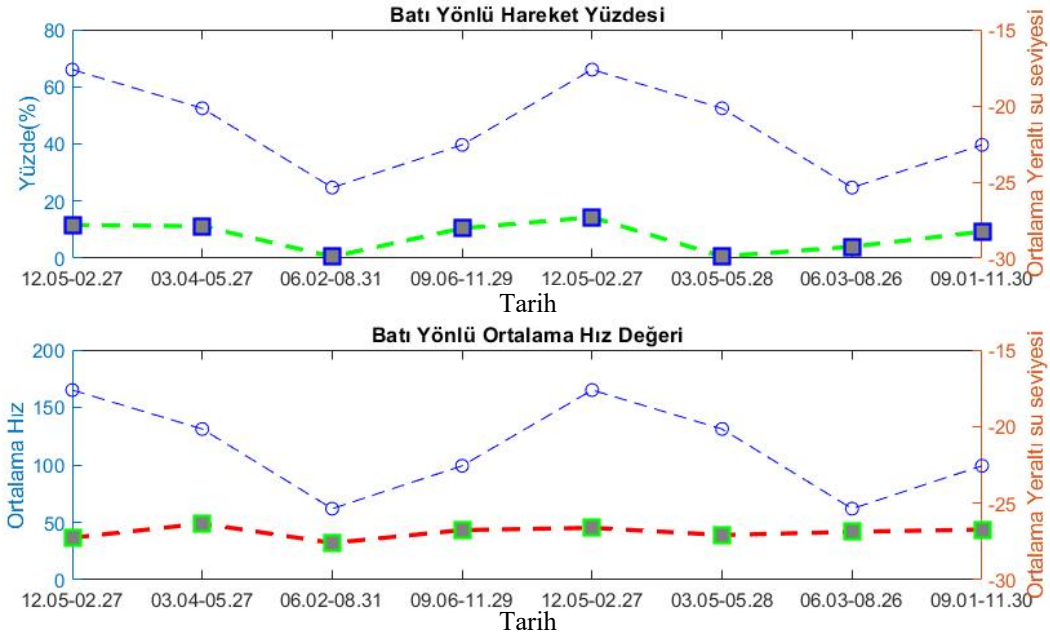
Şekil 3.34 Çalışma alanın sağ tarafının kabarma hareketinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılması

Kabarma yönlü hareket yüzdesi ilkbahar ve yaz aylarında hareket gözlemlenmezken sonbahar aylarında kabarma yönlü hareket artmaktadır. Yine bu zaman diliminde yeraltı su seviyesi artmaktadır. Hareketler birbirini desteklemektedir. Kabarma yönlü hareket yüzdesi %0 ile %55 arasında değişmektedir. Kabarma yönlü ortalama hız değeri yıllık 0 mm ile 60 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Kabarma yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.35 hesaplanırken kabarma yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.20 hesaplanmıştır.



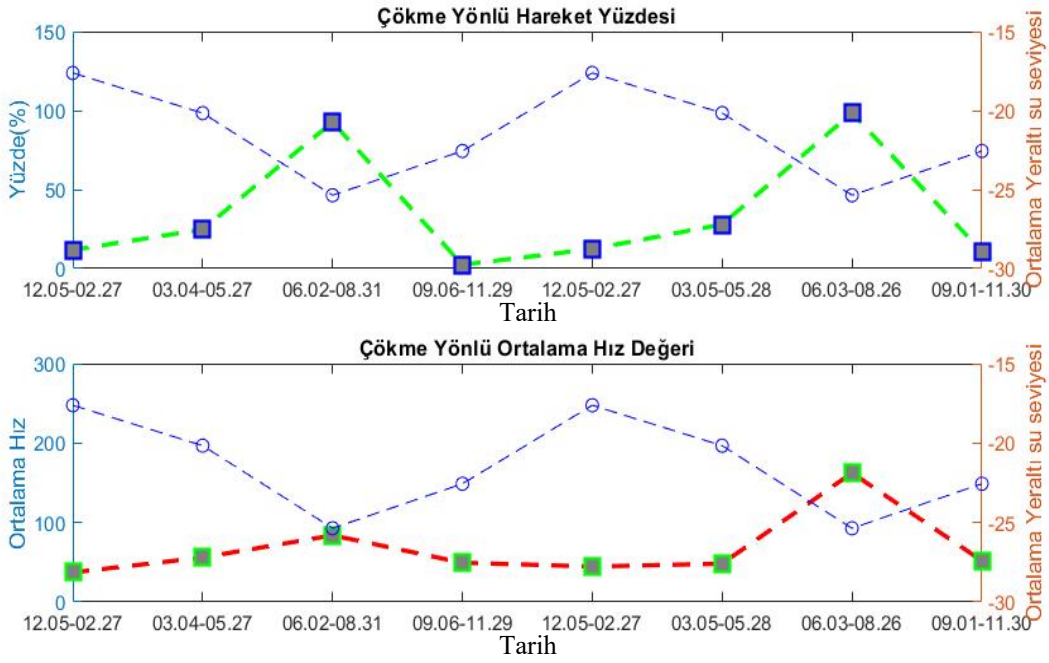
Şekil 3.35 Sağ tarafın Doğu yönlü hareket ve hızıyla yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması

Çalışma alanının sağ tarafında doğu yönlü hareket yüzdesi %12 ile %45 arasında değişmektedir. Doğu yönlü ortalama hız değeri yıllık 35 mm ile 55 mm arasında değişmektedir. Doğu yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.09 hesaplanırken doğu yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.22 hesaplanmıştır. Doğu yönlü hareket yüzdesi ve hızları aynı zamanda da korelasyon değeri düşük olduğundan mevsimsel etki gözlemlenmemiştir.



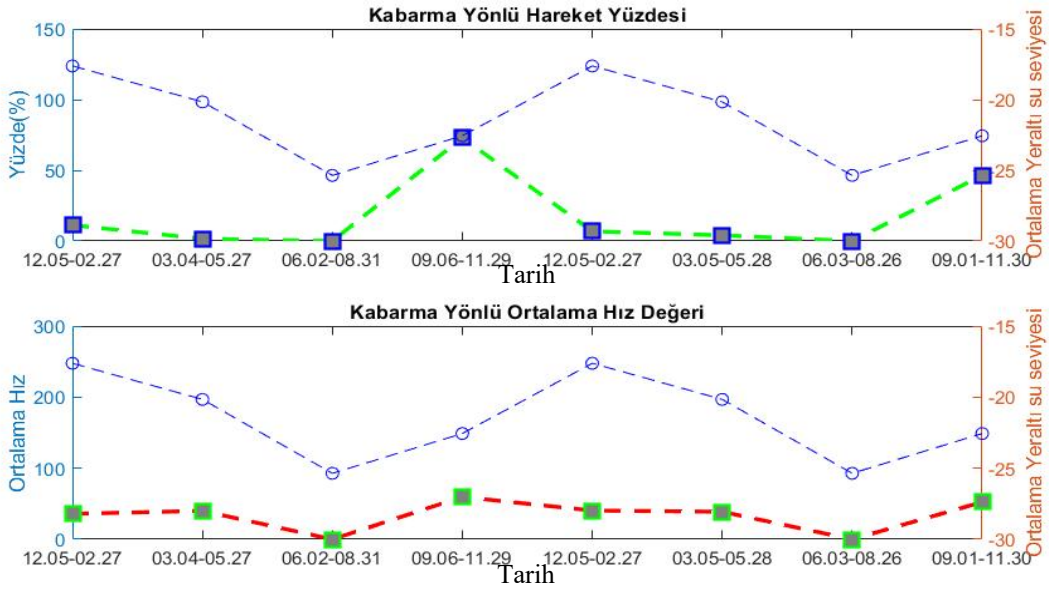
Şekil 3.36 Sağ tarafın Batı yönlü hareket ve hızıyla yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması

Çalışma alanının kırpıldıktan sonraki sağ tarafında doğu yönlü hareket yüzdesi %1 ile %10 arasında gözlemleniyor. Batı yönlü ortalama hız değeri yıllık 30 mm ile 50 mm arasında değişmektedir. Batı yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri -0.29 hesaplanırken batı yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.64 hesaplanmıştır. Batı yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu -0.64 olmasına rağmen batı yönlü hareket yüzdesi tüm alana yüzdesi maksimum ortalama %10'la sınırlı kalmasıyla mevsimsel etkiye değeri düşük olmuştur.



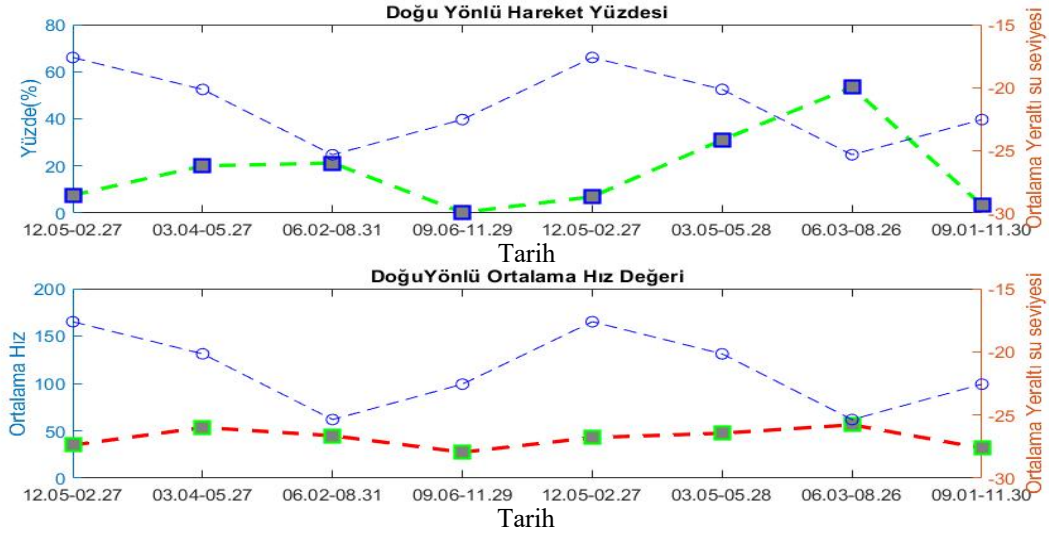
Şekil 3.37 Çalışma alanının sol tarafının çökme hareketinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılması

Çalışma alanının sağ tarafında çökme yönlü hareket yüzdesi ile çökme yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılmasında yapılan yorumlama sol tarafın çökme yönlü hareket yüzdesi ile çökme yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesi ile karşılaştırılmasına benzer bir yoruma sahiptir. Burada tek fark sağ tarafın çökme yönlü ortalama hız değerinin daha fazla olmasıdır. Yani çalışma alanın sağ tarafı sol tarafa göre daha hızlı çökmektedir. Çalışma alanının sol tarafında çökme yönlü hareket yüzdesi %2 ile %98 arasında değişmektedir Çökme yönlü ortalama hız değeri yıllık -40 mm ile -162 mm arasında değişmektedir Çökme yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.72 hesaplanırken çökme yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise 0.74 hesaplanmıştır. Her iki hesaplanan ortalama korelasyon değerinin yüksek olması ve çizdirilen grafikler mevsimsel etkiyi açıkça ortaya koymaktadır.

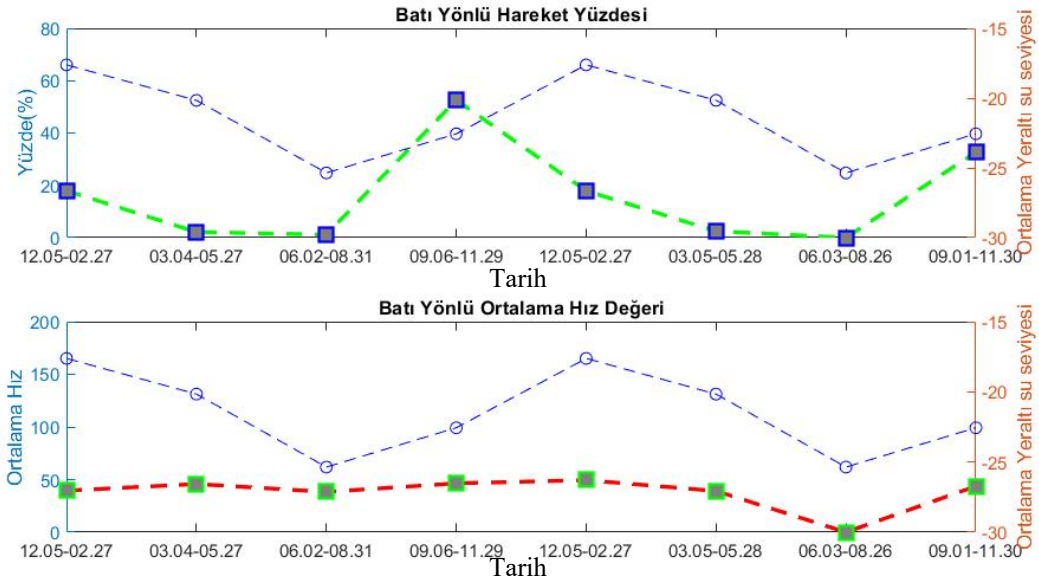


Şekil 3.38 Çalışma alanının sol tarafının kabarma yönlü hareket yüzdesi ve ortalama hızının yeraltı su seviyesiyle karşılaştırılması

Çalışma alanının sol tarafında kabarma yönlü hareket yüzdesi %0 ile %70 arasında değişmektedir. Kabarma yönlü ortalama hız değeri yıllık 0 mm ile 60 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Kabarma yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.55 hesaplanırken kabarma yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.10 hesaplanmıştır. Şekil 3.38'de de görüldüğü üzere kabarma hareketiyle yeraltı su seviyesi değeriyle birbirini destekler bir ilişki gözlemlenmektedir.



Şekil 3.39 Sol tarafın Doğu yönlü hareket ve hızıyla yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması



Şekil 3.40 Sol tarafın Batı yönlü hareket yüzdesi ile batı yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılması

Şekil 3.39'ta çalışma sahasının Doğu yönlü hareketinde doğu yönlü hareket yüzdesi %10 ile %50 arasında değişmektedir. Doğu yönlü ortalama hız değeri yıllık 30 mm ile 50 mm arasında değişmektedir. Doğu yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri -0.46 hesaplanırken doğu yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.18 hesaplanmıştır. Özellikle 2021 yılının yaz mevsiminde çalışma sahasının sol tarafının doğu yönlü hareketi yüzdesinin arttığı gözlemlenmektedir. Ortalama korelasyon değerleri düşük geldiği için mevsimsel etki gözlemlenmemiştir.

