



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOLGU ALANLARI YÜZEY DEFORMASYONLARININ UYDU GÖRÜNTÜLERİ
İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceren APAYDIN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212306409 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Ceren APAYDIN tarafından hazırlanan “**DOLGU ALANLARI YÜZEY DEFORMASYONLARININ UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Doç. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarık TORUN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 29/01/2024

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

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

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

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

İmza

Ceren APAYDIN

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım süresince bana destek olan, kıymetli babam Mustafa APAYDIN' a,

Hayatımın her anında benim isteklerimi kendi isteklerinin önüne koyarak gerçekleştirmeye çalışan sevgili annem Sevim APAYDIN' a,

Yaşamımda bana paylaşmayı öğreten, değerli ağabeyim ve meslektaşım Ceyhun APAYDIN' a,

Tez çalışmama başladığım ilk günden itibaren kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana yol gösterici olan, her zaman büyük destek ve anlayış gösteren eğitim süresince desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini bana aktarmaya çalışan danışmanım Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN' a

Teşekkürlerimle...

Ceren APAYDIN

AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1 Radar Yöntemleri	9
3.1.1 SAR-yapay açıklıklı radar	9
3.2 İnterferometrik SAR (InSAR).....	10
3.2.1 Diferansiyel InSAR tekniği – DInSAR	13
3.2.2 Persistent scatterers InSAR tekniği -PSInSAR.....	13
3.2.2.1 Sarproz	14
3.2.3 Small baseline InSAR (SBAS-InSAR).....	16
3.2.4 InSAR tekniğinin uygulama alanları	17
3.2.5 InSAR görüntüsünü etkileyen faktörler.....	17
3.2.5.1 Baz mesafesinin görüntü üzerindeki etkisi	17
3.2.5.2 Zamana bağlı uyumsuzluk.....	17
3.2.5.3 Atmosferin SAR görüntüleri üzerine etkisi	18
3.2.5.4 Bitki örtüsü.....	18
3.3 Sentinel Uydusu	19
3.3.1 Sentinel 1 uydusu.....	20
3.3.2 Sentinel-1 uydusu teknik özellikleri	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	23
4.1 Akyazı Stadyumu	23
4.2 Ordu-Giresun Havalimanı	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ.....	53

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOLGU ALANLARI YÜZEY DEFORMASYONLARININ UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

Ceren APAYDIN

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

Danışman: Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

ÖZET

Trabzon Akyazı Stadyumu, Ordu – Giresun Havalimanı deniz dolgusu üzerine inşa edilen yapılardır. Bu yapıların üzerindeki yüzey deformasyonlarının izlenmesi, yapılarda meydana gelebilecek aksaklıkların önlenmesi için çok büyük önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda, dolgu alanına tesis edilen bu yapılardaki yüzey deformasyonlarını belirlemek için Sentinel 1 uydularından elde edilen 2020 ile 2022 yılları arasındaki SAR görüntülerine PS-InSAR yöntemi uygulanmıştır. Uygulama sonucu Trabzon Akyazı stadyumu çevresinde bulunan noktaların hareketlerinin -7 mm ile 4 mm aralığında, Ordu-Giresun Havalimanında meydana gelen yüzey hareketlerinin ise -7 mm ile 8 mm aralığında değiştiği görülmüştür. Özellikle dolgu alanlarının sahil kesimindeki değişimlerin negatif, karasal kesimlerinde ise küçük ve pozitif yönde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, dolgu alanı üzerindeki yapıların sürekli olarak izlenmesinde InSAR zaman serisi yöntemlerinin ve SAR uydu görüntülerinin kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, Sentinel, SAR, InSAR, Ps-InSAR.

Ocak, 2024; 53 sayfa

M.Sc. THESIS

**DETERMINATION OF SURFACE DEFORMATIONS IN FILLING AREAS
USING SATELLITE IMAGES**

Ceren APAYDIN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geodesy**

Supervisor: Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN

ABSTRACT

Trabzon Akyazi Stadium, Ordu – Giresun Airport are structures built on the sea embankment. Monitoring the surface deformations on these structures is of great importance for preventing the glitches that may occur in the structures. For this purpose, the PS-InSAR method was applied to SAR images obtained from Sentinel 1 satellites between 2020 and 2022 to determine the surface deformations in these structures built in the filling area. As a result of the application, it was observed that the movements of the points around Trabzon Akyazı stadium varied between -7 mm and 4 mm, and the surface movements at Ordu-Giresun Airport varied between -7 mm and 8 mm. It has been determined that the changes, especially in the coastal part of the filling areas, are negative, while in the terrestrial parts they are small and positive. Additionally, the results obtained revealed the usability of InSAR time series methods and SAR satellite images in continuous monitoring of structures on the fill area.

Keywords: Deformation, Sentinel, SAR, InSAR, Ps-InSAR.

January, 2024; 53 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. SAR sisteminin çalışma prensibi (URL-1).....	10
Şekil 3.2. InSAR ile yüzey hareketinin ölçülmesi (URL-2).....	11
Şekil 3.3. Tek geçişli InSAR tekniği geometrisi ve matematiksel bağıntılar.	12
Şekil 3.4. SARPROZ uygulamasında PSI İşlemenin basitleştirilmiş iş akışı (URL-4).	14
Şekil 3.5. SARPROZ arayüzü.....	15
Şekil 3.6. APS tahmin modülü.....	15
Şekil 3.7. SARPROZ yazılımında PS-INSAR işleminin akış şeması.	16
Şekil 3.8. Sentinel-1 uydusu (URL-7).	21
Şekil 4.1. Akyazı Stadyumu.	23
Şekil 4.2. Akyazı Stadyumu çalışma alanı.	24
Şekil 4.3. Akyazı Stadyumu çalışma alanındaki slave görüntülerin master görüntüye göre dik bazları.	26
Şekil 4.4. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen APS noktaları.	27
Şekil 4.5. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.	27
Şekil 4.6. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.	28
Şekil 4.7. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı ve bölgeler.....	28
Şekil 4.8. Akyazı Stadyumunun kuzeyinden rastgele seçilen ilk nokta.	29
Şekil 4.9. Akyazı Stadyumunun kuzeyinden rastgele seçilen ikinci nokta.....	30
Şekil 4.10. Akyazı Stadyumunun doğusundan rastgele seçilen üçüncü nokta.	30
Şekil 4.11. Akyazı Stadyumunun güneyinden rastgele seçilen dördüncü nokta.	31
Şekil 4.12. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (4 bölge için).....	31
Şekil 4.13. Akyazı Stadyumu PS noktaları 1069 günlük hız değerleri (4 bölge için).	32
Şekil 4.14. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (1.Bölge).	32
Şekil 4.15. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (2.Bölge).	33
Şekil 4.16. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (3.Bölge).	34
Şekil 4.17. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (4.Bölge).	34
Şekil 4.18. Ordu-Giresun Havalimanı.	35
Şekil 4.19. Ordu-Giresun çalışma alanı.	36
Şekil 4.20. Çalışma alanındaki slave görüntülerin master görüntüye göre dik bazları.	38
Şekil 4.21. Çalışma alanında belirlenen APS noktaları.	38
Şekil 4.22. Çalışma alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.	39
Şekil 4.23. Çalışma alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.	39
Şekil 4.24. Çalışma alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı.	40
Şekil 4.25. Ordu-Giresun Havalimanı yıllık lineer hızları (5 Bölge için).	40
Şekil 4.26. Ordu-Giresun Havalimanı PS noktaları 1081 günlük lineer hız değerleri (5 bölge için).	41
Şekil 4.27. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (1.Bölge).	41
Şekil 4.28. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (2.Bölge).	42
Şekil 4.29. Havalimanı pistinde yer alan 372 nolu noktanın zaman serisi.	42

Şekil 4.30. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (3.Bölge).	43
Şekil 4.31. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (4.Bölge).	44
Şekil 4.32. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (5.Bölge).	44



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Radar tekniği kullanan uzay araçlarının başlıcaları.....	9
Çizelge 3.2. InSAR görüntüsünü etkileyen parametreler.	19
Çizelge 3.3. Sentinel-1 uydusu teknik özellikleri.	22
Çizelge 4.1. Çalışma alanında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.....	25
Çizelge 4.2. Çalışma alanında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.....	37



SİMGELER VE KISALTMALAR

B	İnterferometre baz uzunluğu
c	Işık hızı
Cosmo SkyMed	Constellation of Small Satellites for Mediterranean Basin Observation
DInSAR	Diferansiyel İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar
EC	Avrupa Komisyonu
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
EAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GPS	Global Konum Belirleme Sistemi
h	Objenin yüksekliği
InSAR	İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar
LOS	Uydu Bakış Doğrultusu (Line of Sight)
MATLAB	Matrix Laboratory
PS-INSAR	Kalıcı/Daimi yansıtıcı InSAR (Permanent/Persistent Scatterer InSAR)
R	Objeye ile uydu arasındaki mesafe
RADAR	Radio Detecting And Ranging
SAR	Yapay Açıklıklı Radar
SBAS-InSAR	Small Baseline Yapay Açıklıklı Radar
SNAP	Sentinel Uygulama Platformu (Sentinel Application Platform)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
StaMPS	Stanford Method for Persistent Scatterers
Θ	Bakış açısı
$\Delta\phi$	Faz farkı
λ	Dalga boyu

1. GİRİŞ

Dünyanın çeşitli bölgelerinde arazinin engebeli yapısı arazi kullanımını sınırlandırmaktadır. Buna bağlı olarak farklı yöntemlerle yeni alanlar oluşturma fikirleri ortaya çıkmıştır.

Günümüzde, Doğu Karadeniz bölgesinde arazi ihtiyacı karşılanamamaktadır. Birçok kıyı ülkesinde olduğu gibi denize yapılan dolgu alanlar ile yeni yerler oluşturularak bu ihtiyaç karşılanmaktadır. Bu yöntemle inşa edilen yapılar dikkat çekici olmuştur (Liu vd., 2019). Bu yapılara Akyazı Stadyumu ve inşaatı devam eden Trabzon Şehir Hastanesi, Ordu-Giresun Havalimanı ve Rize-Artvin Havalimanı örnek olarak verilebilir. Dolgu alanları üzerine inşa edilen yapıların temelleri jeolojik olarak hareketli bir yapıya sahiptir.

Karadeniz Devlet sahil yolunun dolgu sahası olması ve deniz dolgularına yapılan büyük yapılarında da zamanla çökmeler gerçekleşebileceği de görülmektedir. Dolgu alanlarındaki bu tür problemler nedeniyle ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi nedeniyle bu tür alanlardaki deformasyonların incelenmesi gerekmektedir.

Deniz üstü dolgu alanı ve yapı inşaatı için kullanılan bir saha, toprak parçası olarak kısa bir geçmişe sahip olduğundan, çok düşük stabilize ve zayıf bir temel jeolojisine sahiptir (Liu vd., 2019). Bu nedenle, bu tür alanlar üzerine inşa edilen yapıların temel yerleşimi önemli bir sorundur. Özellikle altyapıda meydana gelebilecek çökmeler ve dolgu sahası üzerinde bulunan binalarda önemli bir sorunu ortaya çıkarmaktadır. Yüksek risk taşıyan bu büyük yapılardaki deformasyonun belirlenmesi ve takip edilmesi risklerin değerlendirilmesinde hayati önem taşımaktadır (Bayık, 2021).

Deformasyonların belirlenmesinde farklı teknikler kullanılmaktadır. GPS (Global Positioning System), elektromanyetik mesafe ölçerler gibi jeodezik ölçme sistemleri vardır. Yeryüzü deformasyonunun belirlenmesi için tekrarlı yersel ölçümlere gereksinim duymaktadır (Wang vd., 2011).

InSAR (İnterferometrik yapay açık radar sistemi) arazi çalışması gerektirmemesi, ücretsiz veri erişimi ile arşiv verilerinin cm altı seviyelerde alansal izleme yeteneğine sahip olması son yıllarda deformasyon ölçmelerinde çoğunlukla tercih edilen bir jeodezik izleme tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır (Yalvaç, 2020). Bu teknik, geri

dönen sinyallerin gecikmelerini kullanarak sinyal işleme tekniğiyle yüksek çözünürlüklü görüntüleri dönüştürmektedir. Diğer metotlardan farklı olarak çalışma alanının geniş olması ve hassas sonuçlar vermesidir (Hu vd., 2014).

Bu kapsamda, Trabzon ilinde deniz dolgusu yapılarak oluşturulmuş alanlara inşa edilmiş olan Akyazı Stadyumu ve Ordu-Giresun illeri arasında deniz dolgusu yapılarak inşa edilmiş Ordu-Giresun Havalimanı yüzey hareketleri InSAR yöntemiyle incelenmesi bu tez çalışmasında ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, dolgu yapılan sahalardaki lokal yer değiştirmelerin zamansal olarak belirlenmesini Kalıcı Yansıtıcı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (Ps-InSAR) tekniği ile analiz etmek ve analiz sonucunda meydana gelen değişimlerin yani lineer hızların büyüklüğünü ve yönünü belirleyerek olası neden olduğu etkilerin belirlenmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez çalışmasının bu bölümünde yüzey deformasyonlarının özellikle de dolgu alanlarındaki olası deformasyonların araştırılması ile ilgili ulusal ve uluslararası yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Şengün (2009), İzmit depreminde meydana gelen deformasyonların belirlenmesi için GPS ve InSAR ölçülerini birlikte kullanmıştır. InSAR ölçülerinin doğruluğu GPS ölçüleri yardımı ile değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada Fayın kuzeyin de bulunan GPS noktaları ile aynı noktadaki InSAR ölçüleri karşılaştırma yapıldığında farkların ortalaması 38 mm, fayın güneyinde bulunan 3 nokta için de farkların hepsi aynı yönlü ve ortalaması 70 mm olarak tespit edilmiştir.

Hastaoğlu vd. (2014), Sivas/Koyunhisar heyelan sahasına ait Insar yöntemiyle belirlemeye çalışmışlardır. 2001-2009 yılları arasındaki alçalan ve yükselen ENVISAT uydusuna ait SAR görüntüleri kullanılmış ve proje alanının kuzeyinde genel bir çökmeyi, güneyinde ise yükselme meydana geldiği belirlenmiştir.

Poyraz vd. (2015), yaptıkları çalışmada 2013 Mart ayından 2014 Ekim ayı arasındaki TERRASAR-X uydu görüntülerini Ps-InSAR tekniği ile işleyerek Gediz Grabeninin bulunduğu bölgelerde çökmelerin, kuzeyinde ve güneyindeki bölgelerde ise yükselmelerin olduğu anlaşılmaktadır.

Orhan (2018), doktora tezi çalışmasında Karapınar ve çevresine ait belirli dönemlerde elde edilen Sentinel-1 (2014-2017) ve Cosmo-SkyMed (2016) uydu verilerinden oluşan SAR görüntüleriyle deformasyon analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda çalışma alanında yıllık 55 mm'ye kadar çökme değerleri saptanmıştır.

Karslıoğlu vd. (2020), Konya ili Karapınar ilçesindeki bölgesel çökmeleri belirlemek için Mayıs 2019 - Mayıs 2020 tarihleri arasındaki Sentinel-1 SAR uydusunun görüntülerinden faydalananarak diferansiyel InSAR verileri kullanılarak bölgesel çökmelerin çoğunlukla 5-10 cm/yıl olduğunu ve bölgenin kuzeyine doğru gidildikçe arttığını belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda ilgili alanda en yüksek çökmenin ise 23,7 cm/yıl olarak gözlemlenmiştir.

Oktar (2020), doktora tez çalışmasında Büyük Menderes Graben bölgesini tamamen kapsayacak şekilde 2016-2018 yılları arasında alınan 36 adet SAR görüntüsüyle PS-InSAR analizi StaMPS programı kullanılarak gerçekleştirmiştir. Analizler sonucunda bölgede çökme ve yükselme tespit etmiştir. Büyük Menderes Graben bölgesi için uydu bakış doğrultusundaki hızları belirlemiştir.

Bayık (2021), çalışmasında Ordu-Giresun Havalimanı'nın yüzey deformasyonunu araştırmıştır. Bu amaç ile Sentinel-1A/B görüntüleri, aynı alan içerisinde geometride alçalan yörüngede elde edilerek Sürekli Saçıcılar İnterferometrisi (PSI) tekniğiyle zaman serileri analiz edilmiştir. Yapılan analizlerin değerlendirilmesi sonucunda Ağustos 2017 ve Şubat 2019 tarihleri arasındaki Ordu-Giresun Havalimanı'nda deformasyon değeri yaklaşık -14 ile 9 mm arasında olduğu görülmüştür.

Gündoğdu (2021), yüksek lisans tez çalışmasında farklı afet türlerinin InSAR yöntemi ile geliştirilen PS-InSAR yöntemi, DInSAR yöntemi ve değişim analizleri ile araştırmıştır. Yaptığı uygulamalarda Sentinel-1 uyduları kullanılarak elde edilen SAR görüntüsü ve SARPROZ programı kullanmıştır. PS-InSAR yöntemi ve DInSAR yöntemiyle yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçların yeterli olması sonucunda InSAR yönteminin farklı afet araştırmalarında kullanılabileceği gösterdiğini ifade etmektedir.

Altıntaş (2022), çalışmasında Akyazı Stadyumunda meydana gelen düşey ve yatay yüzey değişimleri StaMPS PSI ve hassas nivelman yöntemleri kullanılarak tespit etmiştir. Ocak 2018 ve Ocak 2020 tarih aralığında, 39 obje ve 2 sabit ile toplam 41 nivelman noktasında 5 periyot olarak gerçekleştirilen hassas nivelman ölçüleri sonucunda -11,1 mm/y değerinde çökme oranları tespit edilmiştir. Aynı zaman aralığında 63 adet yükselen ve 62 adet alçalan yörüngelerdeki SAR görüntülerinin StaMPS PSI yöntemiyle değerlendirilmesiyle üretilen PS noktalarına ait deformasyon oranları LOS 125 yönünde alçalan yörünge üzerinde ise -12,4 mm/y ile 8,4 mm/y ve yükselen yörünge üzerinde -12,5 mm/y ile 7 mm/y arasında elde edilmiştir.

Yağmur (2022), çalışmasında İstanbul havalimanında Kasım 2018 ve Kasım 2021 zaman aralığında meydana gelen yapısal hareketler Sabit Saçıcı İnterferometri (PSI – Persistent Scatterer Interferometry) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. 186 Sentinel-1 SAR görüntüsü kullanılmıştır. Daha sonra C pisti için gerçekleştirilen analizde de

Temmuz 2020 ve Kasım 2021 tarihleri arasında 85 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre havalimanının kuzey kesimlerinde uydu bakış yönünde negatif yönde deformasyon tespit edilirken, güney kesimlerinde ise pozitif yönde deformasyon tespit edilmiştir. Değerlendirilen sonuçlarda özellikle dolgu sahaları üzerine inşa edilen yapılarda ve özellikle havalimanlarında hem yersel hem de uydu bazlı sürekli izleme sistemlerinin kurulması için yol gösterici olarak kullanılabilecektir.

