



**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE YÜZEY DEĞİŞİMLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytaç TAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE YÜZEY DEĞİŞİMLERİNİN
BELİRLENMESİ

Aytaç TAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Aytaç TAN tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Araçları ile Yüzey Değişimlerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 24 / 07 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

Başkan	: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza
Üye	: Prof. Dr. Mustafa YILMAZ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza
Üye	: Prof. Dr. İbrahim YILMAZ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... / / tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki 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,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24 / 07 / 2024

İmza

Aytaç TAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE YÜZEY DEĞİŞİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Aytaç TAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

Bu çalışmada uygulama alanı olarak İzmir İli, Çiğli İlçesi, Harmandalı Mahallesi'nde bulunan heyelan bölgesi seçilmiştir. Lokal olarak küçük heyelanların gerçekleştiği bölgede, 30 Ekim 2020 tarihinde Sisam Adası'nda gerçekleşen ve İzmir'i de etkileyen Mw:6,9 büyüklüğünde deprem ile büyük kütleler halinde zemin hareketleri gerçekleşmiş ve çevredeki yapılara büyük hasarlar vermiştir. Çalışma kapsamında fotogrametrik yöntem ve GNSS ölçüm tekniği kullanılarak heyelan aktivitesi izlenmiştir. Etki alanının büyük olması nedeniyle insansız hava aracı kullanılmış ve belirli periyotlarda fotogrametrik uçuşlar yapılmıştır. Uçuşlardan elde edilen veriler işlenerek bölgenin sayısal yükseklik modeli ve ortofoto haritası üretilmiştir. Üretilen yüzey modellerinin periyotları arasında ki yükseklik farkları baz alınarak deformasyon ve mevsimsel değişim haritaları üretilmiştir. Aynı periyotlar içerisinde bölgeye tesis edilen noktalarda GNSS ölçümleri yapılmış ve benzer stratejiyle GNSS deformasyon farkları elde edilmiştir. Deformasyon ve mevsimsel değişim haritaları değerlendirilerek heyelan bölgesindeki düşey yönlü deformasyonlar, GNSS ölçüm noktaları incelendiğinde ise bölgedeki yatay yönlü deformasyonlar tespit edilmiştir.

2024, xiii + 100 sayfa

Anahtar Kelimeler: Harmandalı heyelanı, alansal deformasyon ölçümü, İHA, GNSS, yüzey deformasyon haritası, fotogrametri.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF CHANGES IN TOPOGRAPHY BY UNMANNED AERIALVEHICLE

Aytaç TAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

In this study, the landslide area located in Harmandalı Neighborhood, Çiğli District, İzmir Province, was selected as the application site. In this region, where small local landslides occur, the Mw:6.9 earthquake that occurred on October 30, 2020, on the Island of Samos and affected İzmir, caused significant ground movements in large masses and inflicted considerable damage to the surrounding structures. Within the scope of the study, landslide activity was monitored using photogrammetric methods and GNSS measurement techniques. Due to the large impact area, an unmanned aerial vehicle was used, and photogrammetric flights were conducted at specific intervals. The data obtained from the flights were processed to produce a digital elevation model and an orthophoto map of the region. Deformation and seasonal change maps were generated based on the height differences between the surface models produced at different periods. GNSS measurements were conducted at points established in the region within the same periods, and GNSS deformation differences were obtained using a similar strategy. By evaluating the deformation and seasonal change maps, vertical deformations in the landslide area were identified, and horizontal deformations in the region were detected when examining the GNSS measurement points.

2024, xiii + 100 pages

Keywords: Harmandalı landslide, areal deformation measurement, UAV, GNSS, surface deformation map, photogrammetry.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim YILMAZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na teşekkür ederim.

Hayat boyu beni destekleyen, tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan, bana inanan ve sabırla beni bekleyen sevgili eşim, hayat arkadaşım Ebru'ya çok teşekkür ederim.

Beni emekleriyle bugünlere getiren, aldığım kararlara saygı duyan ve desteğini hiç esirgemeyen babam Mustafa TAN'a, annem Kevser TAN'a, ablam Ayça DEMİR'e ve bu mesleği seçmemi sağlayan dayım Doç. Dr. Kadir TUNCER'e teşekkür ederim.