Şekil 3.40 incelendiğinde çalışma sahasının sol tarafının Batı yönlü hareket yüzdesi %0 ile %50 arasında gözlemleniyor. Batı yönlü ortalama hız değeri yıllık -40 mm ile -50 mm arasında değişmektedir. Batı yönlü hareket yüzdesiyle ortalama yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri -0.57 hesaplanırken batı yönlü ortalama hız değeri ile yeraltı su seviyesinin korelasyonu ise -0.10 hesaplanmıştır. Batı yönlü hareket yüzdesi %50'ye ulaşmasına rağmen ortalama korelasyon değerleri düşük geldiği için mevsimsel etki gözlemlenmemiştir.

Çizelge 3.5 Düşey ve yatay yönlü hareketin yeraltı su seviyesiyle karşılaştırması

	Düşey		***Yatay***	
Tüm Saha	***Çökme***	***Kabarma***	***Doğu***	***Batı***
Ry	0.68	-0.90	-0.32	0.09
Ro	0.77	-0.87	-0.16	-0.29
V	-50/-190	40/120	40/50	40/50
Y	%20-%70	%5-%30	%8-%15	%5-%15
Sol Taraf	***Çökme***	***Kabarma***	***Doğu***	***Batı***
Ry	0.72	0.55	-0.18	-0.57
Ro	0.74	-0.10	-0.46	-0.10
V	-40/-162	0/60	30/50	40/50
Y	%2-%98	%0-%70	%10-%50	%0-%55
Sağ Taraf	***Çökme***	***Kabarma***	***Doğu***	***Batı***
Ry	0.76	0.36	-0.22	-0.64
Ro	0.39	-0.20	-0.09	-0.29
V	-50/-250	0/60	35/55	30/50
Y	%10%100	%0-%55	%12-%45	%1-%10

R_y: Düşey yönlü hareketin gözlenen alanda tüm çalışma sahasına olan yüzdesiyle yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri, R_o; Düşey yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesiyle ortalama korelasyon değeri V: Yıllık yer değiştirme hızı (mm) Y: Çalışma sahasında tespit edilen çökme yönlü hareket gösteren sahanın tüm çalışma sahasına göre yüzdelik dilimini ifade etmektedir.

Özet çizelge incelendiğinde (Çizelge 3.5) özellikle düşey yönlü hız bileşeninde gerek tüm saha gerekse çalışma alanının sağ ve sol tarafında düşey yönlü hareketin gözlenen alanda tüm çalışma sahasına olan yüzdesiyle yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri ve Düşey yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesiyle ortalama korelasyon değeri karşımıza çıkmaktadır. Çizelgede yüksek görülen değerler maviyle yazılmıştır. PSInSAR sonuçlarından mevsimlere göre değişkenlik gösteren düşey yönlü hareket, Ilgın su kuyusu verileriyle de kıyaslanınca korelasyon değerleri birbirini desteklemektedir. Fakat yatay yönlü hız bileşenine ait hesaplanan ortalama korelasyon değerlerinde korelasyon değerleri düşük olduğu için mevsimsel bir etki yatay yönlü hız bileşeni için gözlenmemiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanı olarak belirlenen bölge son yıllarda asismik yüzey deformasyonlarının gözlendiği tektonik olarak aktif bir bölge olan Gediz Grabeni'nin (Hastaoğlu vd., 2023) doğu kesimi seçilmiştir. Değerlendirilen 2 yıllık (2020-2021) Sentinel S1A/B 131 iz numaralı yükselen ve 138 numaralı alçalan yörünge uydu verilerinden yaklaşık düşey bileşenine ait çökme yönlü hareket -60 mm/yıl ulaşmaktadır. Gediz Grabeni'nin Doğu kesiminde çökmenin yoğun olduğu görülen Alaşehir ilçesine bağlı Yeşilyurt bölgesi irdelenmiştir. Yeşilyurt ve çevresi kırpıldıktan sonra decompase işleminin sonucunda yatay ve düşey hızlar kestirilmiştir. Düşey yönlü hız bileşenine ait hız değerleri +10 mm/yıl ile -60 mm/yıl arasında çıkmıştır. Yatay yönlü hız bileşine ait değerler ise +20 mm/yıl ile -50 mm/yıl hesaplanmıştır. İki yıllık Sentinel-1 verilerinden çökmenin en çok olduğu alana atılan 3 noktanın hareketinin karakteristik özelliği düşey ve yataya ait hız bileşenleri hesaplanmıştır. Burada noktaların mevsimsel etkiye göre benzer hareketler ettiği, kış aylarında hareket nispeten durgun geçerken ilkbahar ve yaz mevsimlerinde çökmenin yoğunlaştığı ve yaz mevsiminde çökmenin pik yaptığı gözlemlenmiştir. Sonbahar mevsimine ise çökme hareketi yerine sahanın genelinde kabarma hareketi oluşmaktadır. Farklı iki yılda aynı mevsimlerde noktalarda benzer hareketler gözlemlenmiştir. Fakat iki yıllık Sentinel-1 verilerinden değerlendirme sonucunda gerek alçalan gerekse yükselen uydu radar verilerinden tarımsal alanlarda yeteri düzeyde PS noktasına rastlanılmamıştır. Bunun sebebi PSI tekniğinin tek master görüntü kullanması ile interfarogramlar arasında bazların gerek zaman gerekse uzamsal olarak çok büyük fark içermesidir. Baz değerleri büyüdükçe interfarogramlar arası ilintisizlikler (Decorrelation) artmaktadır (Hastaoğlu, 2023). Bölgede yoğun tarım arazisi olduğundan ve mevsimlerden bağımsız yüksek PS noktası üretilmesi için 2 yıllık zaman aralığı 3 aya düşürülerek ortalama 15 Sentinel S1A/B uydu görüntüleri edinilerek aynı yazılımlar kullanılarak (SNAP, StaMPS) değerlendirilmiştir. 3 aylık zaman dilimi mevsimlerin başlangıç ve bitiş tarihlerine denk gelecek şekilde seçilerek 8 periyotta iki yıllık (2020-2021) süreç tamamlanmıştır. Alçalan ve yükselen uydulara ait LOS yönündeki yer değiştirme değerleri yatay ve düşey bileşenlerine ait hız değerlerine ait hız değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.22). Bu hız değerlerinin incelenmesi sonucunda mevsimsel olarak Yeşilyurt bölgesinin düşeyde çökme ve kabarma hareketi birbirini izlemektedir. Farklı iki yılda aynı mevsimlerde çok benzer hareketler gözlemlenmiştir. İki yıllık yapılan process sonuçlarının mevsimlere bağlı yorumlamasında ortaya çıkan bulgularla üçer aylık periyotlarla yapılan process sonuçlarının değerlendirilmesinde ortaya çıkan sonuçlarla benzer bir niteliğe sahip olduğu görülmüştür. Arazi keşfi için bölgeye gidilip yöre halkından