Yalvaç (2023), yaptığı çalışmada Samsun 19 Mayıs Stadyumu ve çevresinde oluşan deformasyonları belirlemek için 2021 ile 2023 yılları arasında alınan 25 SAR görüntüsünü kullanarak PSI tekniğiyle analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde, interferogramların üretilmesi için SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımı, daimi yansıtıcı noktaların üretilerek zaman serilerinin oluşturulmasında ise StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) yazılımı kullanılmıştır. Analiz sonucunda, stadyum çevresinde bulunan yapılarda deformasyon tespit edilmez iken Samsun 19 Mayıs Stadyumunda yıllık hızı 5-10 mm arasında çökme ve yükselme yönlü deformasyonlar belirlenmiştir.

Perissin vd. (2012), Şangay da bulunan Metro tünelleri kazısı sonrasında yüzey çökmesini belirlemek için çalışma yapmışlardır. Sonuçlar SARPROZ programı ile Cosmo SkyMed görüntülerinden oluşan bir veri seti kullanılarak yüzey çökmelerini belirlenmiştir.

Qishi vd. (2016), yaptıkları çalışmada Hong Kong Uluslararası Havalimanı (HKIA), çoğunlukla denizden elde edilen bir platform üzerine inşa edilmiştir. Ekim 2008 ve Aralık 2009 tarihleri arasında elde edilen 29 TerraSAR-X Spotlight görüntüleri kullanılmıştır. Sonuç olarak zemin çökme oranı, özellikle kuzey pisti ve güneybatı köşesinde yıllık 25 mm olarak elde edilmiştir.

Jiang vd. (2016), yaptıkları çalışmada Pudong Uluslararası Havalimanında zaman serisi Eylül 2011'den Ekim 2012 tarihleri arasında yüksek çözünürlüklü TerraSAR-X uydu görüntülerinin analizi PSI tekniği kullanılarak havaalanında meydana gelen deformasyon oranı yılda 2 cm'den fazla olduğu belirlenmiştir.

Hongyue vd. (2018), tarafından yapılan çalışmada Mart 2015- Şubat 2017 arasındaki dönemde Çin'deki Cangzhou'un zemin çökmesini InSAR zaman serisi tekniği ile

izlemiştir. Ardından çakışan üç alanı (Xinhua Bölgesi, Botou İlçesi ve Dongguang İlçesi) dikkate alarak sonuçların doğruluğunu doğrulamak için aynı dönemde (Temmuz 2015'ten Aralık 2016'ya kadar) elde edilen iki izleme sonucunu seçilmiştir. Bu analiz, her iki sonuç türünün de iyi bir tutarlılığa sahip olduğunu ve maksimum çökmenin Dongguang İlçesinde meydana geldiğini açıkça gösterdi. Dongguang'ın merkez bölgesi ve ilgili kentsel gelişim üzerinde daha fazla araştırma yaparak, çalışma süresi boyunca çökmenin yaklaşık 80 mm'ye ulaştığı tespit edilmiştir.

Chen vd. (2019), yaptıkları çalışmada 2015 - 2018 yılları arasında Xuzhou'nun merkezi bölgelerinde arazi yüzeyi deformasyonunun uzamsal modelini ve zamansal gelişimini karakterize etmek için ayrıntılı bir InSAR zaman serisi analizi yapılmıştır. Sonuçlar Xuzhou kentsel alanlarında, özellikle yapım aşamasındaki metro hatları boyunca, yeni geliştirilen ilçelerde ve eski kömür ocaklarında, gözle görülür arazi çökmesi (-5 ile -41 mm/yıl) geniş çapta ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Chen vd. (2020), Çin'in Hebei bölgesinde yapılan çalışmada madencilik faaliyetleri sonucunda oluşan deformasyonları araştırma amacıyla Haziran 2015 - Ocak 2016 tarihleri arasındaki Terra-SAR ve Sentinel-1 görüntülerini kullanılmış ve çalışma sonucunda yıllık 125 mm'ye varan değişim hızları tespit edilmiştir.

Bianchini vd. (2020), yaptıkları çalışmada Leonardo da Vinci Uluslararası Havalimanındaki Eylül 2011'den Ekim 2019'a kadar elde edilen COSMO-SkyMed ve Sentinel1A uydu görüntülerinin analizi PSI tekniğini kullanarak ortalama deformasyon hızını elde etmek ve havaalanı pistlerinde meydana gelen yüzey deformasyonları belirlenmiştir. Sonuç olarak, incelenen süre boyunca maksimum çökme oranının yıllık 15,3 mm kadar olduğu saptanmıştır.

Dai vd. (2020), yaptıkları çalışmada Pekin Başkent Uluslararası Havalimanında zaman serisi Kasım 2017'den Mart 2019'a kadar elde edilen COSMO-SkyMed analizi PSI tekniğini kullanarak çökme tehlikesi belirlenmiştir. Pistin orta bölümleri yıllık 30 mm'den fazla oranda çökme ve güney esim için yıllık 17 mm çökme meydana gelmiştir. Yeraltı sularının çekilmesi, aktif faylar ve sıkıştırılabilir toprak kalınlığı çökmelerin faktörü olarak belirlenmiştir.

Taftoglou Maria vd. (2023), çalışmalarında Doğu Anadolu Fay Zonu'nda (EAFZ) meydana gelen 6 Şubat 2023 deprem çifti (Mw 7,7 ve Mw 7,6), Güneydoğu Türkiye ve Kuzeybatı Suriye'de önemli miktarda zemin sıvılaşma olayını üzerine yaptıkları çalışmada etkilenen alanın büyük alansal kapsamı ve hızlı müdahale gerekliliği, sıvılaşma olayını uzaktan algılama verilerine dayalı olarak haritalamak için planladıkları iş akışına göre uydu görüntülerini kullanarak sıvılaşmanın görüldüğü ve yanal yayılma deformasyonunun görüldüğü 1850 alan belirlediler. Optik uydu görüntüleri (yüksek ve çok yüksek çözünürlüklü) ile görsel haritalamaya ve radar uydu görüntüleri ve interferometri yardımıyla depremle tetiklenen sıvılaşmanın kapsamlı bir haritasını elde ettiler alanların çoğunluğunun Doğu Anadolu Fayı boyunca uzanan nehir vadileri, kıyı ovaları, kurutulan göller, bataklıklar ve göl havzalarının kıvrımlı kesimlerinde bulunması, sıvılaşma olgusunun dağılımı üzerinde jeomorfoloji/yüzey jeolojisinin etkisini bir kez daha vurgulamaktadır. Sıvılaşma olaylarının toplam %95'i, fayın yüzey izinden itibaren 25 km'lik mesafe içerisinde haritalanmıştır. Bu durum sıvılaşmanın dağılımını tahmin etmede merkez üssü mesafeden daha etkili bir araç olarak fay kırılmasına olan mesafeyi doğrulamaktadır. Böylece, bu olayların zaman, maliyet ve saha araştırma tekniklerinin erişilebilirliği açısından sınırlamalar olmaksızın hızlı bir şekilde belgelenmesi dikkate alındığında, bu masaüstü tabanlı yaklaşım, güçlü bir depremde kaynaklanan sıvılaşmanın hızlı ve kapsamlı bir haritasıyla sonuçlanabilir ve sıvılaşma tehlikesi haritalaması için daha sonraki saha araştırmaları için gelecekte bir rehber olarak da kullanılabilirliği görülmüştür.

Chen vd. (2023), SAR interferometrisi ve madencilik çökme modelini bütünleştirerek, Çin'de dolgu madenciliği alanı üzerindeki arazi yüzeyi deformasyonunu ortaya çıkarmak için yaptıkları çalışmada, Doldurulan kömür madenlerinin yüzey deformasyonunun düzenli olarak izlenmesi ve bunların uzay-zamansal evrim özelliklerinin anlaşılması, madencilik yönetimi ve afet uyarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, dolgu madenciliği alanlarındaki büyük ölçekli ve yüksek çözünürlüklü yüzey deformasyonunun uzay-zamansal evrim özelliklerinin ortaya çıkarılması ve çökme sınırlamasının dolgu etkinliğinin değerlendirilmesi konusunda araştırma eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışmada Çin'in Shandong Eyaletindeki Yineng Kömür Madeni ve kömür madeni çevresini çalışma alanı olarak seçilmiş ve zaman serisi analizi için gelişmiş dağıtılmış dağıtıcı interferometrik sentetik açıklıklı radar (DS InSAR) tekniği benimsendi. Bitki örtüsünün neden olduğu

zamansal korelasyondan dolayı InSAR gözlem noktalarının seyrekliğinin üstesinden gelmek için, dolgu madenciliği için olasılık integral yöntemi (PIM) modeli ve arktanjan zaman fonksiyonu DS InSAR ile entegre edildi. Sonuçlar, önerilen entegrasyon stratejisinin etkili izleme noktalarının sayısını arttırmada ve çalışma yüzünün yüzey deformasyonuna ilişkin tam uzay-zamansal bilgi elde etmede yardımcı olduğunu göstermektedir. Yüzey deformasyonunun mekansal ve zamansal gelişim özellikleri detaylı bir şekilde analiz edilerek, dolgu madenciliği teknolojisinin çökme azaltıcı etkisi ilk kez uzaktan algılama yöntemi yardımıyla araştırılmıştır. Önerilen stratejinin etkinliği ve sınırlamaları tartışılmış ve maden sahalarının doldurulmasında entegrasyon yöntemleriyle yüzey deformasyonunun izlenmesi araştırılmıştır. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir. DS InSAR ve PIM modelinin önerilen entegrasyon stratejisi, çalışma yüzünün yüzey deformasyonunun uzay-zamansal bilgilerinin tamamının elde edilmesinde faydalıdır. Çalışma alanının tamamında madencilik nedeniyle sekiz önemli deformasyon bölgesi oluşturulmuştur. Yineng başlangıç madeni hariç, deformasyondan etkilenen gözlenen alan yaklaşık 14,26 km²'dir ve maksimum deformasyon oranı -48,40 mm/yıl'dır. Yineng başlangıç madenindeki altı çalışma yüzünün tümü, çalışma süresi boyunca farklı derecelerde yüzey deformasyonu sergiliyor. CG1301 çalışma yüzeyinin çıkarılmasından sonraki 4-5 yıl içinde hâlâ -48,60 mm'lik ortalama artık deformasyon mevcuttu; bu bulgu, dolgu madenciliği alanında kalan deformasyonun düzenli olarak izlenmesinin önemli olduğunu göstermektedir. LOS boyunca CG1312 çalışma yüzündeki maksimum deformasyon -138 mm'dir ve etkilenen alan yaklaşık 2,5 km²'dir. Dolgu madenciliği teknolojisi, çalışma yüzeyinin yüzey çökme aralığını %22,00 oranında azalttı ve birikmiş maksimum çökme %61,50 oranında azaldı; bu azalma yüzey binalarına yönelik potansiyel tehdidi önemli ölçüde azalttı. Yineng Kömür Madeni'nin ilk maden ocağındaki fayların dağılımı, yüzey deformasyonunun mekansal modelinin karmaşıklığını arttırmaktadır. Yerel mekansal heterojenlik InSAR ve tesviye ile yakalanabilir ancak madencilik çöküntü modeli tarafından dikkate alınmamıştır; bu da iki aracın entegrasyonunun büyük önem taşıdığını gösterir. Bu araştırma, madencilik çöküntülerinin izlenmesinde InSAR uygulamalarının sınırlamalarının üstesinden gelmek için yararlı bilgiler sağlayabilir ve maden alanlarının dolgusunda afet önleme ve genel planlama için önemli bir referans sağlayabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Radar Yöntemleri

RADAR (Radio Detection and Ranging) uzayda yer alan cisimlerin konumlarını radyo dalgaları yardımlarıyla belirler. RADAR hem hava koşullarının değişkenlik gösterdiği durumlarda hem de gece ve gündüz çalışabilmektedir (Şentürk, 2020).

Radar, özellikle ikinci dünya savaşı ve sonrasında büyük ilerlemeler göstermiştir. Uzaktan algılama da birçok uzay aracının kullandığı bir sistem haline gelmiştir. İkinci dünya savaşı döneminde ülkelerin kendilerini savunmak ve uçakların yerlerini tespit etmek için kullanmışlardır. Bu yöntem sonraları uzaktan algılamada önemli bir yere gelmiştir. Bugüne kadar Radar tekniği ile çalışan birçok uzay aracı yeryüzüne ilişkin veri toplamıştır (Sefercik, 2007). Radar tekniği kullanan uzay araçlarına ait bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelge 3.1’deki tüm uzay araçları Radar ölçme yönteminin en gelişmiş tekniği olan SAR (Yapay Açıklıklı Radar) tekniğini kullanmışlardır.

Çizelge 3.1. Radar tekniği kullanan uzay araçlarının başlıcaları.

Uzay Aracı	Ülke	Fırlatılış Yılı	Yörünge Yüksekliği	Bant
ENVİSAT	ESA’nın 13 üyesi + Kanada, Fransa,İngiltere	2002	800 km	C
JERS-1	Japonya	1992	570 km	L
COSMO- SKYMED	İtalya	2007	620km	X
RADARSAT-1	Kanada	1995	798 km	C

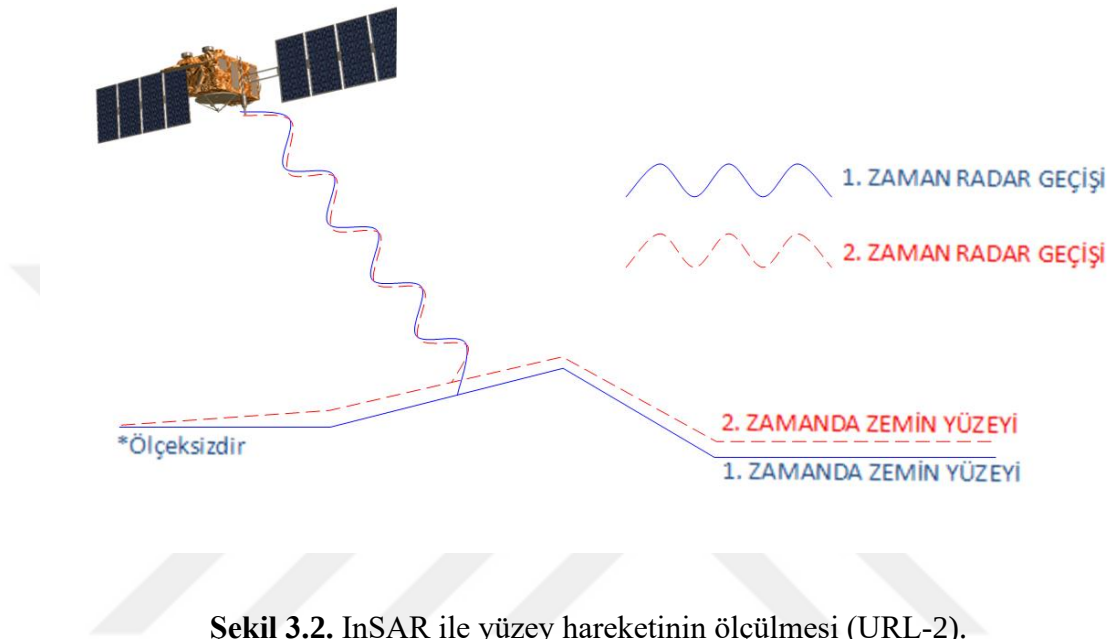
3.1.1 SAR-yapay açıklıklı radar

Yapay Açıklıklı Radar (SAR) teknolojisi, mikrodalgaları yayıp bunların geri dönüş sinyallerini kayıt ederek kendi aydınlanmasını sağlayan bir sistemdir. SAR sistemlerinin oluşturulma nedeni gerçek açıklıklı radar sistemlerine göre daha iyi azimut çözünürlüğü sağlamasındandır (Deliormanlı, 2009).

SAR sistemleri mikrodalga frekansında çalışır. Bulutlardan geçebilme özelliği vardır. Bu sistem de geri dönen sinyallerin gecikmelerini kullanılarak sinyal işleme tekniği ve

kilometrekare başına düşen ölçüm noktaları cinsinden maliyeti, GPS gibi diğer deformasyon ölçüm tekniklerinden daha azdır.

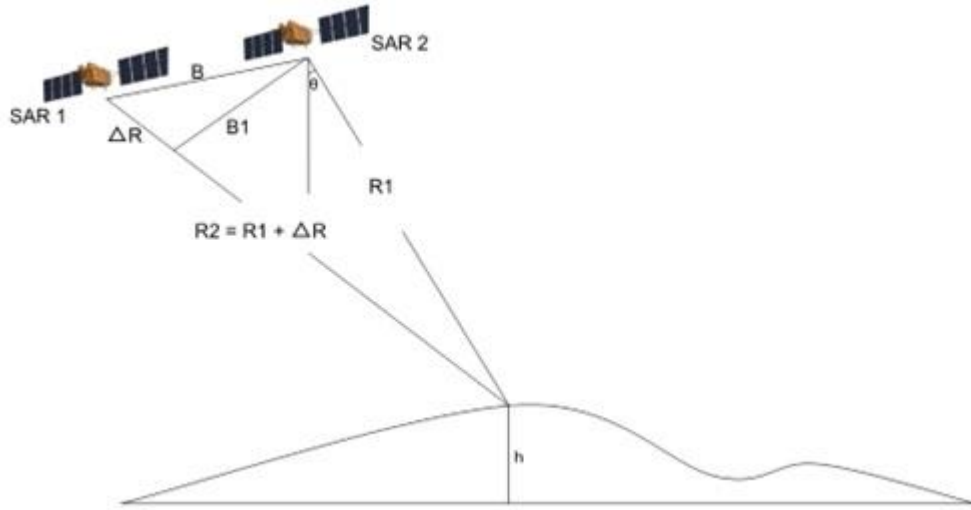
Gelişmiş InSAR teknikleri, milimetre hassasiyetinde zemin deformasyon ölçümleri için iyi bir araç seti ve çok zamanlı SAR verisinin zaman serisi analizini sağlar (İmamoğlu vd., 2020). Insar ile yüzey hareketinin ölçülmesi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. InSAR ile yüzey hareketinin ölçülmesi (URL-2).

Yörüngedeki bir uydu, yüzeye tutarlı bir radar sinyali gönderir. Geri saçılan radyasyonu ölçer. İki farklı zamanda (1. zaman mavi ve 2. zaman kırmızı) geri dönen sinyaller arasındaki faz farkı (dalga döngüsündeki konum), bir dizi mekanizmanın neden olduğu yer hareketini tahmin etmek için kullanılabilir (Biggs ve Wright, 2020).

Şekil 3.3’te Tek geçişli InSAR tekniği geometrisi ve matematiksel bağıntıları verilmiştir.



Şekil 3.3. Tek geçişli InSAR tekniği geometrisi ve matematiksel bağıntılar.