Tez aşaması boyunca mesleki tecrübeleri ve aktif desteğiyle her an yanımda olan değerli meslektaşım Ozan ÜNSAL'a, benimle beraber zorlu arazi koşullarında emeğini bir an olsun eksik etmeyen meslektaşım Savaş ARSLAN'a teşekkür ederim.

Mesleğime yanında başladığım, iş hayatını ve çalışma disiplini bana öğreten, hayat tecrübesi ve vizyonu ile beni yetiştiren, mesleğimde ve standartlarımda bugüne gelmemi sağlayan, hayatta olduğu süre boyunca bana öğretmenlik yapmış ve hala desteğini hissettiğim meslektaşım ve abim Yahya Kerem KAPTAN'a teşekkürlerimi sunuyorum ve bu çalışmayı ona ithaf ediyorum.

Aytaç TAN
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
3. JEOLJİK İNCELEMELER	12
3.1 Heyelan	12
3.2 Heyelan Oluşum Nedenleri.....	12
3.3 Heyelan Türleri	12
3.3.1 Açısal Kayma	12
3.3.2 Düzlemsel Kayma	13
3.3.3 Blok Kayma	13
3.3.4 Devrilme.....	13
3.3.5 Düşme	14
3.3.6 Toprak Kayması	14
3.3.7 Akma	15
3.3.8 Sürünme	15
3.3.9 Yanal Yayılma	16
3.4 Heyelan Envanter Haritaları	16
4. JEODEZİK İNCELEMELER	18
4.1 GNSS Sistemleri.....	18
4.1.1 Uydu Konum Belirleme İlkeleri.....	19
4.1.2 Uydu Konum Belirleme Yöntemleri.....	19
4.1.3 RTK Sistemi.....	21
4.1.3.1 Klasik RTK Yöntemi.....	21
4.1.3.2 Ağ RTK Yöntemi	21
4.1.4 GNSS Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri	24

4.2 Lazer Tarama Sistemleri	24
4.2.1 Yersel Lazer Tarama Sistemi	25
4.2.2 Hava Lazer Tarama Sistemi	26
4.2.3 Mobil Lazer Tarama Sistemi	27
4.2.4 Lazer Tarama Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri	28
4.3 Uydu Görüntüleme Sistemleri	29
4.3.1 Radar İnterferometrisi	30
4.3.2 Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (InSAR)	31
4.3.3 Diferansiyel Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (DInSAR)	31
4.3.4 Uydu Görüntüleme Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri	32
4.4 İnsansız Hava Araçları	32
4.4.1 İHA Tanımı	33
4.4.2 İHA Sınıflandırması	34
4.4.3 İHA Kullanım Alanları	36
4.4.4 İHA Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri	37
5. UYGULAMA	38
5.1 Çalışma Alanının Tanıtılması	38
5.1.1 Çalışma Alanının Jeomorfolojik Yapısı	39
5.1.2 Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı	39
5.1.3 Çalışma Alanının İklim Yapısı	40
5.1.4 Uygulama Öncesinde Yapılmış Çalışmalar	40
5.2 Uygulama Hazırlık Çalışmaları	45
5.3 Verilerin Toplanması	50
5.4 Verilerin İşlenmesi	52
5.4.1 Uçuş Verilerinin İşlenmesi	52
5.4.2 Sayısal Arazi Modeli Üretilmesi	55
5.4.3 Deformasyon Haritalarının Üretilmesi	56
5.4.4 Mevsimsel Değişim Haritalarının Üretilmesi	58
5.4.5 GNSS Verilerinin İşlenmesi	60
5.5 Verilerin Yorumlanması	62
5.5.1 Deformasyon Haritalarının Yorumlanması	62
5.5.2 Mevsimsel Değişim Haritalarının Yorumlanması	68
5.5.3 GNSS Ölçüm Noktalarının Değerlendirilmesi	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81

7. KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	100



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ALS	Airborne Laser Scanner
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CORS	Continuously Operating Reference Station
DInSAR	Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar
ERT	Elektrik Rezistivite Tomografisi
GLONASS	Globalnoya Navigatsionnaya Sputnikovaya Systema
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
INS	Inertial Navigation System
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
İHA	İnsansız Hava Aracı
LiDAR	Light Detection and Ranging
MASW	Multi-Chanel Surface Wave Analysis Method
MLT	Mobil Lazer Tarama
MTA	Maden Tetkik Arama
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NavIC	Navigation with Indian Constellation
RAR	Real Aperture Radar
ROC	Receiver Operating Characteristic
RTK	Real Time Kinematik
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SAR	Synthetic Aperture Radar
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TLS	Terrestrial Laser Scanner
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sürekli Aktif GPS Ağı
UA	Uzaktan Algılama
YKN	Yer Kontrol Noktası
YLT	Yersel Lazer Tarama

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Açısal kayma gösterimi.....	12
Şekil 3.2 Düzlemsel kayma gösterimi.....	13
Şekil 3.3 Blok kayma gösterimi.	13
Şekil 3.4 Devrilme türünün gösterimi	14
Şekil 3.5 Düşme türünün gösterimi.....	14
Şekil 3.6 Toprak kayması gösterimi.....	15
Şekil 3.7 Akma türünün gösterimi.	15
Şekil 3.8 Sürünme türünün gösterimi.....	16
Şekil 3.9 Yanal yayılma türünün gösterimi.....	16
Şekil 3.10 Türkiye Heyelan Envanteri Haritası İzmir-Ölçek 1/500 000.....	17
Şekil 4.1 Konum belirleme geometrisi.....	19
Şekil 4.2 Konum belirleme yöntemleri	20
Şekil 4.3 Mutlak konum belirleme (1) ve görel konum belirleme (2) yöntemleri.	20
Şekil 4.4 Tek sabit istasyon yaklaşımı (1) ağ yaklaşımı (2).....	22
Şekil 4.5 Türkiye ve KKTC TUSAGA-Aktif İstasyon Haritası	23
Şekil 4.6 Lazer tarama sistemleri kullanılarak üretilmiş 3B yüzey modeli.....	25
Şekil 4.7 Yersel lazer tarama sistemi kullanılarak üretilmiş 3B model.	26
Şekil 4.8 Hava lazer tarama sistemi çalışma prensibi	27
Şekil 4.9 Mobil lazer tarama ile üretilmiş bir nokta bulutu örneği	28
Şekil 4.10 Çözünürlük farkları-RAR (a) ve SAR (b) görüntüsü.....	30

Şekil 4.11 RAR ve SAR Sistemleri.....	31
Şekil 4.12 M Sınıfı İHA türleri a) Model helikopter b) Quadrotr c) Sabit kanat.....	36
Şekil 5.1 Çalışma alanını gösterir harita.	38
Şekil 5.2 Bölgeye ait eğim yönünü gösterir kesit.....	38
Şekil 5.3 Bölge yüzeyinde görülen çatlakların üç boyutlu jeodezik ölçümleri.....	41
Şekil 5.4 Pilyelere yapılan ölçüm sonuçlarını ve baz uzunluklarını gösterir kroki.....	42
Şekil 5.5 2021 yılında ki heyelan sınırının (yeşil alan) Google Earth gösterimi.	44
Şekil 5.6 Uçuş ve çalışma alanını Google Earth üzerinde gösterimi.	46
Şekil 5.7 Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü uçuş planı.....	46
Şekil 5.8 Uçuş alanında bulunan YKN ağı ve noktalar arası baz uzunlukları.	48
Şekil 5.9 Çalışmada kullanılan İHA ve GNSS ölçüm cihazı.	49
Şekil 5.10 GNSS ölçüm ağı ve noktalar arası baz uzunlukları.	49
Şekil 5.11 3D Survey Yazılımı'nda görüntü bağlama işlemi.....	53
Şekil 5.12 YKN işaretleme ve proje dengeleme işlemi.	54
Şekil 5.13 Deformasyonun yoğun olduğu bölgede üretilen nokta bulutu görseli.	54
Şekil 5.14 2023 yılı Aralık ayına ait SYM ve Ortofoto verisi.	54
Şekil 5.15 Detaylar üzerine gelen noktaları temizleme işlemi.....	55
Şekil 5.16 SYM ve SAM arasındaki farkın gösterimi.	56
Şekil 5.17 Kontur yüzey örneği-2023 yılı Aralık ayına ait.	57
Şekil 5.18 Deformasyon haritası örneği, Nisan-Aralık 2023.	57
Şekil 5.19 Deformasyon haritası renk düzeni ve ölçeği.....	58
Şekil 5.20 Mevsimsel değişim haritaları için belirlenen heyelan bölgesi.	59