da bilgi alınıp lokal çökme alanları ve küçük ama sıralı çukurlar gözlemlenmiştir. Çukurlar gözlemlenen arazi alanının mülk sahibinden alınan bilgiye göre sıralı çukurların görüldüğü hizadan Sarıgöl ilçesine kadar uzanan yer yer çökmelerin ve açılmaların olduğu belirtti. Bölgede yoğun üzüm tarlaları olduğundan tüm sahanın genelinde etkin bir gözlem nispeten kısıtlı kalmıştır. SAR yer değiştirme modeli ile yer altı su seviyesi değişim model sonuçları arasındaki korelasyon değerleri hesaplanarak yer altı su seviyesi değişimi ile yer değiştirme arasındaki periyodik ilişki ortaya konulmuştur. Buradan elde edilen sonuçlara göre de özellikle düşey yönlü hareketin yeraltı su seviyesiyle karşılaştırmasında çökme hareketinin yeraltı su seviyesiyle kıyaslanmasında yüksek korelasyon değerleri elde edilmiştir. Çökme yönlü hareketin gözlenen alanda tüm çalışma sahasına olan yüzdesiyle yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.68 olurken kabarma yönlü korelasyon değeri -0.90, çökme yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesiyle ortalama korelasyon değeri ise 0.77'ken kabarma yönlü korelasyon değeri -0.87 hesaplanmıştır. Çalışma sahasının ikiye ayrılmasından sonra hesaplanan korelasyon değerleri arazinin sağ tarafı için çökme yönlü hareketin gözlenen alanda tüm çalışma sahasına olan yüzdesiyle yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.76, kabarma yönlü korelasyon değeri 0.36 olurken özellikle çökme yönlü hareketin korelasyon değeri yüksek bir değer hesaplanmıştır. Yine arazinin sağ tarafı için çökme yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesiyle ortalama korelasyon değeri 0.39 olurken kabarma yönlü korelasyon değeri -0.20'dir. Çalışma alanın sol tarafının düşey yönlü hareketinin yeraltı su seviyesiyle karşılaştırılması sonucu elde edilen değerler, çökme yönlü hareketin gözlenen alanda tüm çalışma sahasına olan yüzdesiyle yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri 0.72 olurken kabarma yönlü korelasyon değeri 0.55'tir. Çökme yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesiyle ortalama korelasyon değeri 0.74 hesaplanırken kabarma yönlü korelasyon değeri -0.10 olmuştur. Arazinin sol tarafında hesaplanan çökme yönlü hareket ile yeraltı su seviyesinin karşılaştırılmasından elde edilen ortalama korelasyon değerleri yüksek çıkmıştır. Yatay yönlü hareketin yeraltı su seviyesiyle karşılaştırılarak hesaplanan korelasyon değerleri, yatay yönlü hareketin gözlenen alanda tüm çalışma sahasına olan yüzdesiyle yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri doğuda -0.32 olurken batıda 0.09 hesaplanmıştır. Yatay yönlü ortalama hız değerinin yeraltı su seviyesinin ortalama korelasyon değeri doğuda -0.16, batıda -0.29 olmuştur. Yatay yönlü hareketin yeraltı su seviyesiyle karşılaştırılmasından hesaplanan korelasyon değerleri düşük geldiği için mevsimsel bir etki gözlemlenmemiştir. Gerek iki yıllık Sentinel-1 verilerinden üretilen PS noktalarına atılan 3 noktanın LOS hız değerleri gerekse aynı Sentinel-1 verileriyle zaman aralığı üç ay seçilen ve sıralı birbirini takip eden 8 periyottan

oluşan değerleme sonuçları ve aynı zamanda SAR yer değiştirme modeli ile yer altı su seviyesi değişim model sonuçları arasındaki hesaplanan ortalama korelasyon değerleri düşey yönlü harekette birbirini desteklemekte ve mevsimsel etki bariz olarak görülmektedir. Arazide belirlenen çökme alanlarından Sarıgöl ilçesine kadar belirli hizalarda uzanan asismik bir hareket olduğu düşünülmektedir. PS sonuçlarından ilkbahar ve yaz mevsimlerimde bölgede yoğun tarım arazileri olması sebebiyle bu tarım arazilerini ilkbahar ve yaz aylarının başlarında yoğun ve bilinçsiz bir sulama yapıldığı ortaya çıkmaktadır. İlerleyen günlerde SAR görüntülerinin devam ettirilmesi bölgede daha kapsamlı incelemelerde bulunulması bölge ve o bölgede yaşayan yöre halkı için faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdikan, S., Arıkan, M., Şanlı, F. B., Çakır, Z., & Kemaldere, H. (2013). Zonguldak Maden Alanlarında Meydana Gelen Yer Yüzeyi Hareketlerinin InSAR Zaman Serileri ile Belirlenmesi. Harita Dergisi, 149, 1-6.

Amelung, F., Galloway, D. L., Bell, J. W., Zebker, H. A., & Laczniak, R. J. (1999). Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation. Geology, 27(6), 483-486.

Arpat, E., & Bingöl, E. (1969). The rift system of the western Turkey; thoughts on its development. Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk, 73(9).

Atasoy, V., & Öztürk, E. (1984). Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçlar› n Yorumu. TMMOB Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi, say, 50-51.

Ayan, T. (1983). Jeodezik ağlarda deformasyon analizine genel bakış. İTÜ Dergisi, 40(1).

Aydöner, C., & Maktav, D. (2011). Uydu ve yersel veri entegrasyonu ile deprem sonrası arazi örtüsü/kullanımı analizi. İTÜDERGİSİ/d, 5(2).

Bak, M. (2014). Jeodezik Çalışmalarla İzmit Körfezi Ve Yakın Çevresi Kabuk Deformasyonlarının Belirlenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Bamler, R., Eineder, M., Kampes, B., Runge, H., & Adam, N. (2003, October). SRTM and beyond: current situation and new developments in spaceborne InSAR. In Proceedings of the ISPRS Workshop on High Resolution Mapping from Space (pp. 6-8). University Hannover Germany, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Bayık, Ç. (2021). Ordu-Giresun Havalimanı'nın sürekli saçıcılar interferometrisi (PSI) ile deformasyon analizi. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 8(2), 161-169.

Bekaert, D. P. S., Walters, R. J., Wright, T. J., Hooper, A. J., & Parker, D. J. (2015). Statistical comparison of InSAR tropospheric correction techniques. Remote Sensing of Environment, 170, 40-47.

Bell, J. W., Amelung, F., Ferretti, A., Bianchi, M., & Novali, F. (2008). Permanent scatterer InSAR reveals seasonal and long-term aquifer-system response to groundwater pumping and artificial recharge. Water Resources Research, 44(2).

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 40(11), 2375-2383.

Bitek, D., ERENOĞLU, RC, & ERENOĞLU, O. Sentinel Görüntüleri Kullanılarak Heyelanların Modellenmesi: 2020 Gjerdrum (Norveç) Heyelanı Örneği. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi , (10), 67-77.

Bozkurt, E., & PARK, L. R. (1994). Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. Journal of the Geological Society, 151(2), 213-216.