B : İnterferometre baz uzunluğu (iki SAR sistemi arasında ki uzunluk)

R : Obje ile uydu arasında ki mesafe

ΔR : SAR1 ve SAR2'nin objeye olan uzaklıklarının farkı

h : Objenin yüksekliği

Θ : Bakış açısı

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = (4\pi/\lambda)(R_2 - R_1) \quad (1.1)$$

Burada;

$\Delta\varphi$: Faz farkı

λ : Dalga boyu'nu ifade etmektedir.

InSAR tekniğinin tabanı faz bilgisine dayanmaktadır. Radar uydu algılayıcılarının eğik görüntüleme açısı sayesinde sinyalin uydudan hedefe geliş ve dönüş süreleri arasındaki fark bilgiyi üretir (Doğru vd., 2011).

Uzay bazlı radar interferometri tekniğiyle yüzey deformasyonlarının izlenmesinde 3 ayrı yaklaşım söz konusudur. Bunlar Diferansiyel InSAR (DInSAR), Daimi Yansıtıcı InSAR (PSInSAR) ve Small Baseline InSAR 'dır.

3.2.1 Diferansiyel InSAR tekniği – DInSAR

Diferansiyel SAR İnterferometrisi (DInSAR), uydu yörüngelerinin çok yüksek kararlılığı nedeniyle, iki veya daha fazla SAR görüntüsü arasındaki faz farkının taşıdığı bilgilendirici katkının kullanılmasının mümkün olduğu ilkesine dayanan aktif bir uzaktan algılama tekniğidir.

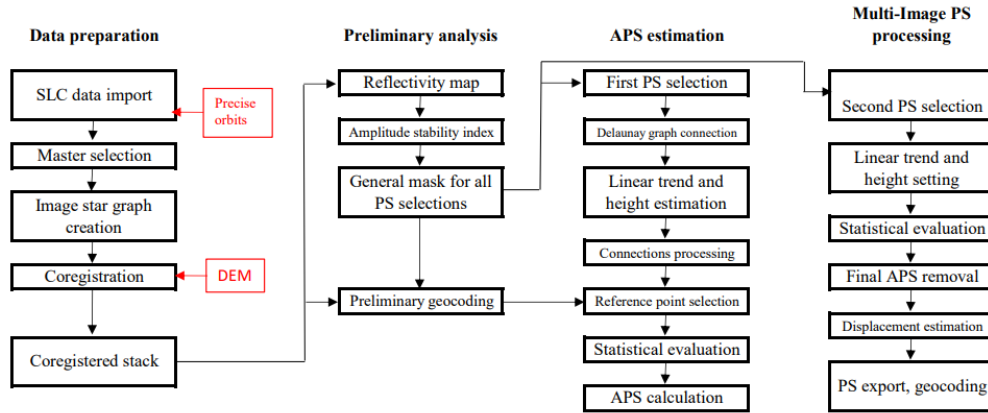
Diferansiyel SAR İnterferometrisi (DInSAR) tekniği kullanılarak görüntüler farklı zamanlarda (zamansal taban çizgisi) elde edildiğinde, yüzeydeki değişiklikleri ölçmek mümkündür. Bu ölçümler, saçaklar veya interferogram adı verilen bir dizi renkli bantla gösterilir. Kullanılan elektromanyetik dalgalar, yaklaşık 5 cm aralıklı tepelerin değişmesiyle karakterize edilir, bu mesafeye dalga boyu denir. Radarın gözlemlediği nesnenin ne kadar uzakta olduğunu anlayabilmesi için bu tepeleri "sayması" gerekir. Aynı zamanda yüzlerce kilometre uzağa da yerleştirilebilen nesne yalnızca birkaç santimetre hareket ederse, elektromanyetik dalgaları karakterize eden tepelerin sayısı da değişecek ve bu da yer değiştirmeyi santimetre hassasiyetiyle tespit etmenize ve doğru bir şekilde ölçmenize olanak tanıyacaktır.

İnterferometrik teknikler yalnızca sensörün görüş hattı boyunca ölçülen zemin deformasyon haritalarını üretmekle kalmaz, aynı zamanda zaman içinde elde edilen bir dizi görüntüden yararlanarak, deformasyonun zamansal evrimini takip etmemize izin verir. Örneğin, volkanik alanlardaki zemin deformasyonunun ölçümü son derece önemlidir çünkü bunlar genellikle patlamaların habercisidir veya volkanik aktivitede bir artışa işaret eder. Ve bu amaçla kullanılan ilk uyduların 1992'den bu yana veri topladığını dikkate aldığımızda, bir yanardağın son 19 yıldaki deformasyon geçmişi, daha önce hayal edilemeyecek kadar detaylı bir şekilde analiz edilebilmektedir. Üstelik, özellikle patlama durumunda daha "geleneksel" tekniklere göre bir başka avantaj olarak, bu ölçümler yanardağa erişime gerek kalmadan elde edilmektedir (URL-3).

3.2.2 Persistent scatterers InSAR tekniği – PSInSAR

PSInSAR, bir SAR uydusu tarafından hedef alınan üzerinde toplanan tüm verileri kullanarak elverişli olmayan koşullarda mm ölçekli yer değiştirmelerini belirlemek için geliştirilmiştir. Kalıcı Saçılımcılar (PS), farklı kazanımlar sırasında spektral

tepkinin önemli ölçüde değişmediği yüksek radar yansıtan nesnelerdir. (Peltier vd., 2010). Şekil 3.4'te SARPROZ uygulamasında PSI işleminin iş akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.4. SARPROZ uygulamasında PSI İşlemenin basitleştirilmiş iş akışı (URL-4).

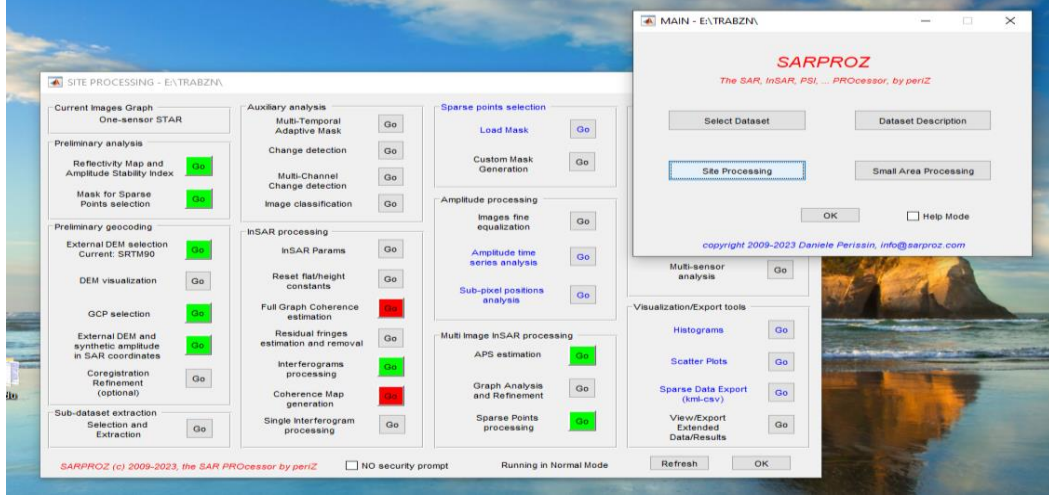
3.2.2.1 Sarproz

Çok çeşitli Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), İnterferometrik SAR (InSAR) ve Çok Zamanlı InSAR işleme tekniklerini uygulayan çok güçlü ve çok yönlü bir yazılımdır.

SARPROZ'un ana özellikleri:

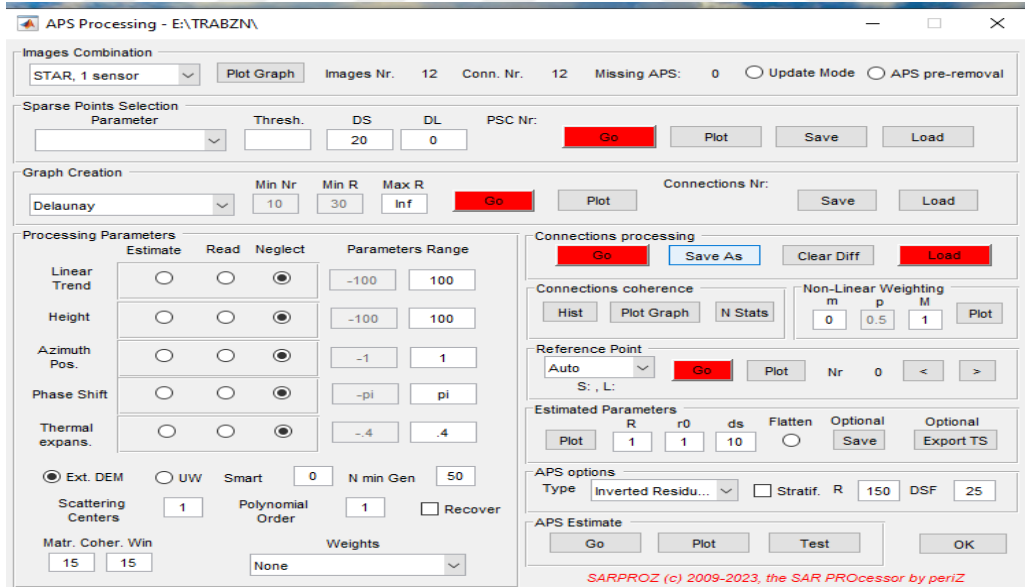
- Kullanıcı dostu Grafik Arayüzü: standart kullanımlar için kodlama bilgisine gerek yoktur.
- Matlab'a dayalı: ileri düzey kullanıcılar kendi yazılım uzantılarını çok kolay bir şekilde geliştirebilirler.
- Derlenebilir ve herhangi bir platformda (Unix, PC, Mac) Matlab'dan bağımsız olarak çalıştırılabilir.
- Tamamen paralelleştirilmiş: SARPROZ birden fazla CPU çekirdeği veya bilgisayar kümesinde otomatik olarak çalışabilir.
- Sentinel IW (TOPS) verileri de dahil olmak üzere çoğu uydu/veri formatı desteklenir. Grafik arayüzü olmadan komut satırından otomatik modda çalıştırılabilir.

SARPROZ, SAR/InSAR veri araştırması ve ayrıntılı altyapı izleme için en iyi araçtır (URL-5). Şekil 3.5 'te SARPROZ arayüzü örneği verilmiştir.



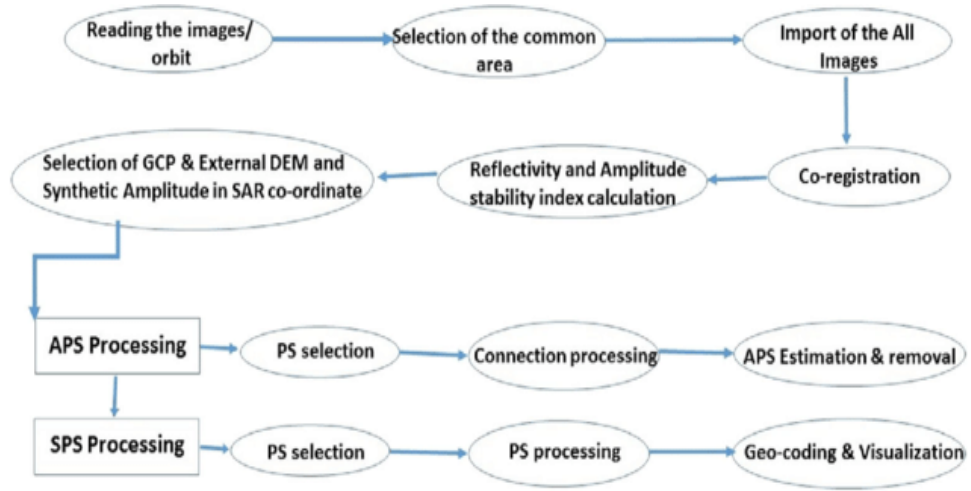
Şekil 3.5. SARPROZ arayüzü.

Ana pencereden, işlevlerin listesine erişilmektedir. Fonksiyonlar ön analiz, ön coğrafi kodlama, InSAR işleme, analiz sonrası, sonuçların dışa aktarımı, görselleştirme araçları genlik olarak ayrılmıştır. Her bir interferogramın atmosferik faz taramasını (APS) işlem aracılığıyla, APS tahmini noktalar belirlenir, bir grafik oluşturulur ve parametreler tahmin edilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. APS tahmin modülü.

Şekil 3.7’de SARPROZ yazılımında PS-INSAR işleminin akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.7. SARPROZ yazılımında PS-INSAR işleminin akış şeması.

3.2.3 Small baseline InSAR (SBAS-InSAR)

SBAS-InSAR, çoklu birincil görüntü tabanlıdır. SAR zaman serisi yönteminde sadece kısa-uzaysal-zamansal baz çizgileri kullanılır. SBAS-InSAR teknolojisi, birden çok ana görüntünün İnterferometrik eşleşmesine dayanır. Çalışma alanının yüksek tutarlılık noktalı iyileşme zaman serisine dayalıdır. Deformasyon bilgisi, prensibi aşağıdaki gibidir:

Aynı zaman periyodundaki çoklu görüntülü SAR görüntüleri, zaman-uzay temel çizgisini hesaplamak için kullanılır. Girişim çiftlerini seçmek için uygun uzamsal-zamansal temel eşiği seçilir. İnterferometrik çiftler, diferansiyel olarak İnterferometrik olarak işlenir ve faz açılır. Serbestçe birleştirilen interferogramlardan alt kümeler oluşturma durumuna göre, hepsi için en küçük kareler yöntemini kullanarak bir faz denklemi oluşturmak için bir interferogram vardır veya Singular Value Decomposition (SVD) yöntemi, deformasyon parametrelerini tahmin etmek için kullanılır.

SBAS-InSAR teknolojisi için çeşitli ülkelerden akademisyenler birçok araştırma gerçekleştirmiştir. Birçok çalışma vardır ve yüksek tutarlılık noktalarının seçimi esas olarak faz kararlılığına sahiptir.

3.2.4 InSAR tekniğinin uygulama alanları

InSAR tekniğinin uygulama alanları yüzey hareketlerinin belirlenmesi ve diğer uygulamalar olarak ikiye ayrılabilir.

Yüzey Hareketleri Belirleme

- Deprem
- Heyelan
- Yer Çökmesi

Diğer Uygulama Alanları

- Topografik Harita
- Kıyı Hattı
- Orman Türü
- Toprak Nemi

3.2.5 InSAR görüntüsünü etkileyen faktörler

InSAR görüntüsünün doğruluğunu ve kalitesini anlamak için olası kaynak hatalarına bakmak gerekir.

Fazı etkileyen faktörler;

- Baz mesafesinin görüntü üzerindeki etkisi
- Zamana bağlı uyumsuzluk
- Atmosferin SAR görüntüleri üzerine etkisi
- Bitki örtüsü

3.2.5.1 Baz mesafesinin görüntü üzerindeki etkisi

Baz uzunluğu, farklı konumlardaki iki anten arasındaki uzaklıktır. Baz uzunluğunun artması interferogram kalitesini ve uyumluluk değerini düşürür (Abdikan, 2007).

3.2.5.2 Zamana bağlı uyumsuzluk

Zamana bağlı korelasyon değişimi, tekrarlı geçiş interferometrisinde farklı zamanlarda kaydedilen iki alımın, geri saçılımlarının da farklı olmasından oluşur. İki görüntü arasında geçen zamanda oluşabilecek değişimler de özellikle tarım ve orman arazileri

ve hafriyat bölgelerinde zamana bağlı değişimler interferograma bozucu etki yapmaktadır. Bu sebeple görüntü seçiminde değişimin az olduğu yerler ve kurak alanların seçilmesi son derece önemlidir (Yılmaztürk, 2015).

3.2.5.3 Atmosferin SAR görüntüleri üzerine etkisi

Atmosferin SAR görüntüleri üzerine etkisini troposferik etki ve iyonosferik etki olarak iki başlıkta incelemek mümkündür. Troposfer ve iyonosfer, elektromanyetik dalgadaki fazın gecikmesine neden olmaktadır. İnterferometrik bilgi için kullanılan fazı etkilemektedir. Örneğin atmosferik gecikme C-bandında yarım örgelik (kabul edilebilir durumlarda 3 öргеye kadar çıkabilir) hataya neden olmaktadır. SAR sistemi nedeniyle temizlenmesi en zor sınırlama atmosferik gecikmelerdir (Yılmaztürk, 2015).

3.2.5.4 Bitki örtüsü

İnterferometrik sinyaller üzerine etkisi iki türdür. İlki yükseklik değeri yer ile bitki örtüsü arasında belirlenir, ikincisi ise interferometrik korelasyon katsayısı hacim saçılmasının varlığıyla azalır. Yükseklik bilgisi, bitki örtüsünün türü, radarın geliş açısına ve frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslı sinyaller, yaprakları ve çalılıkları güçlü bir şekilde geçebilirler. Buna göre interferometrik yükseklik, bitki örtüsünün tepesinin yakınındaki yüksekliklerden elde edilir. Düşük frekansın yayılımı, yaprakları da geçerek ağacın gövdesinin yeryüzü ile birleştiği yere kadar devam eder. Elde edilen interferometrik yükseklik yer yüzeyine daha yakındır (Abdikan, 2007).

Fazı etkileyen diğer parametreler Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. InSAR görüntüsünü etkileyen diğer parametreler.

Uydu Sistemleri	Geliş açısı Mekansal çözünürlük Ölçümdeki faz sapmaları Görüntünün yanlış eşlenmesi Sistem gürültüleri
Yörünge	Doğruluğun belirlenmesi Uyumluluk, geometrik hatalar Paralel olmayan yörüngeler
Sinyal	Frekans Polarizasyon (geri saçılım durumu) Bant genişliği Gürültü hataları
Topoğrafya	Faz farkı Eğim yönü Yeryüzeyinin özellikleri

3.3 Sentinel Uydusu

Sentinel-1 uyduları, Avrupa Komisyonu (EC) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA)’nın ortak girişimi olan Copernicus programı dahilinde Avrupa Radar Rasathanesi uydularındandır. Daha önce GMES (Global Monitoring for Environment and Security) olarak bilinen Copernicus programı, çevre ve güvenlik ile ilgili bilgi hizmetlerinin uygulanması için geliştirilen bir Avrupa girişimidir (URL-6).

Hem yüksek hem de orta çözünürlüklü veriler için kullanıcı gereksinimlerini karşılamak üzere, geleneksel SAR sistem tasarımları, uzamsal çözünürlüğü optimize eden veya tarama genişliğini artıran farklı çalışma modları içerir. Tamamlayıcı ulusal çok yüksek çözünürlüklü SAR görevlerine (Örneğin, DLR/Astrium GmbH tarafından TerraSAR-X ve ASI tarafından Cosmo-SkyMed) GMES aracılığıyla veri erişimi dikkate alınarak Sentinel-1, öncelikle orta ila yüksek seviyelere hitap edecek şekilde tasarlanmıştır. Hem geniş bir alan (250 km) hem de yüksek geometrik (5×20 m) ve radyometrik çözünürlüğe sahip bir ana çalışma modu aracılığıyla çözünürlük uygulamaları; yüksek çözünürlük. Bu yaklaşım, operasyonel hizmetlerin gerektirdiği hizmetin güvenilirliğini sağlayacak ve uzun zaman serilerine dayalı uygulamalar için tutarlı bir uzun vadeli veri arşivi oluşturacaktır (Fletcher, 2012).