Şekil 5.21	Mevsimsel değişim haritası örneği-Nisan-Eylül 2023 dönemine ait.	59
Şekil 5.22	Mevsimsel değişim haritası renk düzeni ve ölçeği.	60
Şekil 5.23	GNSS noktalarının deformasyon grafiğine bir örnek 9 numaralı nokta.	62
Şekil 5.24	Nisan-Mayıs 2023 dönemine ait deformasyon haritası.....	63
Şekil 5.25	Nisan-Haziran 2023 dönemine ait deformasyon haritası.	64
Şekil 5.26	Nisan-Temmuz 2023 dönemine ait deformasyon haritası.	64
Şekil 5.27	Nisan-Eylül 2023 ayına ait deformasyon haritası.	65
Şekil 5.28	Nisan-Ekim 2023 dönemine ait deformasyon haritası.	66
Şekil 5.29	Nisan-Kasım 2023 dönemine ait deformasyon haritası.	66
Şekil 5.30	Nisan-Aralık 2023 dönemine ait deformasyon haritası.	67
Şekil 5.31	Nisan 2023-Nisa 2024 dönemine ait deformasyon haritası.	68
Şekil 5.32	Mevsimsel değişim haritaları	69
Şekil 5.33	Deformasyon haritası üzerinde GNSS ölçüm noktalarının gösterimi.....	73
Şekil 5.34	9 no’lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.	73
Şekil 5.35	10 no’lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.	74
Şekil 5.36	11 no’lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.	74
Şekil 5.37	12 no’lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.	75
Şekil 5.38	26 no’lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.	75
Şekil 5.39	7 no’lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.	76
Şekil 5.40	9 ve 10 numaralı noktaların vektör büyüklüğü ve yönü.	77
Şekil 5.41	11 ve 12 numaralı noktaların vektör büyüklüğü ve yönü.	77
Şekil 5.42	7 ve 26 numaralı noktaların vektör büyüklüğü ve yönü.	78

Şekil 5.43 GNSS noktalarının vektörlerinin deformasyon haritasında gösterimi.	78
Şekil 5.44 Deformasyon yön ve hızlarının deformasyon haritası üzerinde gösterimi. ..	79
Şekil 6.1 Son periyota ait Nisan 2023-Nisan 2024 dönemi deformasyon haritası.	83
Şekil 6.2 Periyotlar arasında 3 ayrı döneme ait mevsimsel değişim haritaları.	84
Şekil 6.3 12 aylık periyottaki deformasyon büyüklükleri ve yönleri.	86
Şekil 6.4 365 günlük periyottaki deformasyon hızları.	86



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 İHA sistemlerinin genel sınıflandırması	34
Çizelge 4.2 Farklı kriterlerde İHA sınıflandırmaları.....	35
Çizelge 4.3 Fiyat ya da düşük yük kapasitesine göre İHA sınıflandırması.....	35
Çizelge 5.1 Uygulama Planı kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların özet tablosu. ...	51
Çizelge 5.2 Örnek GNSS ölçüm verisi.....	51
Çizelge 5.3 GNSS ölçümlerinin standart sapma değerleri.	60
Çizelge 5.3 (Devam) GNSS ölçümlerinin standart sapma değerleri.	61
Çizelge 5.4 GNSS ölçüm noktalarının ortofotolar ile karşılaştırılması.	71
Çizelge 5.4 (Devam) GNSS ölçüm noktalarının ortofotolar ile karşılaştırılması.....	71
Çizelge 5.4 (Devam) GNSS ölçüm noktalarının ortofotolar ile karşılaştırılması.....	72
Çizelge 5.5 Minimum değişim gösteren GNSS ölçüm noktaları.	72
Çizelge 5.6 Deformasyon haritaları ile GNSS ölçümlerinin düşey farkları.....	80