Castañeda, C., Gutiérrez, F., Manunta, M., & Galve, J. P. (2009). DInSAR measurements of ground deformation by sinkholes, mining subsidence, and landslides, Ebro River, Spain. Earth Surface Processes and Landforms, 34(11), 1562-1574.

Castellazzi, P., Garfias, J., Martel, R., Brouard, C., & Rivera, A. (2017). InSAR to support sustainable urbanization over compacting aquifers: The case of Toluca Valley, Mexico. International journal of applied earth observation and geoinformation, 63, 33-44.

Chan, Y. K., & Koo, V. (2008). An introduction to synthetic aperture radar (SAR). Progress In Electromagnetics Research B, 2, 27-60.

Chang, C. P., Chang, T. Y., Wang, C. T., Kuo, C. H., & Chen, K. S. (2004). Land-surface deformation corresponding to seasonal ground-water fluctuation, determining by SAR interferometry in the SW Taiwan. Mathematics and Computers in Simulation, 67(4-5), 351-359.

Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 78-89.

Curlander C. ve McDonough N. (1991)Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: Wiley.

Curlander, J. C., & McDonough, R. N. (1991). Synthetic aperture radar (Vol. 11). Wiley, New York.

Çiftçi, N. B., & Bozkurt, E. (2009). Pattern of normal faulting in the Gediz Graben, SW Turkey. Tectonophysics, 473(1-2), 234-260.

Cigna, F., Esquivel Ramírez, R., & Tapete, D. (2021). Accuracy of Sentinel-1 PSI and SBAS InSAR Displacement Velocities against GNSS and Geodetic Leveling Monitoring Data. Remote Sensing, 13(23), 4800.

Çomut, F. C. (2016). Farklı yeryüzü Özelliklerinde Ileri insar teknikleri kullanılarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi (Doctoral dissertation, doktora tezi [Unpublished doctoral dissertation]. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Dai, K., Deng, J., Xu, Q., Li, Z., Shi, X., Hancock, C., ... & Zhuo, G. (2022). Interpretation and sensitivity analysis of the InSAR line of sight displacements in landslide measurements. GIScience & Remote Sensing, 59(1), 1226-1242.

Dehghani, M., Valadan Zoej, M. J., Entezam, I., Mansourian, A., & Saatchi, S. (2009). InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. Geophysical Journal International, 178(1), 47-56.

Doğan, A., Kaygusuz, Ç., Tiryakioğlu, İ., Yigit, C. O., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., & Turgut, B. (2022). Geodetic evidence for aseismic fault movement on the eastern segment of the Gediz Graben system (western Anatolia extensional province, Turkey) and its significance for settlements. Acta Geodaetica et Geophysica, 57(3), 461-476.

Doin, M. P., Lasserre, C., Peltzer, G., Cavalié, O., & Doubre, C. (2009). Corrections of stratified tropospheric delays in SAR interferometry: Validation with global atmospheric models. Journal of Applied Geophysics, 69(1), 35-50.

Elliott, J. R., Biggs, J., Parsons, B., & Wright, T. J. (2008). InSAR slip rate determination on the Altyn Tagh Fault, northern Tibet, in the presence of topographically correlated atmospheric delays. Geophysical Research Letters, 35(12).

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), 3229-3275.

Erkoç, M. H. (2022), Türkiye'nin batı ve güney kıyılarındaki düşey yerkabuğu hareketlerinin uydu altimetresi, mareograf, gnss ve ınsar ölçmeleriyle belirlenmesi, Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Eyidoğan, H., & Jackson, J. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969–70 in western Turkey: Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. Geophysical Journal International, 81(3), 569-607.

Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., & Rucci, A. (2011). A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 49(9), 3460-3470.

Ferretti, A., Tamburini, A., Novali, F., Fumagalli, A., Falorni, G., & Rucci, A. (2011). Impact of high resolution radar imagery on reservoir monitoring. Energy Procedia, 4, 3465-3471.

F. Gama, F., Mura, J. C., R. Paradella, W., & G. de Oliveira, C. (2020). Deformations prior to the Brumadinho dam collapse revealed by Sentinel-1 InSAR data using SBAS and PSI techniques. Remote sensing, 12(21), 3664.

Firuzan, E. (2008). Statistical earthquake frequency analysis for western Anatolia. Turkish Journal of Earth Sciences, 17(4), 741-762.

Gezgin, C. (2022). The influence of groundwater levels on land subsidence in Karaman (Turkey) using the PS-InSAR technique. Advances in Space Research, 70(11), 3568-3581.

Gill, E., & Runge, H. (2004). Tight formation flying for an along-track SAR interferometer. Acta Astronautica, 55(3-9), 473-485.

Gray, A. L., Mattar, K. E., & Sofko, G. (2000). Influence of ionospheric electron density fluctuations on satellite radar interferometry. Geophysical Research Letters, 27(10), 1451-1454.

Gray, A. L., Van der Kooij, M. W., Mattar, K. E., & Farris-Manning, P. J. (1994, August). Progress in the development of the CCRS along-track interferometer. In Proceedings of IGARSS'94-1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Vol. 4, pp. 2285-2287). IEEE.

Gül, D. (2016). Sarıgöl (Manisa) bölgesi tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Sivas).

Hakyemez, M. Y., Göktaş, F., & Erkal, T. (2013). Gediz grabeninin Kuvaterner jeolojisi ve evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 56(2), 1-26.

Hastooğlu, (2023)**.** Yapay Açıklıklı Uzay Radar Verilerinden Periyodik Yüzey Hareketlerin Belirlenerek Hız Kestirim Doğruluğunun Artırılması

Hastaoğlu, K. Ö., & Poyraz, F. TUFUAB-MERSIN 2021.

Hastaoglu, K. O., Poyraz, F., Erdogan, H., Tiryakioglu, İ., Ozkaymak, C., Duman, H., ... & Gul, Y. (2023). Determination of periodic deformation from InSAR results using the FFT time series analysis method in Gediz Graben. Natural Hazards, 1-27.

Hanssen, R. F. (2001). Radar interferometry: data interpretation and error analysis (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

Hetzel, R., Ring, U., Akal, C., & Troesch, M. (1995). Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. Journal of the Geological Society, 152(4), 639-654.

Hu, B., Chen, J., & Zhang, X. (2019). Monitoring the land subsidence area in a coastal urban area with InSAR and GNSS. Sensors, 19(14), 3181.

Jolivet, R., Grandin, R., Lasserre, C., Doin, M. P., & Peltzer, G. (2011). Systematic InSAR tropospheric phase delay corrections from global meteorological reanalysis data. Geophysical Research Letters, 38(17).

Jolivet, R., Agram, P. S., Lin, N. Y., Simons, M., Doin, M. P., Peltzer, G., & Li, Z. (2014). Improving InSAR geodesy using global atmospheric models. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 119(3), 2324-2341.

Kaya, O. (1979). Ortadogu Ege çöküntüsünün Neojen stratigrafisi ve tektonigi (East-central Aegean depression: Neogene stratigraphy and tectonics). Türkiye Jeoloji Kurultayi Bülteni, 22, 35-58.

Kaygusuz, Ç. (2021). Sarıgöl'de meydana gelen yüzey deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle incelenmesi (Master's thesis).