Her Sentinel-1 uydusunun verilerini en az 7 yıl boyunca iletmesi ve uydunun 12 yıl boyunca yakıt sorunun oluşmaması beklenmektedir.

Sentinel 1 -SAR görüntüleme için:

- Deniz buzu bölgelerinin ve kutup ortamının izlenmesi
- Kriz durumlarında insani yardımı desteklemek için haritalama
- Deniz ortamlarının gözetimi
- Kara yüzeyi hareket risklerinin izlenmesi
- Arazi yüzeylerinin haritalanması: orman, su ve toprak, tarım.

Sentinel 2- Multispektral görüntüleme için:

- Arazi örtüsü, arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği tespit haritaları
- Jeofizik değişken haritaları

Sentinel 3- Multispektral görüntüleme, radyometri ve altimetri için:

- Deniz ve kara renk verileri
- Deniz ve kara yüzey sıcaklıkları
- Deniz yüzeyi ve kara-buz topografyası
- Sentetik açıklık işleme için yüksek çözünürlüklü altimetri
- Optik alet verilerinden arazi sinerjisi ürünleri.

Sentinel 4 ve Sentinel 5- Multispektral görüntüleme ve profil oluşturma:

- Atmosferik bileşimdeki değişiklikleri yüksek uzamsal çözünürlükte izleme;
- Ozon, NO₂, SO₂, formaldehit ve aerosollerin yüksek zamansal çözünürlüğünde günlük küresel ve bölgesel haritalama
- CO ve CH₄'ün günlük küresel haritalaması (Fletcher, 2012).

3.3.1 Sentinel 1 uydusu

Sentinel-1A ve 1B, C-bandı sentetik açıklıklı bir radar taşıyan ve ESA tarafından işletilen ikiz bir uydu çiftidir.

Sentinel 1'in görevi, C-Band SAR verilerini kullanarak Dünya görüntülerinin elde edilmesidir. Her iki uydu da gece, gündüz ve tüm hava koşullarında veri toplanabilen C-bandı sentetik açıklıklı radar cihazını taşır. Hava durumu veya bulut örtüsünden bağımsız olarak izleme felaket müdahalesi için yüksek kaliteli radar görüntüleme

yakalanır. Bu iki özdeş uydu, güneşle senkronize bir yörüngede 693 km'lik aynı yükseklikte çalışır. Her 12 günde bir tüm Dünya'nın haritasını çıkarma yeteneğine sahipler. Sentinel 1 görevinden alınan radar görüntüleri kara, buz ve su değişikliklerini izlemek için yüksek frekanslı görüntüleme sağlar. Zemin deformasyon izleme InSAR yeteneği, jeolojik izlemeye (depremler, heyelanlar) yardımcı olarak zemin deformasyonunu ölçer. Edinmeden sonraki 1 saat içinde radar verileri, Avrupa Birliği Dünya gözlem ve izleme programı olan Copernicus'a iletilebilir (URL-7). Şekil 3.5'te Sentinel-1 uydusu görseli verilmiştir.



Şekil 3.8. Sentinel-1 uydusu (URL-7).

3.3.2 Sentinel-1 uydusu teknik özellikleri

Sentinel-1 uydusunun teknik özellikleri çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sentinel-1 uydusu teknik özellikleri (URL-8).

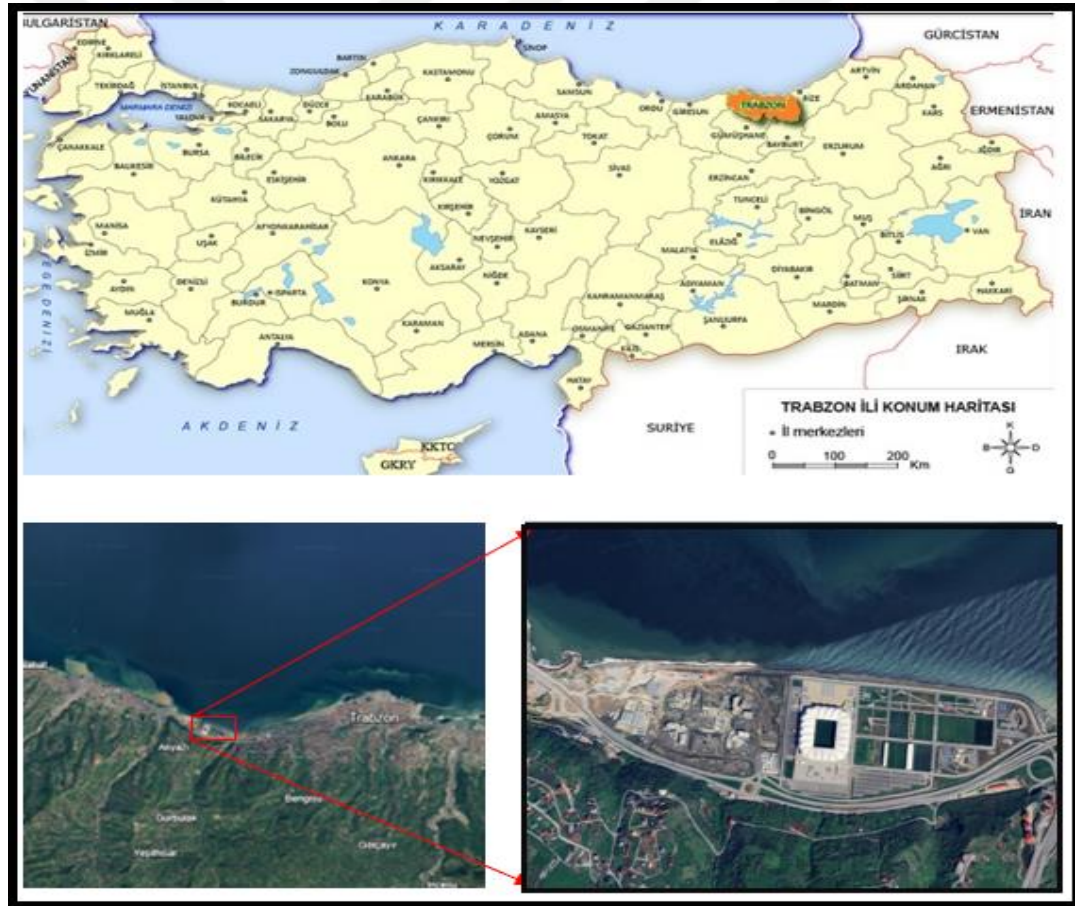
Parametreler	Sentinel-1
Fırlatılma Tarihleri	Nisan 03, 2014 of S1-A Nisan 25, 2016 of S1-B
Yörünge Tipi	SSO (Güneş senkronize Yörünge) 12 gün tekrar döngüsü LTAN = 18:00
Yörünge Yüksekliği	693 km
Sensör	C-SAR (C-band Sentetik açıklıklı Radar)
Uydu Ağırlık ve Boyutları	2300 kg 3,4 m x 1.3 m x 1.3 m 4.8 kW (EOL)
X-Band Veri İndirme Hızı	520 Mbit/sn
Veri Kapasitesi	1.4 Tbit (EOL)
Operasyonel Özerklik	8 gün

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma bölgesi olarak, Doğu Karadeniz Bölgesinde dolgu alanlarına inşa edilen Akyazı Stadyumu ve Ordu-Giresun Havalimanı seçilmiş ve her bir bölgeye ait görüntülerin PS-InSAR yöntemi ile yapılan değerlendirme ve analiz sonuçları ayrı ayrı verilmiştir.

4.1 Akyazı Stadyumu

Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Akyazı Stadyumu deniz dolgusu yapılarak inşa edilmiştir (URL-9). Çalışma alanı, $40^{\circ}59'55''$ kuzey enleminde ve $39^{\circ}38'47''$ doğu boylamında yer almaktadır. Yapımına Kasım 2013 yılında başlanılan ve Aralık 2016 yılında açılan futbol stadyumudur (Şekil 4.1).



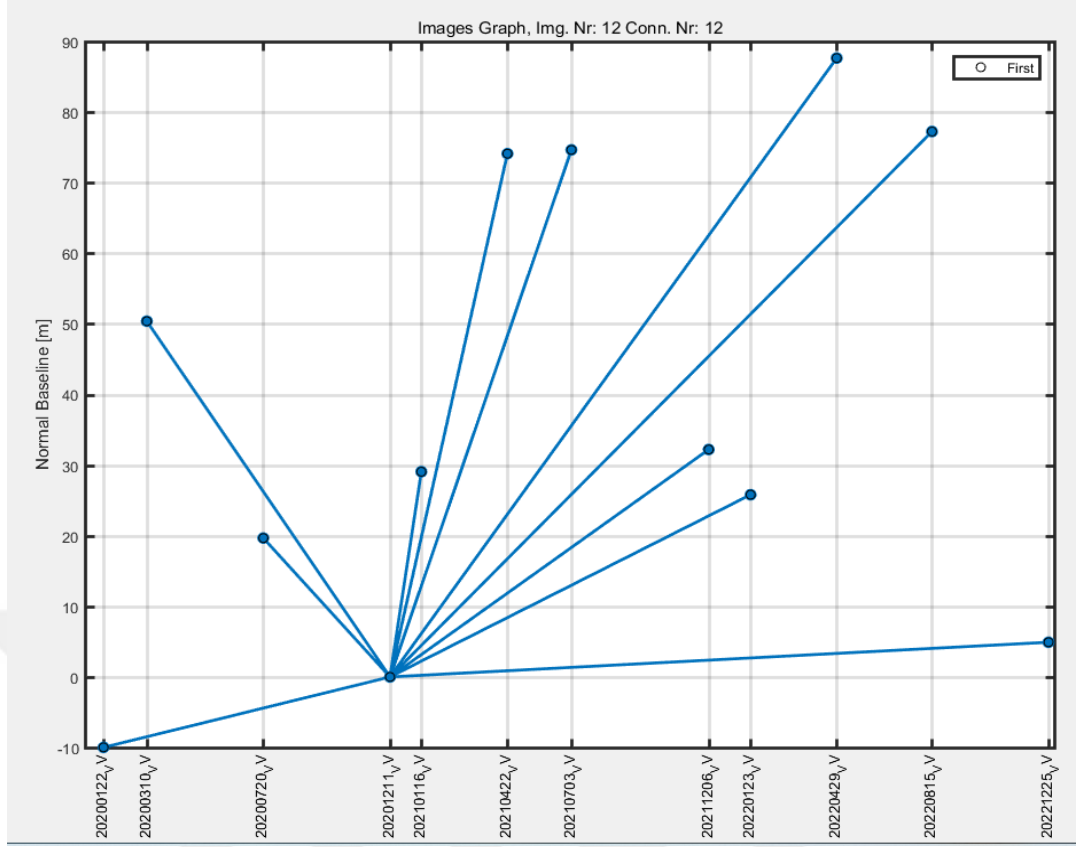
Şekil 4.1. Akyazı Stadyumu.

Akyazı Stadyumu deniz duvarı, asfalt karayolu ve otoparklar, antrenman ve basketbol sahaları, tenis kortu, binalar ve yaklaşık 40000 kişilik oturma kapasitesine sahip stadyumu ile birçok farklı türdeki yapıyı içerisinde bulundurmaktadır (Altıntaş, 2022).

Çizelge 4.1. Çalışma alanında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.

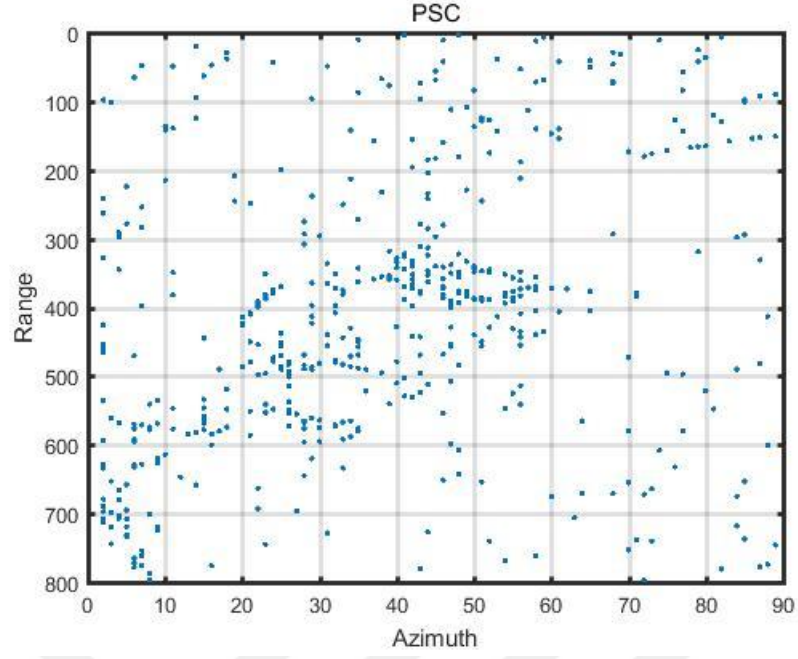
Tarih	Görüntüleme Modu	Bant	Uydu	Yörünge Numarası	Uçuş Yönü	Polarizasyon	Ürün Tipi	Yörünge
22.01.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	30915	Yükselen	VV	SLC	43
10.03.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	31615	Yükselen	VV	SLC	43
20.07.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	33540	Yükselen	VV	SLC	43
11.12.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	35640	Yükselen	VV	SLC	43
16.01.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	36165	Yükselen	VV	SLC	43
22.04.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	37565	Yükselen	VV	SLC	43
3.07.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	38615	Yükselen	VV	SLC	43
6.12.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	40890	Yükselen	VV	SLC	43
23.01.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	41590	Yükselen	VV	SLC	43
29.04.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	42990	Yükselen	VV	SLC	43
15.08.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	44565	Yükselen	VV	SLC	43
25.12.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	46490	Yükselen	VV	SLC	43

Uygulama kısmında uydu görüntülerini seçerken oluşan deformasyonları daha iyi inceleyebilmek için toplamda 1069 günlük bir zaman aralığı belirlenmiştir. Uydu görüntüleri arasındaki en uzun dik baz aralığı 22.01.2020 tarihli görüntü ile 29.04.2022 tarihli görüntü arasındaki 100 m’lik baz aralığıdır. Uydu görüntüleri arasındaki dikkat edilmesi gereken husus dik baz aralığının 200 m’yi geçmemesi gerektiğidir. Görüntüleri seçtikten sonra görüntülerin eşleştirmesi adımına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken 12 görüntü arasından birincil görüntü olarak en uygunu 11.12.2020 tarihli görüntüdür. Geri kalan görüntüler ise ikincil görüntü olarak belirlenmiştir. İkincil görüntülerin birincil görüntüye göre zamansal ve dik bazları Şekil 4.3’te verildiği gibidir.



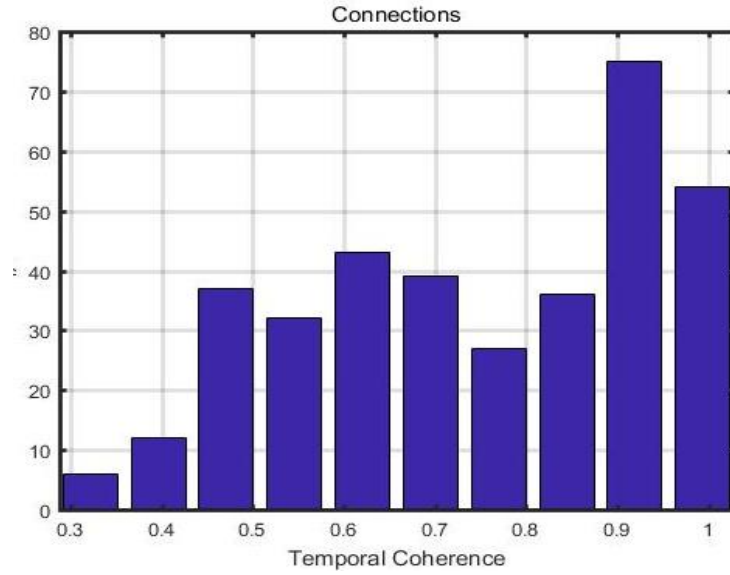
Şekil 4.3. Akyazı Stadyumu çalışma alanındaki slave görüntülerin master görüntüye göre dik bazları.

Uygulama da daha sonra atmosferik etkiyi gidermek için APS tahmini adımına geçilmiştir. APS tahmini için uyuşum alt sınır değeri genlik kararlılık endeksi baz alınarak uyuşum oranı 0,7 olarak belirlenip 488 APS noktası üretilmiştir (Şekil 4.4).



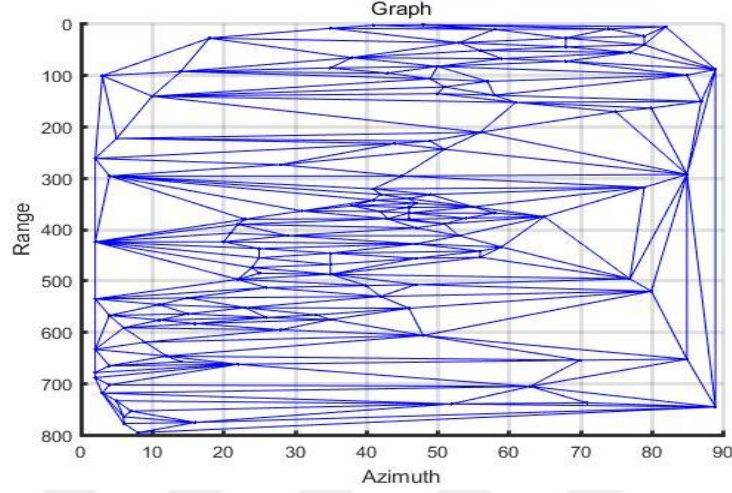
Şekil 4.4. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen APS noktaları.

Tahmini APS noktaları belirlendikten sonra zamansal tutarlılığı incelendiğinde noktaların çoğunun 0,7 ile 1 aralığında olduğu görülmektedir. Bu aralık zamansal tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.

APS noktalarını belirledikten sonra elde ettiğimiz noktalarla beraber Delaunay nirengi yöntemi ile birbirlerine bağlanarak 361 üçgenden oluşan bir ağ elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.

Daha sonrasında SARPROZ uygulamasıyla elde edilen noktalar Google Earth üzerinde zaman serileri kullanılarak açılmıştır (Şekil 4.7).