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 5.1 Hasar gören ölçüm noktası ve kaldırılan enerji nakil hattı.	42
Resim 5.2 Hasar görmüş ve kaldırılan enerji nakil hatları.....	43
Resim 5.3 Deprem öncesinde ve sonrasında gerçekleşen yüzey deformasyonları.	43
Resim 5.4 Heyelan sonucunda yapılarda görülen hasarlar.	44
Resim 5.5 YKN tesisleri.	48
Resim 5.6 Tesis edilen noktalarda GNSS ölçümleri.....	50
Resim 5.7 Heyelan bölgesinde toprak altında kalan 17 numaralı nokta.	52
Resim 5.8 Tahrip edilen 13 numaralı nokta.....	52
Resim 5.9 Ortofoto üzerinde işaretlenen GNSS ölçüm noktalarına örnek.	70

1. GİRİŞ

Toplumda ekonomik ve fiziksel kayıplara neden olan, bunun doğrultusunda normal hayatı kesintiye uğratan ve sosyal olarak toplumun baş edebilme kapasitesinin yeterli olmadığı, doğa veya insan kaynaklı olaylara afet denir. Afet bir olayın kendisi değil, doğurduğu sonuçtur (AFAD 2024). Can ve mal kayıpları nedeniyle olumsuz bir şekilde sosyal, politik ve ekonomik etkileri görülen, doğa veya insan kaynaklı olayların belirli yer ve zamanda meydana gelme olasılığına ise afet tehlikesi denir. Afet tehlikelerini kökenlerine göre üç gruba ayırmak mümkündür. Deprem, heyelan, sel, kuraklık gibi olaylar doğal; nükleer, endüstriyel ve taşımacılık kazaları gibi olaylar teknolojik; savaş ve terör gibi olaylar ise insan kaynaklı tehlikelerdir. Tehlike, matematiksel olarak olayın belirli bir büyüklüğü, gerçekleşme yeri ve belirli zaman dilimlerinde olma olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden afet tehlikesini, büyüklük, oluşum ve tekrarlanma süresi, etki alanı ve gerçekleşme olasılığı gibi parametrelerle tanımlamak gerekmektedir (AFAD 2024)

Herhangi bir tehlikenin herhangi bir zaman diliminde meydana gelmesi durumunda, insanlara, yerleşimlere ve doğal çevreye, zarar veya hasar ile baş edebilme kapasitesi ile orantılı olarak meydana gelebilecek kayıpların olasılığına afet riski denir. Ülke, bölge, kent veya yerel ölçekte tehlike risklerinin belirlenmesi, bunların analizi ve azaltılabilmesi için gerekli imkân ve kaynak önceliklerinin belirlenmesi; bu doğrultuda stratejik ve politik eylem planlarının hazırlanması ile birlikte uygulanması sürecini afet risk yönetimi denir (AFAD 2024).

Afet olaylarının ani ve beklenmedik oluşu, can ve mal kayıpları yaşatması, büyük yapısal hasarlar yaratması, ekonomik ve çevresel zararlara sebep olması gibi olumsuz etkilerinden dolayı toplumda sosyolojik olarak dengesizliklere sebep olmaktadır. Bu sebeplerin yanı sıra afet risklerinin önlenemez oluşu toplumları, bilimsel araştırma çalışmalarına sevk etmiştir. Afet risk araştırmaları, afetlerin nedenlerinin ve etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayıp, risk analizleri yapılarak afet planlama/yönetme ve erken uyarı sistemleri gibi birçok alanda çalışmalara kapı açmaktadır (Şahin 2017).

Türkiye, jeomorfolojik olarak genç oluşumlu yapıya sahip bir ülke olup, jeolojik ve meteorolojik olarak çeşitli bir coğrafyaya sahiptir. Aynı zamanda ortalama yükseltisinin 1132 m olması ve 5000 m'den fazla yükseltilerin bulunması, bu yükseltilerin batıdan doğuya gidildikçe belirgin biçimde artması, kuzeyde ve güneyde yüksek sıra dağların oluşumu gibi jeolojik çeşitlilikler neticesinde farklı iklimlerin görüldüğü bir meteorolojik yapıya da sahiptir. Bu kadar çeşitli bir coğrafi yapıya sahip olmak beraberinde afet oluşum ve risklerini de oldukça artırmaktadır. Bu nedenden dolayı ülkemizde deprem, heyelan, sel, çığ, kaya düşmesi, obruk, su baskını, fırtına, dolu gibi birçok afet olayları gerçekleşmektedir (AFAD 2018).