Koca, M. Y., Sözbilir, H., Özer, S., & Kıncal, C. (2000). Manisa ili Sarıgöl ilçesi yerleşim alanına ait jeolojik etüt raporu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Raporu.

Koca MY, Sözbilir H, Uzel B. (2011). Sarıgöl fay zonu boyunca meydana gelen deformasyonlarin nedenleri üzerine bir araştirma. Jeol Mühendisliği Derg 35(2):151–173

Jiang, X., Li, W., Wang, S., & Jiang, M. (2021). Coseismic deformation of the 2020 Yutian MW 6.4 earthquake from Sentinel-1A and the slip inversion. Earthquake Research Advances, 1(2), 100027.

Jung, H. S., Lee, D. T., Lu, Z., & Won, J. S. (2012). Ionospheric correction of SAR interferograms by multiple-aperture interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 51(5), 3191-3199.

Leflef, D. (1980). Muratdağı güneyi Neojen havzasının çökel ortamları ve paleocoğrafik evrimi. MTA Raporu, (6812). (yayınlanmamış)

Lehner, S., Gunther, H., Horstmann, J., Bao, M., & Schulz-Stellenfleth, J. (2001, July). Joint along-across track interferometry of ocean waves. In IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No. 01CH37217) (Vol. 1, pp. 581-583). IEEE.

Lin, Y. N. N., Simons, M., Hetland, E. A., Muse, P., & DiCaprio, C. (2010). A multiscale approach to estimating topographically correlated propagation delays in radar interferograms. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 11(9).

Lips, A. L., Cassard, D., Sözbilir, H., Yilmaz, H., & Wijbrans, J. R. (2001). Multistage exhumation of the Menderes massif, western Anatolia (Turkey). International Journal of Earth Sciences, 89, 781-792.

Liu, S., Umezu-Goto, M., Murph, M., Lu, Y., Liu, W., Zhang, F., ... & Mills, G. B. (2009). Expression of autotaxin and lysophosphatidic acid receptors increases mammary tumorigenesis, invasion, and metastases. Cancer cell, 15(6), 539-550.

Lu, Z., & Dzurisin, D. (2014). InSAR imaging of Aleutian volcanoes. In InSAR imaging of Aleutian volcanoes (pp. 87-345). Springer, Berlin, Heidelberg.

Lu, Z., Dzurisin, D., Lu, Z., & Dzurisin, D. (2014). Introduction to interferometric synthetic aperture radar. InSAR Imaging of Aleutian Volcanoes: Monitoring a Volcanic Arc from Space, 1-23.

Mattar, K. E., & Gray, A. L. (2002). Reducing ionospheric electron density errors in satellite radar interferometry applications. Canadian Journal of Remote Sensing, 28(4), 593-600.

Meyer, F., Bamler, R., Jakowski, N., & Fritz, T. (2006). The potential of low-frequency SAR systems for mapping ionospheric TEC distributions. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 3(4), 560-564.

Ng, A. H. M., Ge, L., Li, X., & Zhang, K. (2012). Monitoring ground deformation in Beijing, China with persistent scatterer SAR interferometry. Journal of Geodesy, 86, 375-392.

Osmanoğlu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., & Cabral-Cano, E. (2016). Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 90-102.

Oštir, K., & Komac, M. (2007). PSInSAR and DInSAR methodology comparison and their applicability in the field of surface deformations-A case of NW Slovenia. Geologija, 50(1), 77-96.

Ozdemir, A., Yasar, E., & Çevik, G. (2017). An importance of the geological investigations in Kavaklıdere geothermal field (Turkey). Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 3, 29-49.

Qu, F., Zhang, Q., Lu, Z., Zhao, C., Yang, C., & Zhang, J. (2014). Land subsidence and ground fissures in Xi'an, China 2005–2012 revealed by multi-band InSAR time-series analysis. Remote Sensing of Environment, 155, 366-376.

Parkinson, B. W., & Spilker, J. J. (Eds.). (1996). Progress in astronautics and aeronautics: Global positioning system: Theory and applications (Vol. 164). Aiaa.

Pawluszek-Filipiak, K., & Borkowski, A. (2020). Integration of DInSAR and SBAS Techniques to determine mining-related deformations using sentinel-1 data: The case study of Rydułtowy mine in Poland. Remote Sensing, 12(2), 242.

Perski, Z., Hanssen, R., Wojcik, A., & Wojciechowski, T. (2009). InSAR analyses of terrain deformation near the Wieliczka Salt Mine, Poland. Engineering Geology, 106(1-2), 58-67.

Polat, O., Goek, E., & Yilmaz, D. (2008). Earthquake hazard of the Aegean extension region (West Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 17(3), 593-614.

Pourkhosravani, M., Mehrabi, A., Pirasteh, S., & Derakhshani, R. (2022). Monitoring of Maskun landslide and determining its quantitative relationship to different climatic conditions using D-InSAR and PSI techniques. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 13(1), 1134-1153.

Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoğlu, K., Tiryakioğlu, İ., Gürsoy, Ö., Koçbulut, F., & Didem, Gül. (2015). Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Güncel Tektonik Hareketlerin GPS Ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1), 17-28.

Poyraz, F., Hastaoğlu, K., Demirel, M., & Sığırcı, R . (2016) Gediz Grabenin doğu kesimindeki tektonik hareketlerin ENVISAT radar görüntülerini kullanarak araştırılması., HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ekim, İstanbul

Poyraz, F., Gül, Y. A. V. U. Z., & Duymaz, B. (2020). Determination of deformations by using the PSI technique at a common dump site ofthree different open-pit marble mines in Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 29(6), 1004-1016.

Poyraz F & Hastaoğlu K Ö (2020). Monitoring of tectonic movements of the Gediz Graben by the PSInSAR method and validation with GNSS results. Arab J Geosci, 13, 844 doi: /10.1007/s12517-020-05834-5

Radman, A., Akhoondzadeh, M., & Hosseiny, B. (2021). Integrating InSAR and deep-learning for modeling and predicting subsidence over the adjacent area of Lake Urmia, Iran. GIScience & Remote Sensing, 58(8), 1413-1433.

Rosen, P. A., Hensley, S., Zebker, H. A., Webb, F. H., & Fielding, E. J. (1996). Surface deformation and coherence measurements of Kilauea Volcano, Hawaii, from SIR-C radar interferometry. Journal of Geophysical Research: Planets, 101(E10), 23109-23125.

Solari, L., Ciampalini, A., Raspini, F., Bianchini, S., & Moretti, S. (2016). PSInSAR analysis in the Pisa urban area (Italy): A case study of subsidence related to stratigraphical factors and urbanization. Remote Sensing, 8(2), 120.

Song, C., Li, Z., Utili, S., & Yu, C. (2020, May). Twelve-Year Landslide Risk Assessment in Villa de Independencia, Bolivia, with Sentinel-1 and ALOS-1/2 InSAR Observations. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 20193).

Tan, O., Tapirdamaz, M. C., & Yörük, A. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 17(2), 405-418.

Tatar, O., Koçbulut, F., Polat, A., & Demirel, M. (2019). 02.03. 2017 ve 24.04. 2018 Samsat (Adıyaman) depremleri ve bölgesel sismotektonik içindeki önemi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 62(2), 167-180.