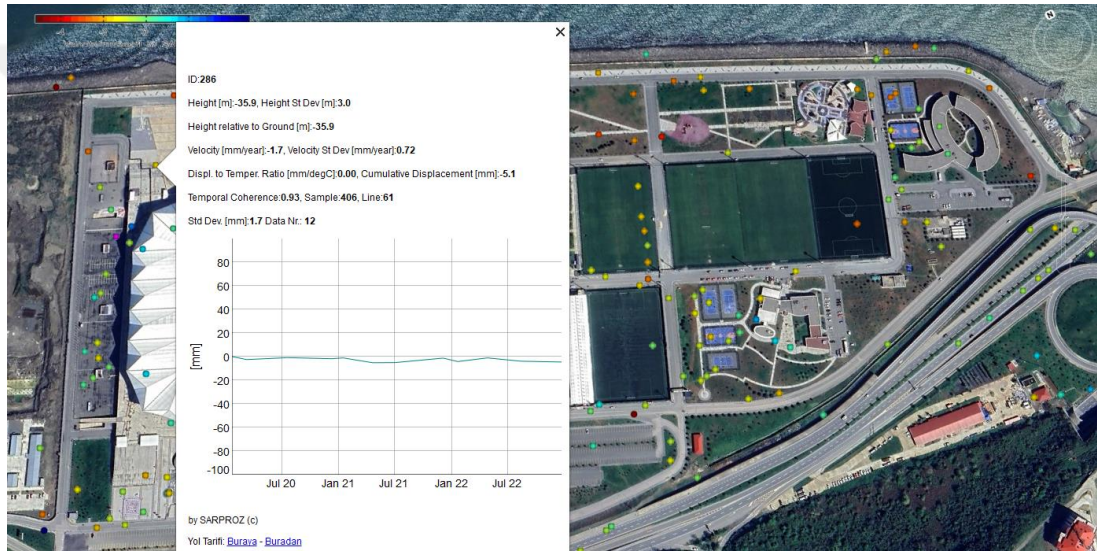


Şekil 4.7. Akyazı Stadyumu çalışma alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı ve bölgeler.

Uygulama kapsamında noktaların hareketlerini daha iyi inceleyebilmek için stadyum ve çevresi dolgu alanı 4 farklı bölgeye ayrılarak ve her bir bölgeden noktalar seçilmiştir. PS noktalarına ait elde edilen değerler ve zaman serileri rasgele seçilen 4

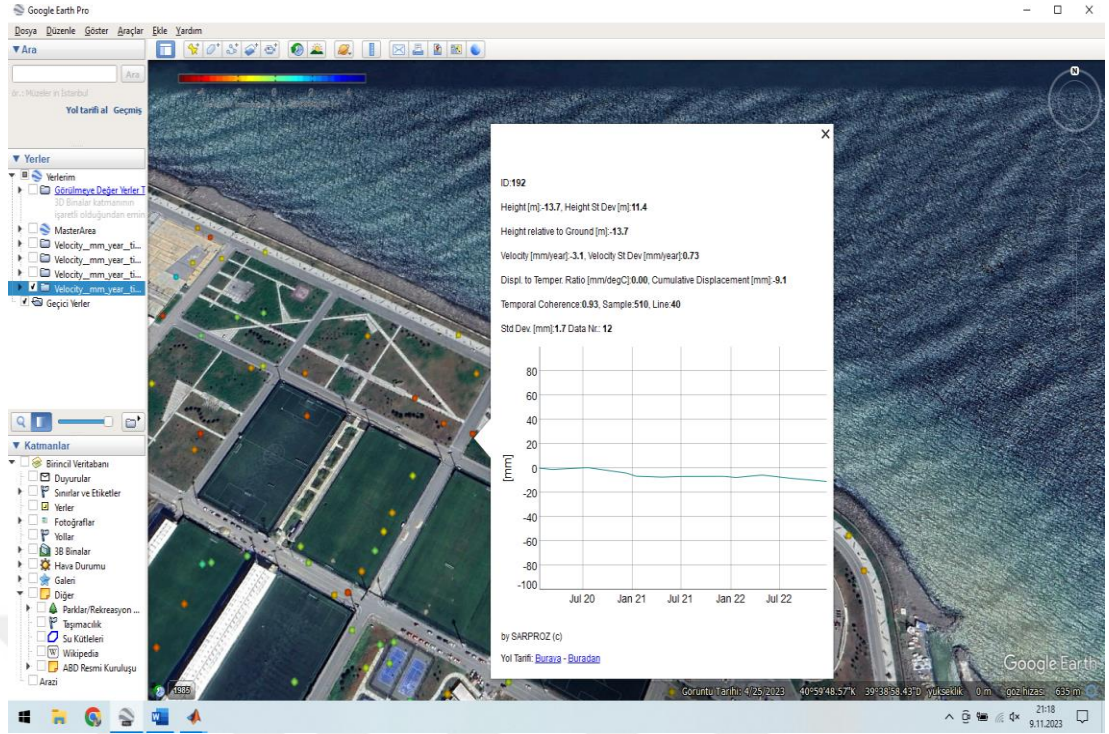
nokta için ayrıntılı olarak ifade edilmiş olup, diğer noktalara ait değişimler ise (yıllık hız ve 1069 günlük hız) Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Akyazı Stadyumunun kuzey bölgesinden rastgele seçilen ilk nokta (4. bölge) Google Earth üzerinden incelendiğinde, noktanın uydu bakış doğrultusundaki (Line of Sight-LOS) yıllık ortalama hareketinin (lineer hız) -1,7 mm, standart sapmasının ise 0,72 mm, 1069 günlük toplam hareketinin ise -5,1 mm olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). Şekil 4.8'de noktanın numarası, yüksekliği, standart sapması, yıllık lineer hızı ya da değişimi, standart sapması, toplam yer değiştirme ve zaman serisi grafiği gibi bilgilerde görülmektedir.

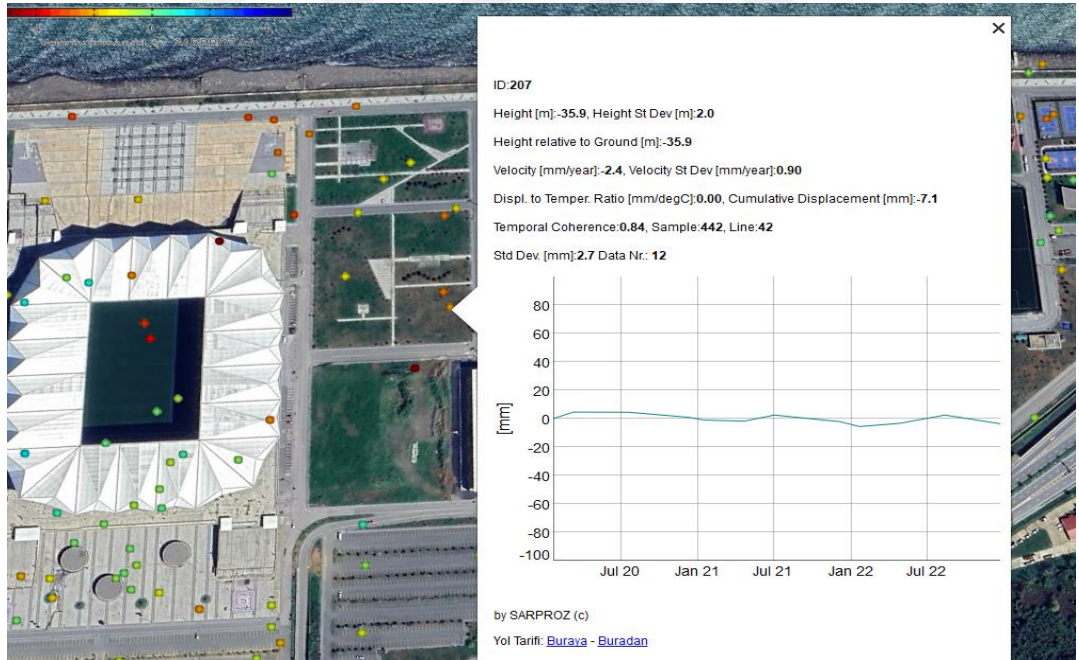


Şekil 4.8. Akyazı Stadyumunun kuzeyinden rastgele seçilen ilk nokta.

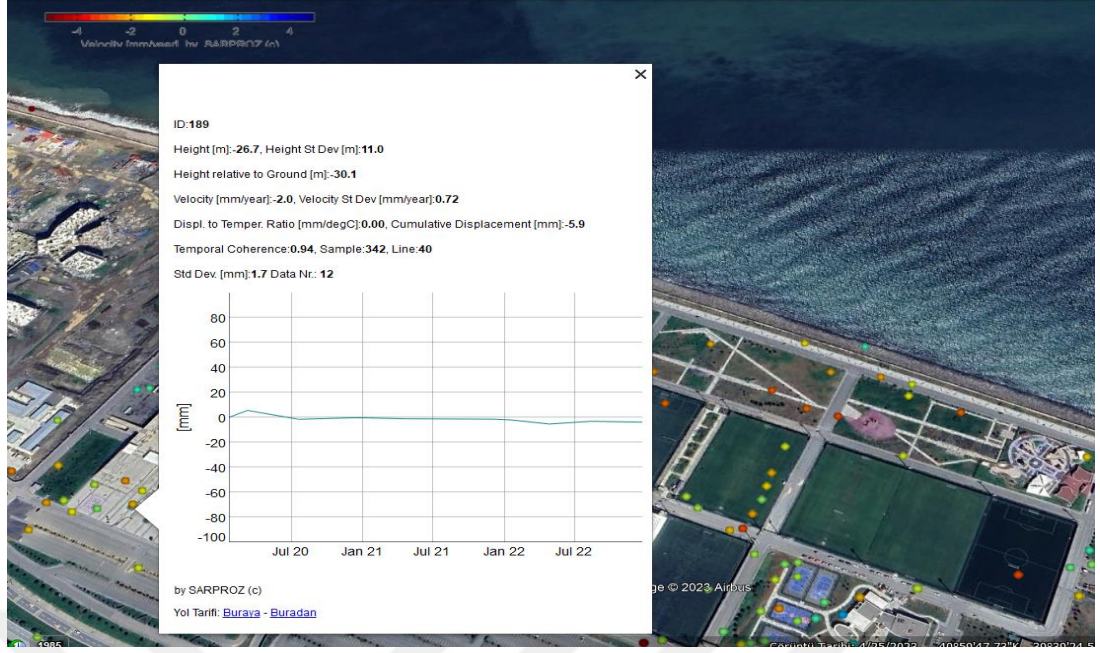
Stadyumun kuzey bölgesinden (3. bölge) rastgele seçilen ikinci noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -3,1 mm (standart sapması 0,73 mm/yıl), 1069 günlük toplam hareketinin -9,0 mm (Şekil 4.9), doğu bölgesinden rastgele seçilen 3. noktanın LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -2,4 mm (standart sapması 0,90 mm/yıl), 1069 günlük toplam hareketinin ise -7,1 mm (Şekil 4.10) ve güney bölgesinden rastgele seçilen 4. noktanın ise LOS yönündeki yıllık ortalama hareketinin -2,0 mm (standart sapması 0,72 mm/yıl), 1069 günlük toplam hareketinin ise -5,9 mm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.9. Akyazı Stadyumunun kuzeyinden rastgele seçilen ikinci nokta.

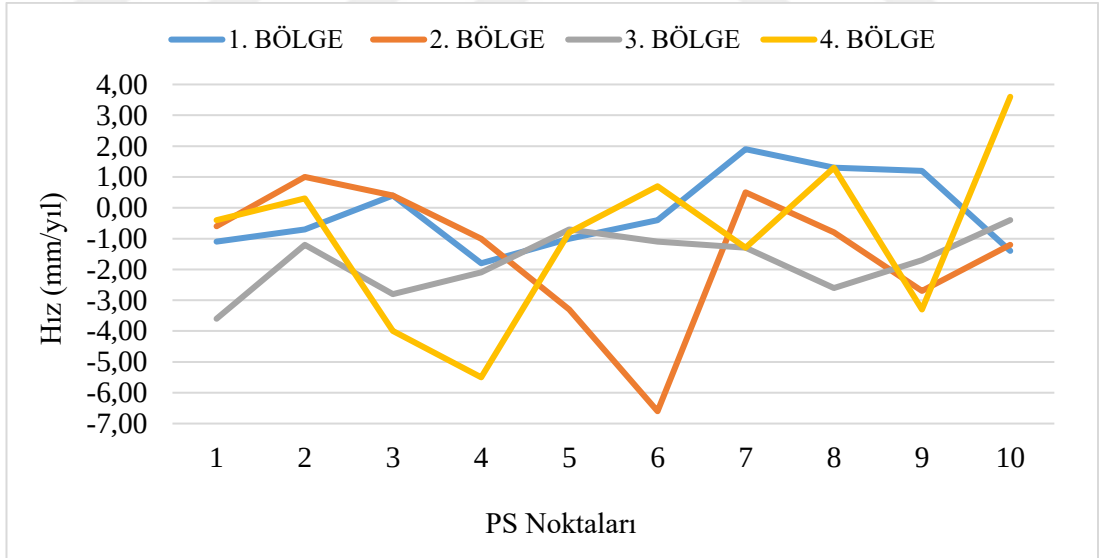


Şekil 4.10. Akyazı Stadyumunun doğusundan rastgele seçilen üçüncü nokta.

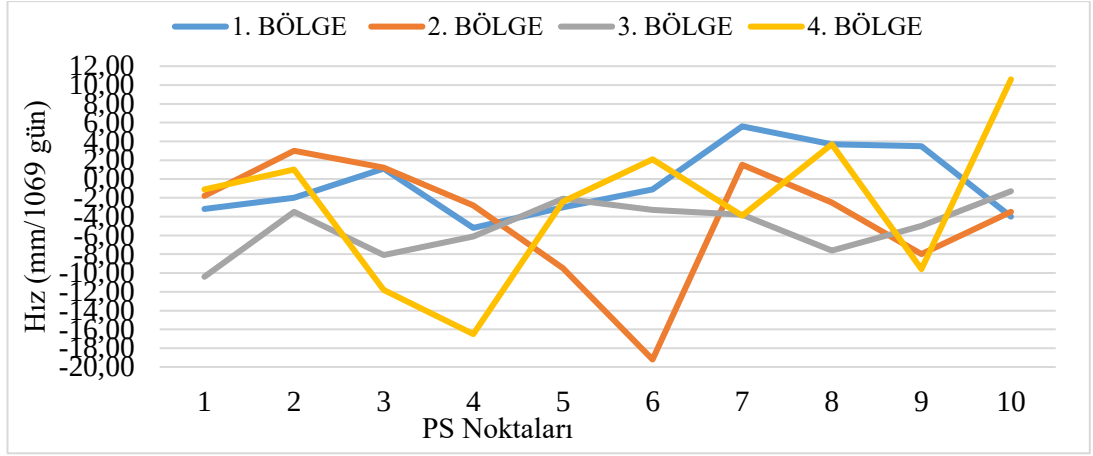


Şekil 4.11. Akyazı Stadyumunun güneyinden rastgele seçilen dördüncü nokta.

4 farklı bölgeye ayrılan stadyum ve çevresi PS noktalarının uydu bakış doğrultusundaki yıllık ve genel toplam değişimleri (hızları) sırası ile Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.

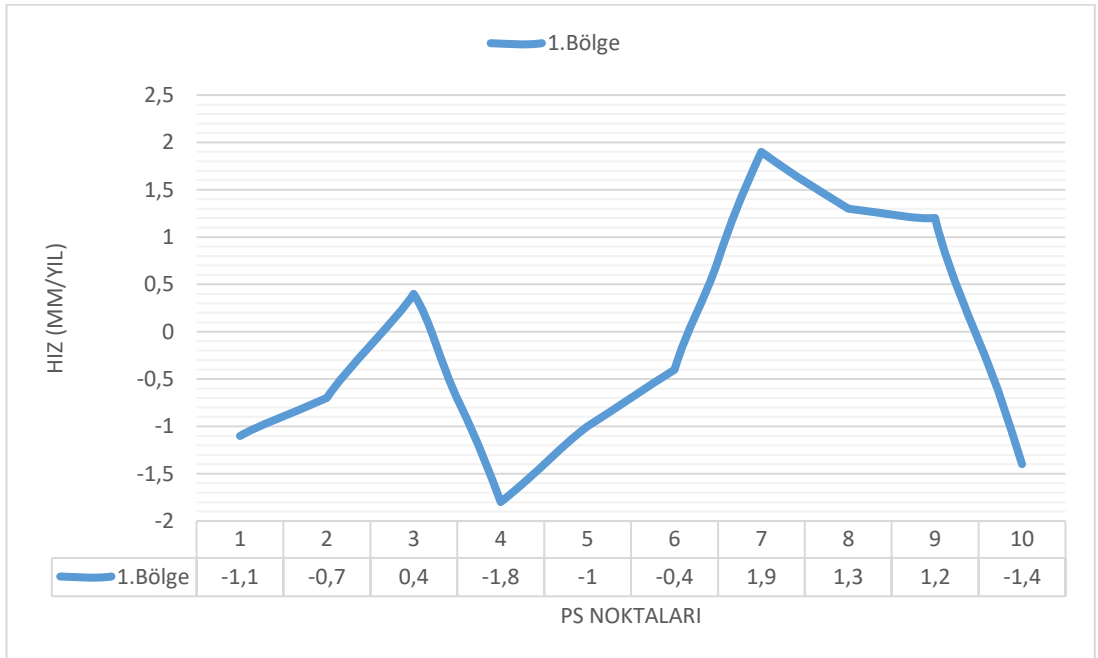


Şekil 4.12. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (4 bölge için).



Şekil 4.13. Akyazı Stadyumu PS noktaları 1069 günlük hız değerleri (4 bölge için).

Şekil 4.7, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 incelendiğinde, 1. bölgede Akyazı Stadyumu güney doğusunda karayolu ve yapıların bulunduğu alanda maksimum yıllık ortalama hareketler -1,8 mm ile maksimum 1,9 mm arasında değişmekte olup genel toplam LOS hareketinde (1069 gün için) -5,2 mm ile 5,6 mm arasında yüzey deformasyonu (lineer hız) olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki minimum değişimler ise -0,4 mm ile 1,9 mm ‘dir. Negatif yöndeki değişimlerin 1.bölgenin doğu ve batısında olduğu pozitif yöndeki değişimlerin ise orta kısımda olduğu ifade edilebilir (Şekil 4.14).