Doğal afet türleri içerisinde en yaygın olarak bilinen ve maddi/manevi hasarı en yüksek olan depremi ele aldığımızda, dünyadaki depremlerin yaklaşık %20'si Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunan Türkiye'de gerçekleşmektedir. Her yıl ortalama büyüklüğü Mw:5,0-6,0 arasında en az bir deprem olmaktadır. Ortalama 5 yılda bir ise yüksek can ve mal kaybına neden olan depremler yaşanmaktadır (AFAD 2018). En fazla sayıda depremin gerçekleştiği yıl olan 2023'te 74 binin üzerinde deprem gerçekleşmiştir (Dierks 2024). 2022 yılında toplam 22 982 adet afetin gerçekleştiği belgelenmiş olup, en yaygın afet olayı olarak 21 054 adet deprem yaşanmıştır. Verilerin devamı ise 859 adet heyelan, 450 adet sel/su baskını, 137 adet kaya düşmesi şeklinde devam etmektedir (AFAD 2023). Bu veriler ışığında ülkemizde depremden sonra doğal tehlikelerden dolayı yaşanan en yaygın afet türüne heyelan diyebiliriz.

Türkiye'de 1950-2008 yılları arasında 13 494 heyelan afet olayı görülmüş olup, 59 345 kişi afetzede olarak kayıtlara geçmiştir. Verilerin devamında ise 5318 deprem afet olayı görülmüş ve 158 241 kişi afetzede olarak kayıtlara geçmiştir. Bu verilere göre afet olay sayısı olarak heyelan birinci sırada, afetzede sayısına göre ikinci sırada yer almaktadır (Fidan 2019). Afet türlerinin tümünde olduğu gibi heyelanlarında önlenemez oluşu, hakkında yapılan bilimsel araştırmaların önemini fazlasıyla artırmaktadır. Heyelan risk analizi ve beraberinde yapılacak afet planlama çalışmalarının sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için bölgelerin heyelan duyarlılığının ve tetikleyici sebeplerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu noktada çalışmalara altlık sağlaması amacıyla heyelan duyarlılık ve envanter haritalarına ihtiyaç vardır. 3 çeşit envanter haritası bulunmaktadır.

Bunlar; tetikleme süreci ve tarih gözetmeksizin tüm heyelanların gösterildiği jeomorfolojik heyelan envanter haritaları, tetikleyici unsurlar (deprem, aşırı yağış, kar erimesi vb.) sonucu meydana gelen heyelanların gösterildiği heyelan olay envanter haritaları, aynı bölgenin periyodik olarak çekilmiş hava fotoğraflarından üretilen çok zamanlı heyelan envanter haritalarıdır (Guzetti vd. 2012).

Yapılan bu çalışmanın hem heyelan olay envanter haritaları hem de çok zamanlı heyelan envanter haritaları kapsamında altlık olarak kullanılması mümkün olacaktır. Çalışma İzmir İli, Çiğli İlçesi, Harmandalı Mahallesinde gerçekleşen heyelan ve sonucunda oluşan yüzey hareketlerinin bulunduğu bölgede yapılmıştır. Gerçekleşen heyelanın oluşum sürecinde önce küçük çatlaklar şeklinde deformasyonların olduğu görülmüş ve süreç izlenmeye başlanmıştır. 30 Ekim 2020 tarihinde, Mw:6,9 büyüklüğünde Sisam Adası'nda gerçekleşen deprem, İzmir'i de etkilemiş ve bölgede öngörülmüş olan heyelanın oluşumu hız kazanmıştır. Yüzey değişimlerinin hızlı ve büyük kütleler halinde oluşu, bölgede bulunan binalarda ve yollarda ağır hasarlara sebep olmuştur. Çalışmanın amacı, insansız hava aracı ile yapılan fotogrametrik uçuşlardan elde edilen SAM (Sayısal Arazi Modelleri) kullanılarak bölgede ki yüzey değişimlerini belirlemektir. Çalışma kapsamında elde edilen deformasyon verileri, 9 adet fotogrametrik uçuş ve 7 adet jeodezik ölçüm verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Mengen Bölgesinde yapılan bir araştırmada, bölgedeki heyelan potansiyelini belirleme ve risk analizi durumları incelenmiştir. Bu kapsamda bölgenin kayaç ve toprak zemini incelenmiş, laboratuvar testleri sonucunda jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bölgeye ait uydu görüntüleri ve sayısal arazi modelleriyle birleştirilerek potansiyel tehlike oluşturan alanlar tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki kayaç birimlerinde duyarlılık tehlikesi görülmemiş olup, toprak zeminlerde yüksek duyarlılık tehlikesi görülmüştür (Gökçeoğlu 1993).