URL-1<https://sarkac.org/2022/04/sar-yapay-aciklikli-radar>, alındığı tarih (13.01.2023)

URL-2 < https://www.radartutorial.eu/>, alındığı tarih (25.01.2023)

URL-3 < https://www.ga.gov.au>, alındığı tarih (27.01.2023)
URL-4 <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-1#cite_note-4> alındığı tarih (30.01.2023)
URL-5<http://www.koeri.boun.edu.tr/ />, alındığı tarih (20.02.2023)
URL-6< https://earth.esa.int/eogateway/tools/snap>, alındığı tarih (11.04.2023)
Wadge, G., Webley, P. W., James, I. N., Bingley, R., Dodson, A., Waugh, S., ... & Clarke, P. J. (2002). Atmospheric models, GPS and InSAR measurements of the tropospheric water vapour field over Mount Etna. Geophysical Research Letters, 29(19), 11-1.
Walters, R. J., Parsons, B., & Wright, T. J. (2014). Constraining crustal velocity fields with InSAR for Eastern Turkey: Limits to the block-like behavior of Eastern Anatolia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 119(6), 5215-5234.
Wegmuller, U., Werner, C., Strozzi, T., & Wiesmann, A. (2006, July). Ionospheric electron concentration effects on SAR and INSAR. In 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (pp. 3731-3734). IEEE.
Yaşar, H., Eronat, A. T. İ. L. L. A., & Özbakır, I. (2022). Batıkent Metro Zemin deformasyonunun SAR görüntüleriyle Tespit Edilmesi. Premium E-Journals of Social Sciences, 6(25).
Yener, H., & Ongun, A. R. (2017). Sarıgöl Ovası yer altı su kaynaklarının sulama amaçlı kalitesinin değerlendirilmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4(3), 281-287.
Yılmaz, Y. (2000). Ege bölgesinin aktif tektoniği. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 3-14.
Zou, W., Li, Y., Li, Z., & Ding, X. (2009). Improvement of the accuracy of InSAR image co-registration based on tie points–a review. Sensors, 9(02), 1259-1281.
Xiong, J., Xiao, R., & He, X. (2021). Land surface deformation in Nanchang, China 2018–2020 revealed by multi-temporal InSAR. Natural Hazards Research, 1(4), 187-195.

EKLER

EK-1 SENETİNAL S1A/B GÖRÜNTÜLERİNİN ÜÇER AYLIK ZAMAN DİLİMLERİNİN 8 PERİYODA AİT ZAMAN ARALIKLARI

1. periyot 01.12.2019-29.02.2020	5. periyot 01.12.2020-28.02.2021
2. periyot 01.03.2020-31.05.2020	6. periyot 01.03.2021-31.05.2021
3. periyot 01.06.2020-31.08.2020	7. periyot 01.06.2021-31.08.2021
4. periyot 01.09.2020-30.11.2020	8. periyot 01.09.2021-30.11.2021

EK-2 1. Periyoda Ait Tablo

1. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	5.12.2019	VV	-30
2	S1A	11.12.2019	VV	-24
3	S1B	17.12.2019	VV	-18
4	S1A	23.12.2019	VV	-12
5	S1B	29.12.2019	VV	-6
6	S1A	04.01.2020	VV	0
7	S1B	10.01.2020	VV	6
8	S1A	16.01.2020	VV	12
9	S1B	22.01.2020	VV	18
10	S1A	28.01.2020	VV	24
11	S1B	03.02.2020	VV	30
12	S1A	09.02.2020	VV	36
13	S1B	15.02.2020	VV	42
14	S1A	21.02.2020	VV	48
15	S1B	27.02.2020	VV	54

1. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	6.12.2019	VV	-36
2	S1A	12.12.2019	VV	-30
3	S1B	18.12.2019	VV	-24
4	S1A	24.12.2019	VV	-18
5	S1B	30.12.2019	VV	-12
6	S1A	5.1.2020	VV	-6
7	S1B	11.1.2020	VV	0
8	S1A	17.1.2020	VV	6
9	S1B	23.1.2020	VV	12
10	S1A	29.1.2020	VV	18
11	S1B	4.2.2020	VV	24
12	S1A	10.2.2020	VV	30
13	S1B	16.2.2020	VV	36
14	S1A	22.2.2020	VV	42
15	S1A	28.2.2020	VV	48

EK-3 2. Periyoda Ait Tablo

2. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	04.03.2020	VV	-36
2	S1B	10.03.2020	VV	-30
3	S1A	16.03.2020	VV	-24
4	S1B	22.03.2020	VV	-18
5	S1A	28.03.2020	VV	-12
6	S1B	03.04.2020	VV	-6
7	S1A	09.04.2020	VV	0
8	S1B	15.04.2020	VV	6
9	S1A	21.04.2020	VV	12
10	S1B	27.04.2020	VV	18
11	S1A	03.05.2020	VV	24
12	S1B	09.05.2020	VV	30
13	S1A	15.05.2020	VV	36
14	S1B	21.05.2020	VV	42
15	S1A	27.05.2020	VV	48

2. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	05.03.2020	VV	-48
2	S1B	11.03.2020	VV	-42
3	S1A	17.03.2020	VV	-36
4	S1B	23.03.2020	VV	-30
5	S1A	29.03.2020	VV	-24
6	S1B	04.04.2020	VV	-18
7	S1B	16.04.2020	VV	-12
8	S1A	22.04.2020	VV	-6
9	S1B	28.04.2020	VV	0
10	S1A	04.05.2020	VV	6
11	S1B	10.05.2020	VV	12
12	S1A	16.05.2020	VV	18
13	S1B	22.05.2020	VV	24
14	S1A	28.05.2020	VV	30

EK-4 3. Periyoda Ait Tablo

3. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	02.06.2020	VV	-36
2	S1A	08.06.2020	VV	-30
3	S1B	14.06.2020	VV	-24
4	S1A	20.06.2020	VV	-18
5	S1B	26.06.2020	VV	-12
6	S1A	02.07.2020	VV	-6
7	S1B	08.07.2020	VV	0
8	S1A	14.07.2020	VV	6
9	S1B	20.07.2020	VV	12
10	S1A	26.07.2020	VV	18
11	S1B	01.08.2020	VV	24
12	S1A	07.08.2020	VV	30
13	S1B	13.08.2020	VV	36
14	S1A	19.08.2020	VV	42
15	S1B	25.08.2020	VV	48
16	S1A	31.08.2020	VV	54

3. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	03.06.2020	VV	-48
2	S1A	09.06.2020	VV	-42
3	S1B	15.06.2020	VV	-36
4	S1A	21.06.2020	VV	-30
5	S1B	27.06.2020	VV	-24
6	S1A	03.07.2020	VV	-18
7	S1B	09.07.2020	VV	-12
8	S1A	15.07.2020	VV	-6
9	S1B	21.07.2020	VV	0
10	S1A	27.07.2020	VV	6
11	S1B	02.08.2020	VV	12
12	S1A	08.08.2020	VV	18
13	S1B	14.08.2020	VV	24
14	S1A	20.08.2020	VV	30
15	S1B	26.08.2020	VV	36