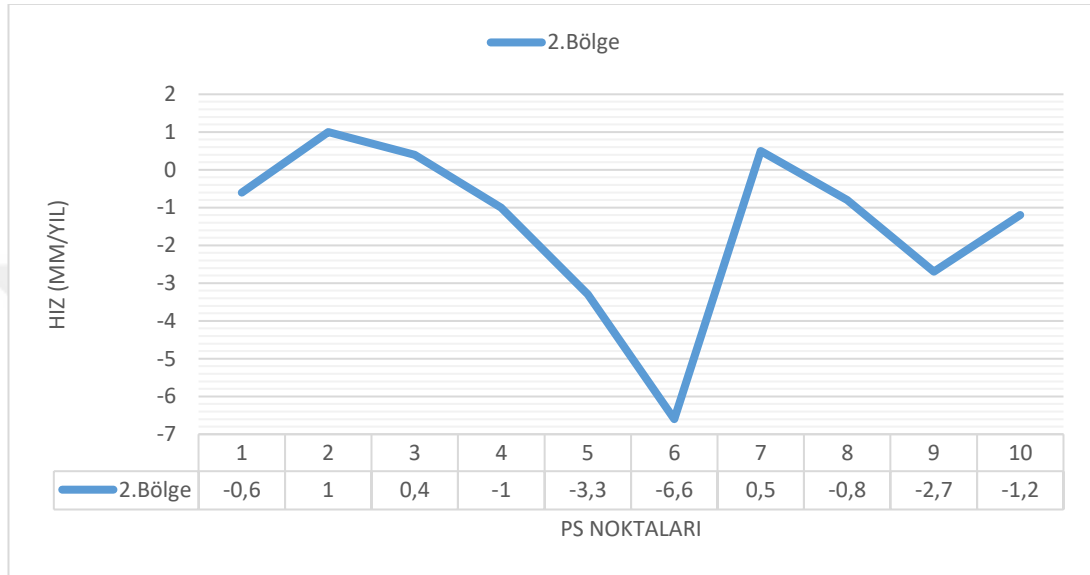


Şekil 4.14. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (1.Bölge).

2. bölgede karayolu, Akyazı Stadyumu dolgu sahası içerisinde bulunan otopark ve Ortahisar Yavuz Selim Stadının bulunduğu alanda nokta hızları LOS yönünde

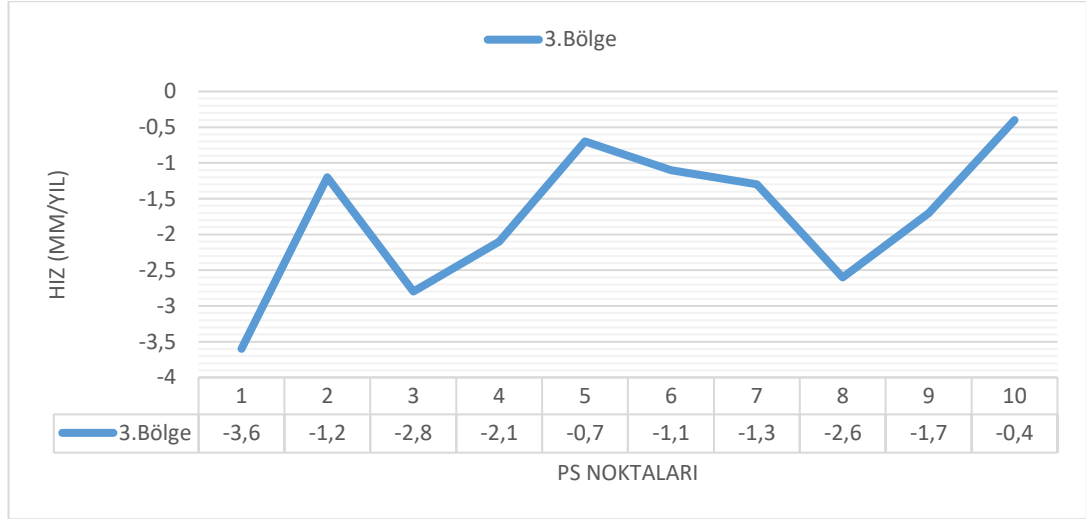
maksimum yıllık 1 mm ile maksimum -6,6 mm arasında değişmektedir. Genel toplam LOS hareketinde -19,2 mm ile 3 mm arasında yer değiştirme olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.15).

Şekil 4.12’de karayolu kısmında bulunan PS noktalarının değerleri -1 mm ile 1 mm arasında değişim göstermektedir.



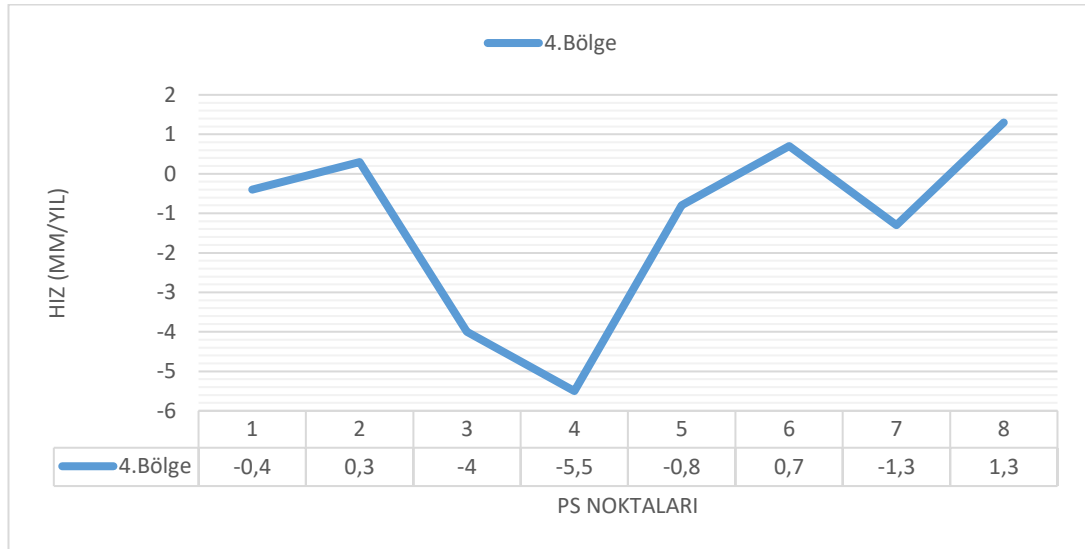
Şekil 4.15. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (2.Bölge).

Akyazı Stadyumunun spor tesisleri ve binaların bulunduğu 3. Bölgedeki noktaların LOS yönündeki hızları ise -3,6 mm ile 0,4 mm arasında değişmekte olup genel toplam LOS hareketinde -10,4 mm ile -1,3 mm arasında değişimler olduğu gözlenmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere bu bölgedeki noktalarda değişimleri negatif yönde olup, bölge sahil tarafındadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (3.Bölge).

4. bölgede Akyazı Stadyumunun bulunduğu komplekste LOS yönündeki noktaların yıllık hızları maksimum -5,5 mm ile maksimum 3,6 mm arasında değişmektedir. Bu bölge için minimum değişimler ise negatif yönde -0,4 mm ve pozitif yönde 0,3 mm'dir. Stadyumun kuzey kısmında daha çok negatif yönde hareketlilik olduğu diğer kısımlarında ise hem pozitif hem de negatif yönde deformasyonlar olduğu tespit edilmiştir (Şekil.4.17).



Şekil 4.17. Akyazı Stadyumu PS noktaları yıllık hız değerleri (4.Bölge).

Sonuç olarak, PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketleri yani hızları incelendiğinde, Akyazı Stadyumu çevresinde bulunan noktaların hareketlerinin yaklaşık -7 mm ile 4 mm aralığında yer aldığı, stadyumun kuzeyinde deniz kenarındaki noktaların hareketlerin de ise yaklaşık -1 mm ile -4 mm aralığında değişim olduğu

görülmektedir. Çalışma alanında daha çok negatif yönde hareketin olması özellikle dolgu malzemesinden kaynaklanan oturma hareketlerinden kaynaklandığı ifade edilebilir.

4.2 Ordu-Giresun Havalimanı

Ordu-Giresun Havalimanı, Ordu ilinin Gülyalı ilçesi ile Giresun ilinin Piraziz ilçeleri arasında inşa edilmiş sivil kategoride bulunan uluslararası havalimanıdır. Ordu-Giresun Havalimanı bağlı olduğu Ordu iline 17 kilometre mesafe uzaklıktadır. Ordu-Giresun Havalimanı 40.965031 enlem ve 38.080444 boylamda yer almaktadır. 22 Mayıs 2015'te hizmete girmiştir. Avrupa'da ve Türkiye'de ve deniz üzerine inşa edilen ilk havalimanıdır (URL-10). Yılda 3 milyon yolcu taşıma kapasitesine sahiptir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Ordu-Giresun Havalimanı.

Bölge topoğrafyasının olabildiğince eğimli olması nüfus yoğunluğunun düşük kalmasına neden olmuştur. Ayrıca ulaşım gelişemediği için turizm ve ekonomi yönünden de zayıf kalmıştır. Bölgenin hava ulaşımı ile gelişimi düşünülmüş ama eğimi az olan bölgelerde yerleşim yerleri olduğundan havalimanı inşaatına uygun bir saha bulunamamış ve deniz üzerine dolgu sahasına havalimanı inşası yapılmıştır (Bayık, 2021).

Havalimanının yapım aşamasında gerekli önlemler alınsa da havalimanı konumu gereği aşırı doğa şartlarının oluşturabileceği zararlarda örneğin, bölgede özellikle ilkbahar aylarında yoğunlaşan sis ile uçuş trafiğinin aksamasına ve şiddetli rüzgarlar ile oluşabilecek dev dalgaların havalimanı mendirek yapısında hasarlara yol açması mümkündür (Türk, 2015).

Şekil 4.19’da uygulama kapsamında 12 tane Sentinel-1A görüntüsü Google Earth’e aktarılmış ve çalışma alanı belirlenmiştir. Bu bölge için de elde edilen PS noktalarına ait hız, standart sapma, yükseklik vb. veriler bir önceki çalışmada olduğu gibi benzer işlem adımları ile elde edilmiştir.



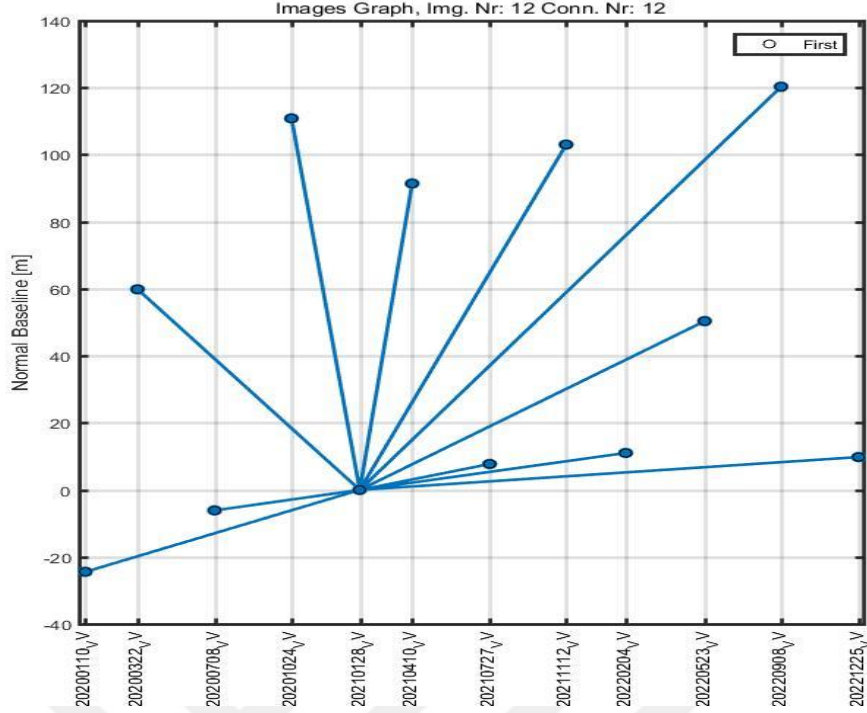
Şekil 4.19. Ordu-Giresun çalışma alanı.

Çalışmada kullanılan Sentinel-1A uydu görüntülerinin özellikleri Çizelge 4.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.2. Çalışma alanında kullanılan Sentinel-1A uydu görüntüleri.

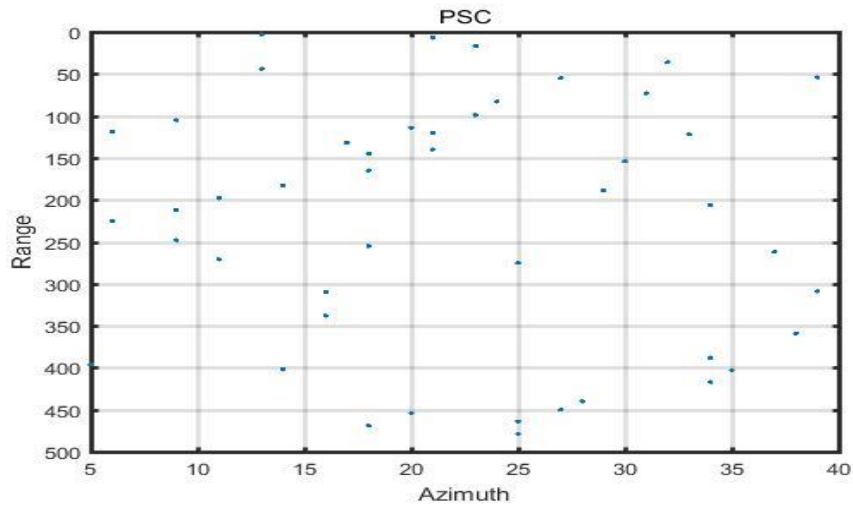
Tarih	Görüntüleme Modu	Bant	Uydu	Yörünge Numarası	Uçuş Yönü	Polarizasyon	Ürün Tipi	Yörünge
10.01.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	30740	Yükselen	VV	SLC	43
22.03.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	31790	Yükselen	VV	SLC	43
08.07.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	33365	Yükselen	VV	SLC	43
24.10.2020	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	34940	Yükselen	VV	SLC	43
28.01.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	36340	Yükselen	VV	SLC	43
10.04.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	37390	Yükselen	VV	SLC	43
27.07.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	38965	Yükselen	VV	SLC	43
12.11.2021	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	40540	Yükselen	VV	SLC	43
04.02.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	41765	Yükselen	VV	SLC	43
23.05.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	43340	Yükselen	VV	SLC	43
08.09.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	44915	Yükselen	VV	SLC	43
25.12.2022	IW	SAR-C	SENTİNEL-1	46490	Yükselen	VV	SLC	43

Havalimanı olası deformasyonlarının belirlenebilmesi için, toplam 1081 günlük zaman aralığı (üçer aylık, 12 periyot) için uydu görüntüleri seçilmiştir. Uydu görüntüleri arasındaki en uzun dik baz aralığı 10.01.2020 tarihli görüntü ile 08.09.2022 tarihli görüntü arasındaki 140 m’lik baz aralığıdır (uydu görüntüleri arası dik baz uzunluğu 200 m geçemez). Görüntüleri seçtikten sonra görüntülerin eşleştirmesi adımına geçilmiştir. Görüntüler eşleştirilirken 12 adet interferogram için yapılan baz uzunluk değerleri analizi neticesinde 28.01.2021 tarihine ait görüntü, birincil veri olarak seçilmiştir. Birincil veri baz alınarak diğer görüntüler ikincil görüntü olarak belirlenmiştir. İkincil görüntülerin birincil görüntüye göre zamansal ve dik bazları Şekil 4.20 ’de verildiği gibidir.



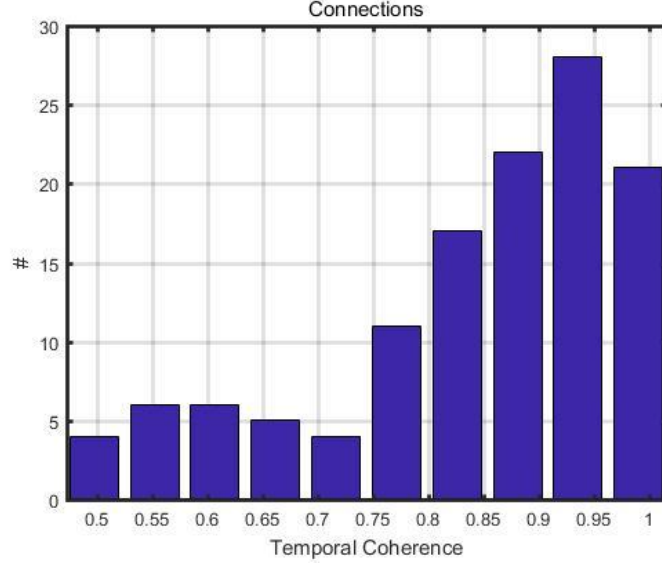
Şekil 4.20. Çalışma alanındaki slave görüntülerin master görüntüye göre dik bazları.

Atmosferik etkiyi gidermek için APS tahmini uyuşum alt sınır değeri genlik kararlılık endeksi baz alınarak uyuşum oranı 0,7 olarak belirlenip 56 APS noktası üretilmiştir (Şekil 4.21).



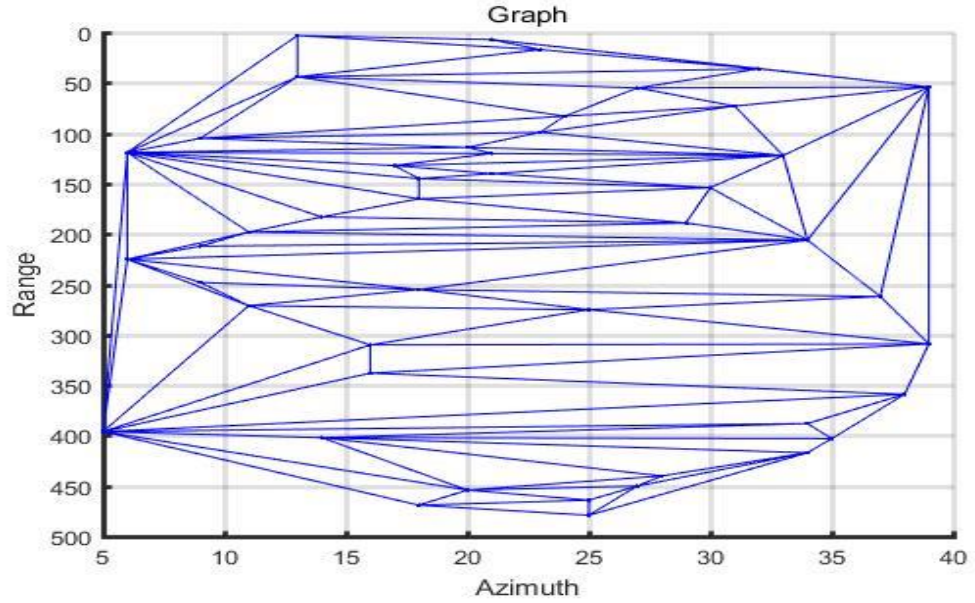
Şekil 4.21. Çalışma alanında belirlenen APS noktaları.

Tahmini APS noktaları belirlendikten sonra noktaların büyük bir kısmının zamansal tutarlılığının 0,8 ile 1 aralığında ve yüksek olduğu Şekil 4.22’de görülmektedir.



Şekil 4.22. Çalışma alanında belirlenen APS noktalarının zamansal tutarlılığı.

Daha sonra elde edilen noktalarla, Delaunay nirengi yöntemi 134 üçgenden oluşan bir ağ elde edilmiştir (Şekil 4.23).



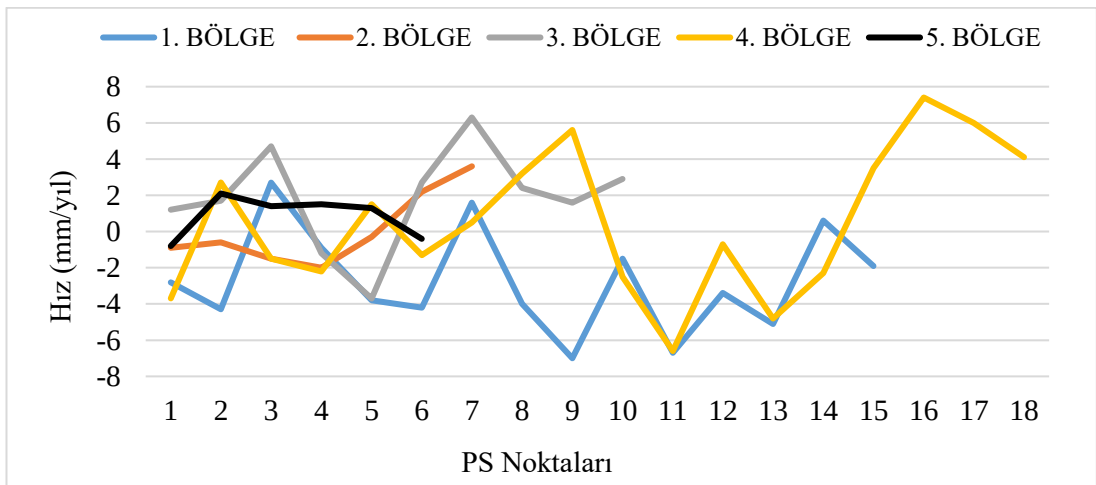
Şekil 4.23. Çalışma alanında belirlenen APS noktaları ile oluşturulan Delaunay üçgen ağı.

Daha sonrasında SARPROZ uygulamasıyla elde edilen noktalar Google Earth üzerinde zaman serileri kullanılarak açılmıştır (Şekil 4.24).

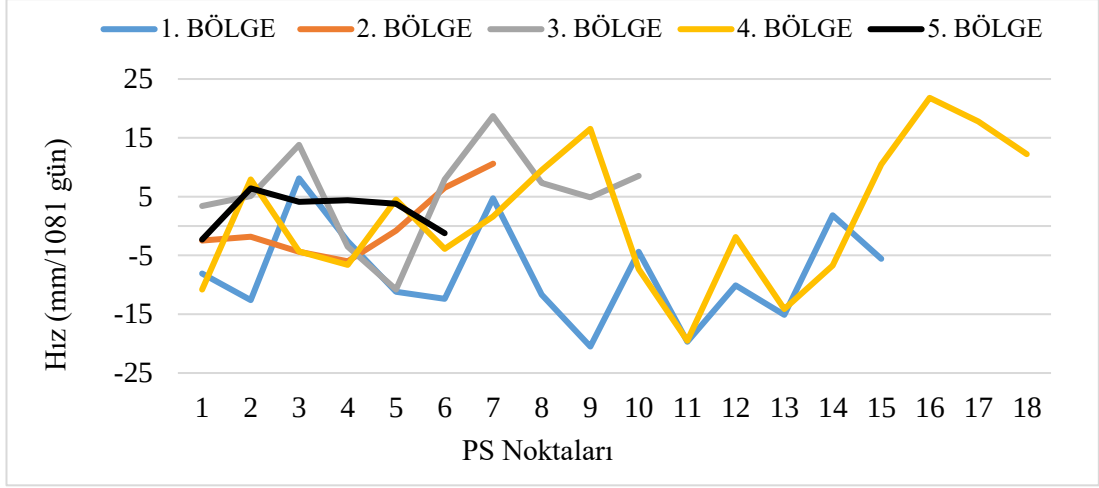


Şekil 4.24. Çalışma alanında belirlenen zamansal korelasyonu 0,7 ve üzerindeki PS noktalarının dağılımı.

Sentinel-1 görüntüleri kullanılarak elde edilen sonuçların InSAR zaman serilerinden hesaplanan PS noktaları LOS yıllık ortalama hareketlerinin daha detaylı incelenebilmesi ve yorumlanabilmesi için çalışma alanı 5 bölgeye ayrılmıştır. PS noktaları sonuçları Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da verilmiştir. PS noktaları ile ilgili yükseklik, hız ve standart sapması vs. bilgiler ve zaman serileri de bir önceki çalışmada olduğu gibi elde edilmiştir.

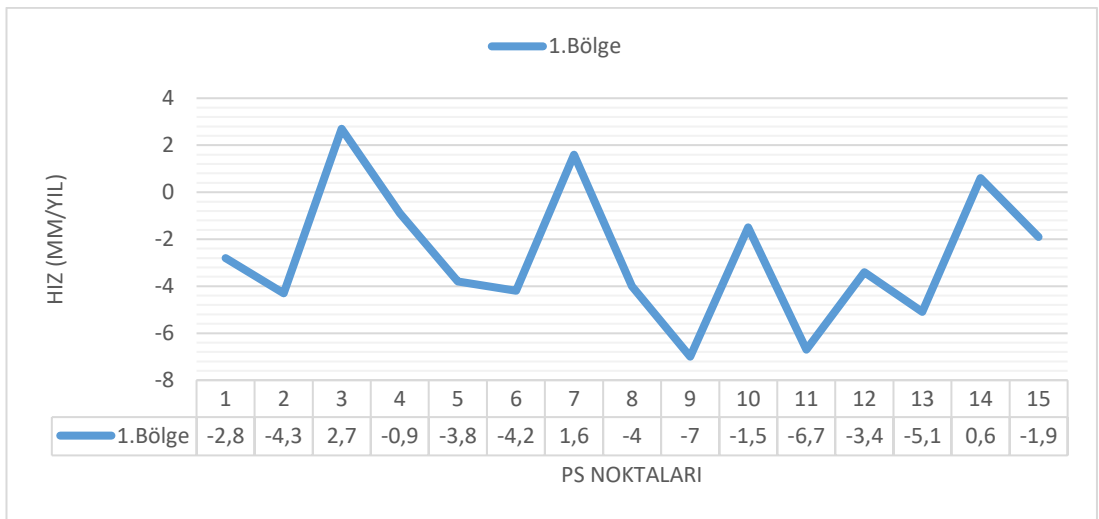


Şekil 4.25. Ordu-Giresun Havalimanı yıllık lineer hızları (5 Bölge için).



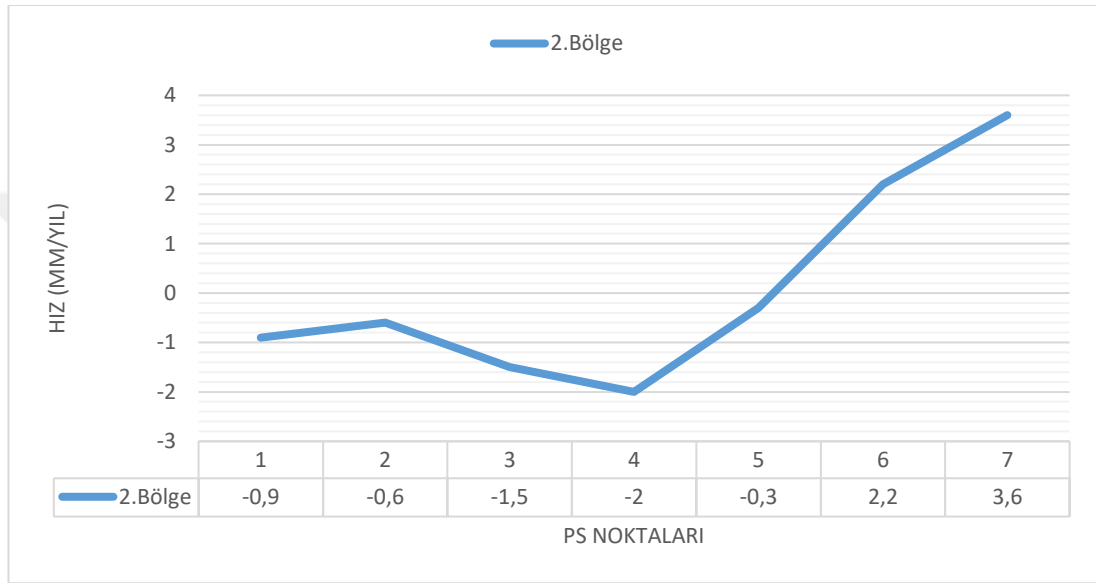
Şekil 4.26. Ordu-Giresun Havalimanı PS noktaları 1081günlük lineer hız değerleri (5 bölge için).

Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da 1. bölgede deniz kenarı olan kesimde yer alan noktaların (Çalışma bölgesinin kuzeyi) uydu bakış doğrultusunda negatif yönde maksimum yıllık ortalama hareketlerinin-7,0 mm ile pozitif yönde maksimum 2,7 mm aralığında değiştiği, 1081 günlük toplam LOS hareketinde-20,5 mm ile 8,1 mm arasında yüzey deformasyonu olduğu görülmektedir. Bu bölge için minimum değişimler ise negatif yönde-0,9 mm ve pozitif yönde 0,6 mm’dir. Bu alanda değişimlerin %80 ‘i negatif yöndedir (Şekil 4.27). Çalışma bölgesindeki negatif yöndeki değişimlerin çoğunluğunun 1.bölgenin kuzey kesiminde, pozitif yöndeki değişimlerin ise güney kesiminde yer aldığı tespit edilmiştir.

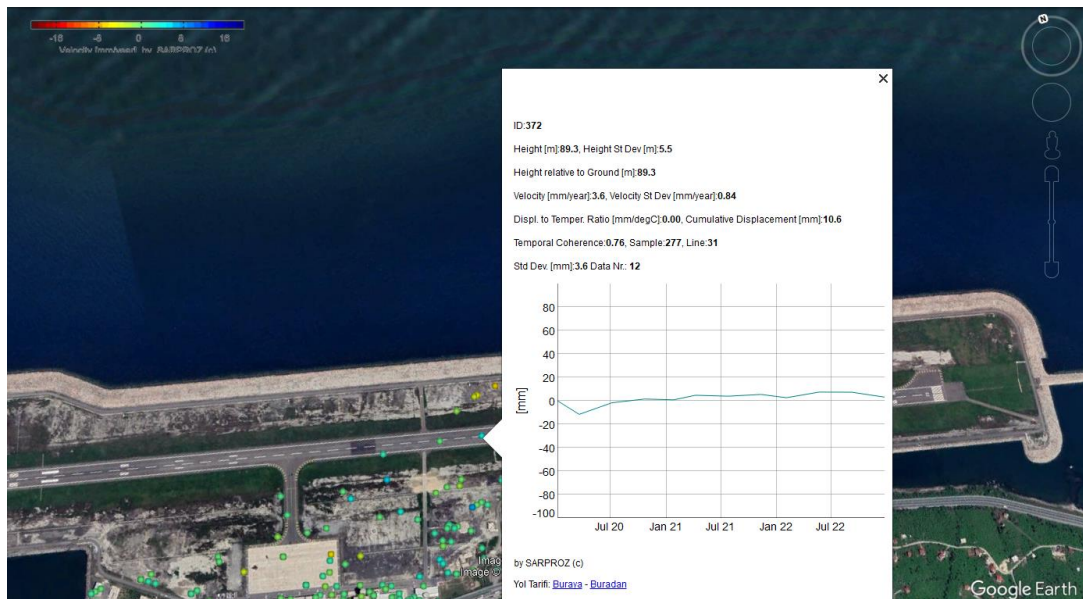


Şekil 4.27. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (1.Bölge).

Ordu – Giresun Havalimanı pistinde yer aldığı 2. Bölgedeki PS noktalarının maksimum yıllık ortalama hareketinin -2,0 mm ile pozitif yönde maksimum 3,6 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. 1081 günlük toplam LOS hareketinde ise -6,0 mm ile 10,6 mm arasında yüzey deformasyonu olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.28). Negatif yöndeki değişimlerin Ordu-Giresun Havalimanı pistinin doğu kesiminde, pozitif değişimlerin ise batı kesiminde yer aldığı görülmektedir. Şekil 4.29’da pistin olduğu kısımdaki noktanın zaman serisindeki deformasyonu verilmiştir.

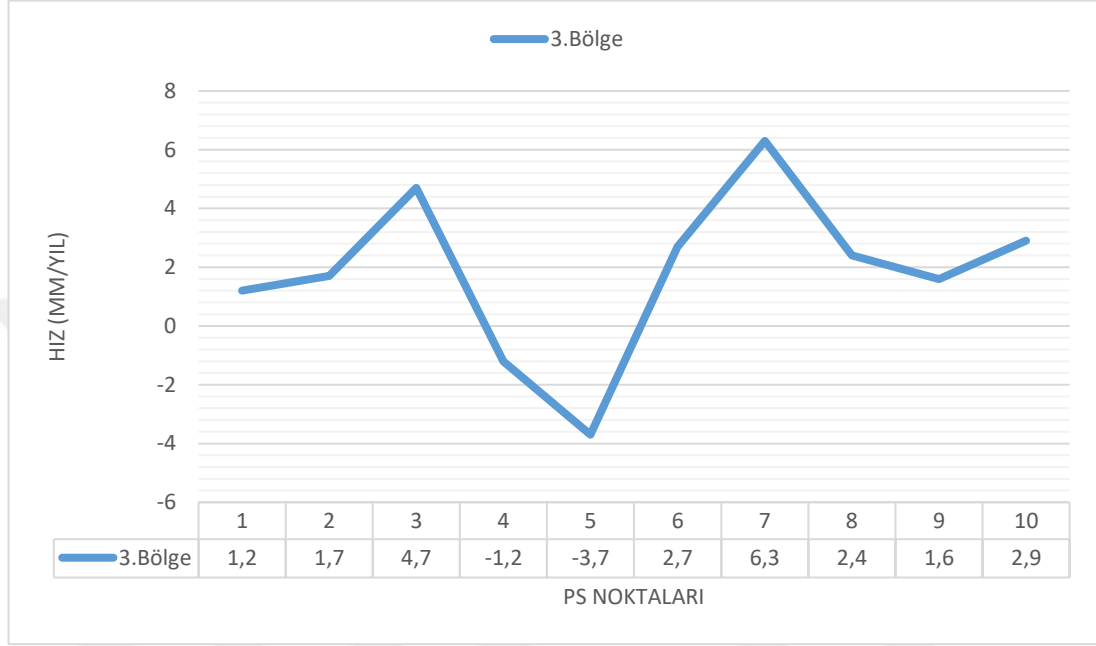


Şekil 4.28. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (2.Bölge).



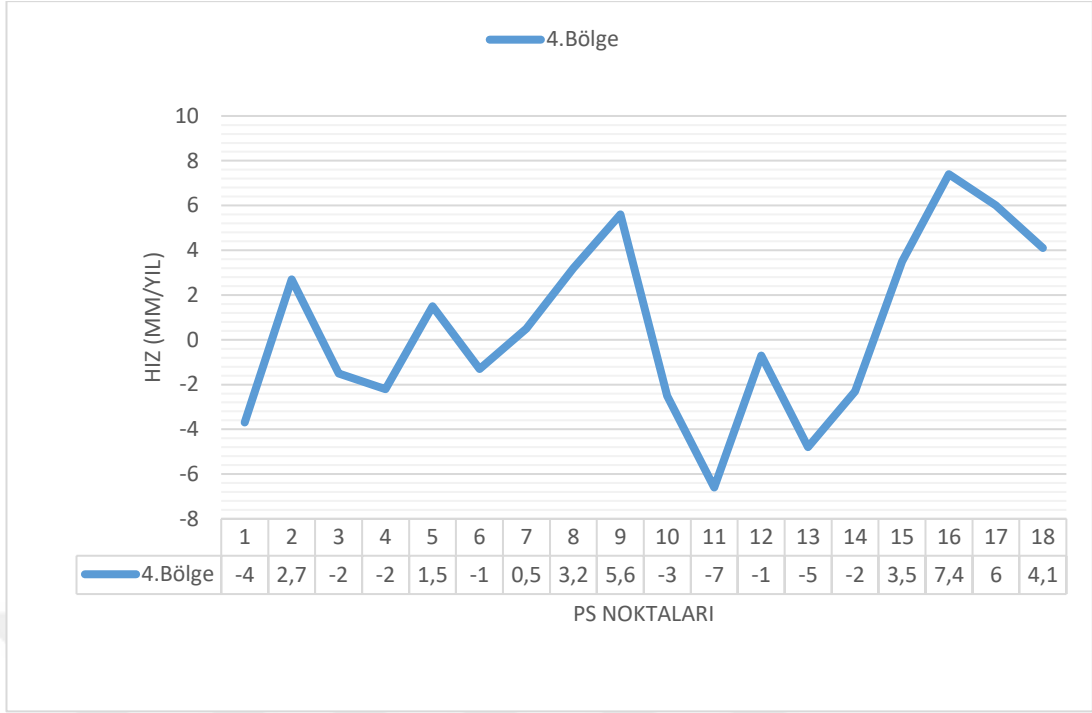
Şekil 4.29. Havalimanı pistinde yer alan 372 nolu noktanın zaman serisi.

3. bölgede Ordu – Giresun Havalimanının doğusunda bulunan dolgu sahasındaki noktaların yıllık ortalama hareketi $-3,7$ mm ile $6,3$ mm arasında değişmekte olup 1081 günlük toplam LOS hareketinde $-10,8$ mm ile $18,7$ mm arasında olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.30). Bu bölge için minimum hareket ise negatif yönde $-1,2$ mm ve pozitif yönde $1,2$ mm'dir. Bu alanda değişimlerin %90'ı pozitif yöndedir.



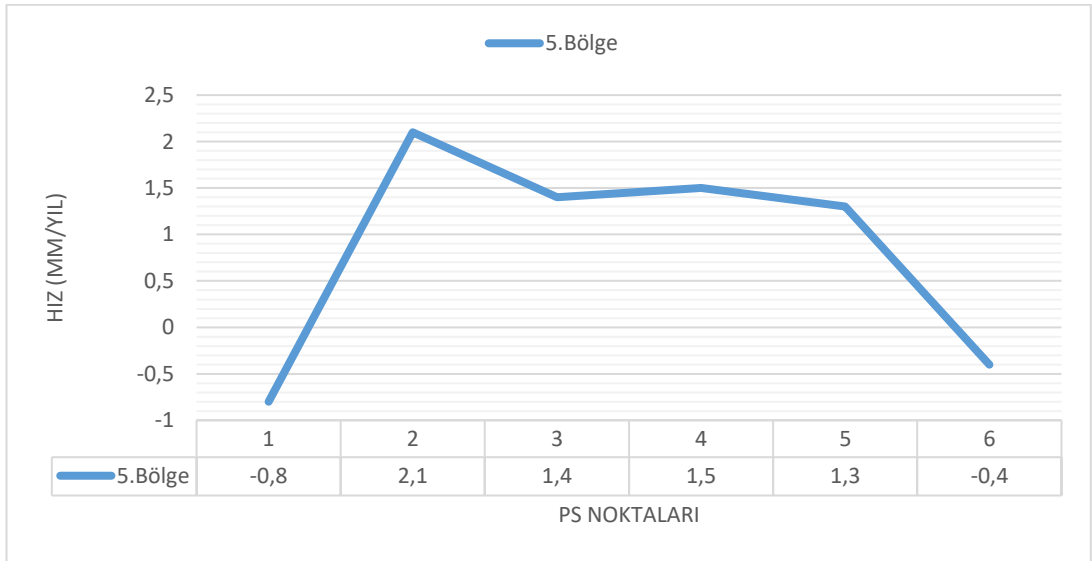
Şekil 4.30. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (3.Bölge).