EK-5 4. Periyoda Ait Tablo

4. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)	
1	S1B	06.09.2020	VV	-48	-48
2	S1A	12.09.2020	VV	-42	-42
3	S1B	18.09.2020	VV	-36	-36
4	S1A	24.09.2020	VV	-30	-30
5	S1B	30.09.2020	VV	-24	-24
6	S1A	06.10.2020	VV	-18	-18
7	S1B	12.10.2020	VV	-12	-12
8	S1A	18.10.2020	VV	-6	-6
9	S1B	24.10.2020	VV	0	0
10	S1A	30.10.2020	VV	6	6
11	S1B	05.11.2020	VV	12	12
12	S1A	11.11.2020	VV	18	18
13	S1B	17.11.2020	VV	24	24
14	S1A	23.11.2020	VV	30	30
15	S1B	29.11.2020	VV	36	36

4. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	01.09.2020	VV	-48
2	S1B	07.09.2020	VV	-42
3	S1A	13.09.2020	VV	-36
4	S1B	19.09.2020	VV	-30
5	S1A	25.09.2020	VV	-24
6	S1B	01.10.2020	VV	-18
7	S1A	07.10.2020	VV	-12
8	S1B	13.10.2020	VV	-6
9	S1A	19.10.2020	VV	0
10	S1B	25.10.2020	VV	6
11	S1A	31.10.2020	VV	12
12	S1B	06.11.2020	VV	18
13	S1A	12.11.2020	VV	24
14	S1B	18.11.2020	VV	30
15	S1A	24.11.2020	VV	36
16	S1B	30.11.2020	VV	42

EK-6 5. Periyoda Ait Tablo

5. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	05.12.2020	VV	-30
2	S1B	11.12.2020	VV	-24
3	S1A	17.12.2020	VV	-18
4	S1B	23.12.2020	VV	-12
5	S1A	29.12.2020	VV	-6
6	S1B	04.01.2021	VV	0
7	S1A	10.01.2021	VV	6
8	S1B	16.01.2021	VV	12
9	S1A	22.01.2021	VV	18
10	S1B	28.01.2021	VV	24
11	S1A	03.02.2021	VV	30
12	S1B	09.02.2021	VV	36
13	S1A	15.02.2021	VV	42
14	S1B	21.02.2021	VV	48
15	S1A	27.02.2021	VV	54

5. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	06.12.2020	VV	-36
2	S1B	12.12.2020	VV	-30
3	S1A	18.12.2020	VV	-24
4	S1B	24.12.2020	VV	-18
5	S1A	30.12.2020	VV	-12
6	S1B	05.01.2021	VV	-6
7	S1A	11.01.2021	VV	0
8	S1B	17.01.2021	VV	6
9	S1A	23.01.2021	VV	12
10	S1B	29.01.2021	VV	18
11	S1A	04.02.2021	VV	24
12	S1B	10.02.2021	VV	30
13	S1A	16.02.2021	VV	36
14	S1B	22.02.2021	VV	42
15	S1A	28.02.2021	VV	48

EK-7 6. Periyoda Ait Tablo

6. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	05.03.2021	VV	-30
2	S1A	11.03.2021	VV	-24
3	S1B	17.03.2021	VV	-18
4	S1A	23.03.2021	VV	-12
5	S1B	29.03.2021	VV	-6
6	S1A	04.04.2021	VV	0
7	S1B	10.04.2021	VV	6
8	S1A	16.04.2021	VV	12
9	S1B	22.04.2021	VV	18
10	S1A	28.04.2021	VV	24
11	S1B	04.05.2021	VV	30
12	S1A	10.05.2021	VV	36
13	S1B	16.05.2021	VV	42
14	S1A	22.05.2021	VV	48
15	S1B	28.05.2021	VV	54

6. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	06.03.2021	VV	-48
2	S1A	12.03.2021	VV	-42
3	S1B	18.03.2021	VV	-36
4	S1A	24.03.2021	VV	-30
5	S1B	30.03.2021	VV	-24
6	S1A	05.04.2021	VV	-18
7	S1B	11.04.2021	VV	-12
8	S1A	17.04.2021	VV	-6
9	S1B	23.04.2021	VV	0
10	S1A	29.04.2021	VV	6
11	S1B	05.05.2021	VV	12
12	S1A	11.05.2021	VV	18
13	S1B	17.05.2021	VV	24
14	S1A	23.05.2021	VV	30
15	S1B	29.05.2021	VV	36

EK-8 7. Periyoda Ait Tablo

7. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	03.06.2021	VV	-42
2	S1B	09.06.2021	VV	-36
3	S1A	15.06.2021	VV	-30
4	S1B	21.06.2021	VV	-24
5	S1A	27.06.2021	VV	-18
6	S1A	09.07.2021	VV	-6
7	S1B	15.07.2021	VV	0
8	S1A	21.07.2021	VV	6
9	S1B	27.07.2021	VV	12
10	S1A	02.08.2021	VV	18
11	S1B	08.08.2021	VV	24
12	S1A	14.08.2021	VV	30
13	S1B	20.08.2021	VV	36
14	S1A	26.08.2021	VV	42

7. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1A	04.06.2021	VV	-48
2	S1B	10.06.2021	VV	-42
3	S1A	16.06.2021	VV	-36
4	S1B	22.06.2021	VV	-30
5	S1A	28.06.2021	VV	-24
6	S1A	10.07.2021	VV	-12
7	S1B	16.07.2021	VV	-6
8	S1A	22.07.2021	VV	0
9	S1B	28.07.2021	VV	6
10	S1A	03.08.2021	VV	12
11	S1B	09.08.2021	VV	18
12	S1A	15.08.2021	VV	24
13	S1B	21.08.2021	VV	30
14	S1A	27.08.2021	VV	36

EK-9 8. Periyoda Ait Tablo

8. Periyot yükselen yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	01.09.2021	VV	-60
2	S1A	07.09.2021	VV	-54
3	S1B	13.09.2021	VV	-48
4	S1A	19.09.2021	VV	-42
5	S1B	25.09.2021	VV	-36
6	S1A	01.10.2021	VV	-30
7	S1B	07.10.2021	VV	-24
8	S1A	13.10.2021	VV	-18
9	S1B	19.10.2021	VV	-12
10	S1A	25.10.2021	VV	-6
11	S1B	31.10.2021	VV	0
12	S1A	06.11.2021	VV	6
13	S1B	12.11.2021	VV	12
14	S1A	18.11.2021	VV	18
15	S1B	24.11.2021	VV	24
16	S1A	30.11.2021	VV	30

8. Periyot alçalan yörünge görüntüleri

Sıra nuarası	Sensör	Görüntü Tarihi	Polarizasyon	Btemp (gün)
1	S1B	02.09.2021	VV	-30
2	S1A	08.09.2021	VV	-24
3	S1B	14.09.2021	VV	-18
4	S1A	20.09.2021	VV	-12
5	S1B	26.09.2021	VV	-6
6	S1A	02.10.2021	VV	0
7	S1B	08.10.2021	VV	6
8	S1A	14.10.2021	VV	12
9	S1B	20.10.2021	VV	18
10	S1A	26.10.2021	VV	24
11	S1B	01.11.2021	VV	30
12	S1A	07.11.2021	VV	36
13	S1B	13.11.2021	VV	42
14	S1A	19.11.2021	VV	48
15	S1B	25.11.2021	VV	54