4. bölgede Ordu – Giresun Havalimanının terminal binasının ve diğer yapıların bulunduğu bölgedeki noktalarda yıllık ortalama hareketleri $-6,6$ mm ile pozitif yönde maksimum $7,4$ mm arasında değişmekte olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.31). 1081 günlük toplam LOS hareketinde ise $-19,5$ mm ile $21,8$ mm arasında yüzey deformasyonu olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede, deformasyonların asıl etki bölgesinin yapıların bulunduğu kısımda olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.31. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (4.Bölge).

5. bölgede Ordu – Giresun Havalimanının güneyinde bulunan karayolunun uydu bakış doğrultusundaki pozitif yönde maksimum yıllık ortalama hareketleri -0,8 mm ile 2,1 mm arasında değişmekte olup 1081 günlük toplam LOS hareketinde -2,3 mm ile 6,4 mm arasında yüzey deformasyonu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.32). Karayolundaki deformasyonun daha çok pozitif yönde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.32. Çalışma alanı PS noktaları yıllık hız değerleri (5.Bölge).

PS noktalarının LOS yönündeki yıllık ortalama hareketleri incelendiğinde, Ordu-Giresun Havalimanı alanındaki hareketlerinin -7 mm ile 8 mm aralığında değiştii belirlenmiştir. Bayık (2021), aynı bölgede 2017-2019 yıllarını için Sentinal-1A/B görüntülerinden PSI tekniği ile yaklaşık -14 mm ile 9 mm arasında deformasyon belirlenmiştir. Sonuçların yaklaşık uyumlu olduğu (özellikle pozitif yönde) ifade edilebilir. Sonuçların daha çok çalışma alanındaki deniz kenarı kısmında, mühendislik yapıları ve pistin belirli yerlerinde elde edildiği görölmektedir.

Havalimanının kuzey bölümünde negatif hız çoğunluktaiken güneyinde ise hem negatif hem pozitif hızlar gözlemlenmiştir. Bu tür dolgu sahalarında oluşan yüzey deformasyonlarına neden olarak taşıma kapasitelerindeki yetersizlik söylenebilir. Havalimanının güvenliği ve işletmenin düzenli çalışması için bu yapının yüzey deformasyonunun sürekli veya periyodik olarak izlenmesi oldukça önemlidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Karadeniz Bölgesinin dağlık ve engebeli arazi yapısına sahip olduğundan Trabzon Akyazı Stadyumu, Ordu – Giresun Havalimanı deniz dolgusu üzerine inşa edilmiştir. Çalışma alanının olarak seçilen bu iki bölgenin deformasyon haritası, Sentinel-1 Sentetik Açıklıklı radar (SAR) görüntüleri kullanılarak elde edildi. Bu amaçla ilk olarak Trabzon Akyazı Stadyumunda Ocak 2020- Aralık 2022 yılları arasında meydana gelen yüzey hareketleri tespit edilmiştir. Sürekli Saçıcılar İnterferometrisi (PSI) tekniği kullanılarak zaman serileri elde edilmiş ve bu zaman serileri Sentinel 1A uydusuna ait ücretsiz olarak ESA'dan temin edilmiş olup 12 adet uydu görüntüsü ile elde edilen veri kümesi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar LOS yönünde belirlenmiştir. Bu doğrultuda Trabzon Akyazı Stadyumunda meydana gelen deformasyonun ortalama Akyazı stadyumu çevresinde bulunan noktalarda -7 mm ile +4 mm aralığında değişim gösterdiği, stadyumun kuzeyinde deniz kenarındaki noktaların hareketlerinin ise -1 mm ile -4 mm aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma alanında daha çok negatif yönde hareketin olması, özellikle dolgu malzemesinden kaynaklanan oturma hareketinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bir diğer çalışma alanı olan Ordu-Giresun Havalimanında, Ocak 2020-Aralık 2022 yılları arasında meydana gelen deformasyonlarda bir önceki çalışma bölgesinde izlenen işlem adımlarına benzer şekilde belirlenmiştir. Değerlendirme ve analiz sonucu, Ordu-Giresun Havalimanında meydana gelen yüzey hareketlerinin -7 mm ile 8 mm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bayık (2021), aynı bölgede 2017-2019 yıllarını için Sentinel-1A/B görüntülerinden PSI tekniği ile yaklaşık -14 mm ile 9 mm arasında deformasyon belirlemiştir. Sonuçların yaklaşık uyumlu olduğu (özellikle pozitif yönde) ifade edilebilir. Değişimlerin daha çok çalışma alanının deniz kenarı kısmında, mühendislik yapıları ve pistin belirli yerlerinde ortaya çıktığı görülmüştür. Havalimanının kuzey bölümünde negatif hareket çoğunlukta iken güneyinde ise hem negatif hem pozitif hareketler gözlemlenmiştir. Bu tür dolgu sahalarında oluşan yüzey deformasyonlarına neden olarak taşıma kapasitelerindeki yetersizlik söylenebilir.

Havalimanlarının üzerine kurulduğu zeminin sağlam olması terminaller ve pistler için önemlidir. Zeminde meydana gelen yüzey hareketlerinin, özellikle uçakların iniş ve kalkışı esnasında terminallere ve pistlere risk oluşturmaktadır. Bu nedenle,

Havalimanlarının güvenliği ve işletmenin düzenli çalışması için bu tür yapıların (periyodik) ve sürekli olarak izlenmesi oldukça önemlidir.

Genel olarak, elde edilen sonuçlar InSAR ve topografik yerinde inceleme yöntemlerini entegre etmenin, bakım faaliyetlerine öncelik vermede ve araştırma sahalarının planlanmasında kapsamlı bir bilgi veri sistemi ile doğru karar vermeye yardımcı olmanın uygulanabilirliğini de göstermiştir. Ayrıca, dolgu alanı üzerine yapılan yapıların sürekli olarak izlenmesinde InSAR zaman serisi yöntemlerinin önemini ve SAR uydu görüntülerinin kullanılabilirliğini ortaya çıkarmaktadır.



KAYNAKLAR

- Abdikan, S., 2007. Sar görüntülerinden üretilen interferometrik ve stereo sayısal yükseklik modellerinin kalitesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akoğlu, A.M., 2008. Deprem yüzey deformasyonlarının sar interferometresi ile analizi ve modellenmesi: Türkiye’den ve dünyadan örnekler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altıntaş, F., 2022. Deniz dolgu sahalarındaki yüzey değişimlerinin psi ve hassas nivelman yöntemleri ile belirlenmesi: şenol güneş spor kompleksi örneği, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bayık, Ç., 2021. Ordu-Giresun havalimanı'nın sürekli saçıcılar interferometrisi (psi) ile deformasyon analizi, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 8, 2, 161-169.
- Bianchini Ciampoli, L., Gagliardi, V., Ferrante, C., Calvi, A., D'Amico, F. ve Tosti, F., 2020. Displacement monitoring in airport runways by persistent scatterers sar interferometry, Remote Sensing, 12, 3564, 1-14.
- Biggs, J. ve Wright, T.J., 2020. How satellite insar has grown from opportunistic science to routine monitoring over the last decade, Nat Commun, 11, 3863.
- Boyalı, A.S., 2022. Maden sahalarında insar ile deformasyon ölçmeleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Canaslan, F., 2010. Insar yöntemiyle düşey yönlü yüzey deformasyonlarının belirlenmesi: konya örneği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Chen, Y., Li, J., Li, H., Gao, Y., Li, S., Chen, S., Guo, G., Wang, F., Zhao, D. ve Zhang, K., 2023. Revealing land surface deformation over the yineng backfilling mining area, china, by integrating distributed scatterer sar interferometry and a mining subsidence model, in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 16, 3611-3634.
- Chen, Y., Tong, Y. ve Tan, K., 2020. Coal mining deformation monitoring using sbas-insar and offset tracking: a case study of yu country, china, IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations and Remote Sensing, 13, 6077-6087.
- Çevikbaş, G., 2020. Uzaktan algılama ve bilgi teknolojileri kullanılarak yüzey deformasyonlarının yerleşim alanlarına olan etkisinin değerlendirilmesi: zonguldak / kozlu örneği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

- Çomut, F.C., 2016. Farklı yeryüzü özelliklerinde ileri insar teknikleri kullanılarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çomut, F.C., Gürboğa, Ş. ve Üstün, A., 2015. Denizli babadağ İlçesinde heyelanların interferometrik yapay açıklıklı radar insar tekniği ile gözlemlenmesi, Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Burdur, Bildiriler Kitabı, 49-61.
- Dai, K., Shi, X., Gou, J., Hu, L., Chen, M., Zhao, L., Dong, X. ve Li, Z., 2020. Diagnosing subsidence geohazard at beijing capital international airport, from high-resolution sar interferometry, Sustainability, 12, 6, 2269.
- Deliormanlı, S., 2009. Yapay açıklıklı radar ham verilerinden görüntü oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğru, A., Özener, H., 2011. Gps ve insar ile yer değiştirmelerin belirlenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 18-22.
- Erener, A., Üstün, A., Yalvaç, S., Çomut, F.C., Şentürk, E., Kaya, E., 2019. Zemin çökmelerinin ve bina yoğunluğu ilişkisinin insar ve optik uydu görüntüleri ile araştırılması: doğu marmara izmit körfezi örneği, VI. International Earthquake Symposium, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 268-274.
- Fletcher, K., 2012. Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services, ESA Communications, Leiden, the Netherlands.
- Gündoğdu, B., 2021. Doğal ve insan kaynaklı afetlerin interferometrik sar yöntemi ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Gürbüz, F., 2022. Yapay açıklıklı radar İnterferometri insar tekniği ve deformasyonlar üzerine uygulama alanları, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Hastaoğlu, K.Ö., Poyraz, F., Demirel, M., Türk, T., 2014. Envisat sar görüntüleri kullanılarak heyelanların izlenilmesi, 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 71, 1-8.
- Hongyue, Z., Yunjia, W., Shiyong, Y., Yi, L., Xixi, L. ve Feiyue Z., 2018. Monitors of recent ground surface subsidence in the cangzhou region by the use of the insar time-series technique with multi-orbit sentinel-1 tops imagery, International Journal of Remote Sensing, 39,22, 8113-8128.
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L. ve Sun, Q., 2014. Resolving threedimensional surface displacements from insar measurements: a review, EarthScience Reviews, Bildiriler Kitabı, 133, 1-17.

- Irak, H., 2009. Sar sistem ve teknolojileri, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 437, 86-90.
- İmamoğlu, M., Kahraman, F., Çakır, Z. ve Şanlı, F. B., 2020. Çok zamanlı insar yöntemi ve sentinel-1 verisi ile bolvadin zemin çökmesi analizi, IEEE Signal Processing and Communications Applications, 1-4.
- Jiang, Y., Liao, M., Wang, H., Zhang, L. ve Balz, T., 2016. Deformation monitoring and analysis of the geological environment of pudong international airport with persistent scatterer sar interferometry. Remote Sensing, 8, 1021, 1-18.
- Karşlıoğlu, A., Alkayış, M. H., Kalkan, K. ve Onur, M. İ., 2020. Sentinel-1 uydusu ile konya karapınar ilçesi bölgesel çökme analizi, Disaster Science and Engineering, 6,2, 8-15.
- Kaygusuz, Ç., 2021. Sarıgöl'de meydana gelen yüzey deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Kucur, S., 2019. Ps-insar ile yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi: bolvadin örneği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Kyurazi, J. K., 2005, Quality assessment of dem from radargrametry data, master of science in geoinformatics, International Institute, for Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Liu, F., Elliott, J. R., Craig, T. J., Hooper, A. ve Wright, T. J. 2021. Improving the resolving power of insar for earthquakes using time series: a case study in iran, Geophysical Research Letters, 48, 1-12.
- Liu, X., Zhao, C., Zhang, Q., Yang, C. ve Zhang, J. 2019. Characterizing and monitoring ground settlement of marine reclamation land of xiamen new airport china with sentinel-1 sar datasets, Remote Sensing, 11,5, 585.
- Nas, M., 2013. Trabzon akyazı sahil dolgu alanı zeminlerinde sismik kaynaklı sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Oktar, O., 2020. Büyük menderes grabeni tektonik hareketlerinin uydu bazlı tekniklerle belirlenmesi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Orhan, O., 2018. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile muhtemel obruk alanlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Perissin, D., Wang, Z. ve Lin, H., 2012. Shanghai subway tunnels and highways monitoring through cosmo-skymed persistent scatterers, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 73, 58-67.

- Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoğlu, K.Ö., Tiryakioğlu, İ., Gürsoy, Ö., Koçbulut, F., Türk, T., Demirel, M., Duman, H., Ciğer, A.F. ve Gül, D., 2015. Gediz grabeninin doğu kesimindeki güncel tektonik hareketlerin gps ve ps-insar yöntemleri kullanılarak belirlenmesi: ilk sonuçlar, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7,1, 17-28.
- Qishi, S., Jiang, L., Sun, Y., Bai, L. ve Wang, H., 2016. Monitoring ground deformation in hong kong international airport with nl-insar filtering, 5978-5981.
- Sefercik, U.G., 2007. Radar interferometri tekniği ile sym üretimi ve doğruluk değerlendirmeleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 11, 2-6.
- Şengün, Y.S., 2010. Insar ölçülerinin doğruluk araştırması, Harita Dergisi, 143, 19-25.
- Şengün, Y.S. ve Deniz R., 2009. Insar ölçülerinin doğruluk araştırması ve nokta seyrekletmesi, İTÜ Dergisi, 8,3, 81-90.
- Şentürk, S., 2020. Insar uzaktan algılama tekniği ile aktif heyelanların izlenmesi: ağcagüney samsun örneği, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şireci, N., 2021. Konya şehir alanı yüzey deformasyonlarının insar yöntemiyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Taftoglou, M., Sotiris, V., George, P. ve Efstratios, K., 2023. Satellite imagery for rapid detection of liquefaction surface manifestations: the case study of Türkiye–syria 2023 earthquakes, Remote Sensing, 15, 4190, 1-30.
- Türk, H., 2015. Ordu giresun havalimanı mekan seçimi ve muhtemel etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Giresun.
- Uçaker, E., 2021. Geniş alanlı tesviyeli mühendislik yapılarında yüzey deformasyonlarının uydu bazlı jeodezik yöntemlerle izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Yağmur, N. ve Musaoğlu, N., 2022. Havalimanlarında yapısal değişimlerin ps-insar tekniği ile belirlenmesi: istanbul havalimanı örneği, Harita Dergisi, 164, 28-37.
- Yalvaç, S., 2020. Validating insar-sbas results by means of different gnss analysis techniques in medium-and high-grade deformation areas, Environmental Monitoring and Assessment, 192,2, 120.
- Yalvaç, S., 2023. Mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların daimi yansıtıcı interferometre tekniği ile izlenmesi: samsun 19 mayıs stadyumu örneği, Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 5,1, 27-32.

Yılmaztürk, S., 2015. Sbas-insar yöntemiyle düşey yönlü yüzey deformasyonlarının belirlenmesi: bursa-orhaneli linyit madeni örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wang, T., Perissin, D., Rocca, F. ve Liao, M. S., 2011. Three gorges dam stability monitoring with time-series insar image analysis, Science China Earth Sciences, 54, 720-732.

Wu, S., Yang, Z., Ding, X., Zhang, B., Zhang, L. ve Lu, Z., 2020. Two decades of settlement of hong kong international airport measured with multi-temporal insar, Remote Sensing of Environment, 248, 1-14.

URL-1 <<https://sarkac.org/2022/04/sar-yapay-aciklikli-radar-nedir/>>, Erişim Tarihi: 16.01.2023.

URL-2<<https://www.nature.com/articles/s41467-020-17587-6>>, Erişim Tarihi: 17.01.2023.

URL-3<[Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry \(cnr.it\)](https://www.cnr.it/it/tema/differential-synthetic-aperture-radar-interferometry)>, Erişim Tarihi:15.10.2023.

URL-4<https://www.researchgate.net/figure/Simplified-workflow-of-PSI-Processing-in-SARPROZ_fig2_337299701>, Erişim Tarihi:19.12.2023.

URL-5 < <https://www.sarproz.com/>>, Erişim Tarihi: 15.10.2023.

URL-6 <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>>, Erişim Tarihi: 16.01.2023.

URL-7 <<https://www.geoimage.com.au/satellites-sensors/sentinel-1a-1b/>>, Erişim Tarihi: 17.01.2023.

URL-8 <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=101>, Erişim Tarihi:16.10.2023.

URL-9 <[Şenol Güneş Spor Kompleksi - Vikipedi \(wikipedia.org\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Senol_Gunes_Spor_Kompleksi)>, Erişim Tarihi: 18.12.2023.

URL-10 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ordu-Giresun_Havaliman%C4%B1>, Erişim Tarihi:18.12.2023.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : CEREN APAYDIN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 2013-2017

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2021-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Harita Genel Müdürlüğü / Yaz Stajı (18.07.2016 – 26.08.2016)
2. TÜBİTAK 2016/2 Dönem 2209-A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı, Başvuru No: 1919B011603155- Bütçe Miktarı: 2.500,00 ₺. Araştırma Projesi ve Tez adı: Uzaktan Algılama ve CBS Verileriyle Taşkın Afetinin Çoklu Karar Verme Yöntemiyle Analiz Edilmesi: Trabzon-Beşikdüzü Örneği
3. Antalya Yol A.Ş. (Antalya-Burdur) Ayr. Taşkapı-Yeşilbaşköy-Ağlasun Yolu (Km:0+000 -19+000 Arası) ile Antalya – Burdur DY. Km: 108+200 – 108+430 ve Km: 119+570-119+730 Arası Heyelan Önleme, Toprak İşleri, Sanat Yapıları ve BSK Üstyapı İşleri İnşaatı İş / Harita Mühendisi (Eylül 2022 – Haziran 2023)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Ceren Apaydın, Büşra Ün, CBS ve AHP Yöntemiyle Taşkın Afetinin Analiz Edilmesi: Trabzon-Beşikdüzü Örneği, TMMOB Uluslararası CBS Kongresi 2017, Adana.
2. Ceren Apaydın, Hediye Erdoğan, Dolgu Alanları Yüzey Deformasyonlarının Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi, 1.Uluslararası Karadeniz Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi 2023, Trabzon.