Heyelanların önlenemez oluşunun sebep olduğu yıkıcı etki ve bu etkinin toplumlar üzerinde oluşturduğu sosyolojik etkilerin büyüklüğü yadsınamaz bir gerçektir. Heyelanların meydana gelmesinde ki tetikleyici faktörler, heyelan türleri hakkında veri toplama ve bu kapsamda oluşacak kayıpların öngörülmesi ve beraberinde alınacak önlemlerin üzerinde çalışmalar yapılması son derece önemlidir (Öztürk 2002).

Doğal afetlerin depremden sonra en yaygın olan türü olan heyelanın sebep olduğu kayıpların azaltılması ve buna karşı önlemlerin alınması amacıyla MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü'nün başlatmış olduğu "Türkiye Heyelan Envanter Haritası Projesi" 2007 yılında tamamlanmış ve proje kapsamında 1/25 000, 1/500 000 ve 1/1 500 000 ölçekli, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ortamında veri tabanı oluşturulmuştur (Çan vd. 2013).

Deprem sonrasında bölgede bulunan yamaçların davranışı heyelan oluşumunu büyük ölçüde etkilemektedir. Yamaç hareketlerinin gözlemlenmesi ve analizi için çeşitli modellemeler kullanılmaktadır. Bu modellemeler üzerinde yapılan çalışmada, Türkiye'de gerçekleşen depremlerden sonra oluşan yer hareketlerinin Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleri için uyumluluğu değerlendirilmiştir. Ardından uygun bir Newmark Kayan Blok modeli kullanılarak sismik kaynak tanımlaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda Bolu-Düzce bölgesine ait yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Aynı zamanda 1999 Düzce depremi sırasında gerçekleşen sismik kaynaklı heyelanlar bu yöntemde analiz edilmiştir (Balal 2013).

Heyelanları tetikleyici sebeplerin en etkili türü depremdir. Yapılan çalışmada 1998-2015 yılları arasında depremden kaynaklı oluşan heyelanların CBS yazılımlarıyla değerlendirmesi yapılmıştır. Deprem büyüklüğü, yer ivmesi, deprem süresi, arias şiddeti gibi etkenler heyelanları sismik olarak tetiklediği görülmüştür. Çalışma sonucunda ise heyelanların bindirme fayları üzerinde yoğunlaştığı tespiti yapılmıştır. Aynı zamanda Karaburun (1949) ve Kronga (2009) depremlerinden sonra bölgede heyelan olma olasılığı değerlendirilmiş olup, olasılığın yüksek olduğu tespit edilmiştir (Moses 2017).

Heyelan duyarlılık haritaları üzerinden risk değerlendirmesi yaparken mekânsal olasılığın yanında zamansal olasılığında dikkate alınması, yapılan analizin verimliliği açısından önemli bir etkiye sahiptir. Bu sebeple çalışmalarda CBS ve UA (Uzaktan Algılama) sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Batı Karadeniz Bölgesinde, Bartın ili çevresinde bulunan Kumluca havzasında yapılan çalışma, yüksek yağışlar nedeniyle meydana gelen heyelanların farklı metotlar ve zaman serileri kullanarak CBS ve UA sistemi yardımıyla risk değerlendirmesini yapılmıştır. Çalışmada eğim birimi ve hücre birimi şeklinde iki adet risk haritası üretilmiştir. Değerlendirmelerde, eğim birimi risk haritalarının sonuca daha yakın olduğu görülmüştür (Erener 2009).

Türkiye için ulusal kapsamda bir heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla yapılan çalışmada iki farklı ölçek ve çözünürlükte harita oluşturulmuştur. 1/2 000 000 ve 1/500 000 ölçekli, 500m ve 90m çözünürlüklü oluşturulan bu haritalarda kalitatif ve yarı-kantitatif teknikler kullanılmıştır. Türkiye jeolojik yapısına en uygun teknik yöntem yarı kantitatif olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemle göre ülkemizde oluşan heyelanların ana faktörleri eğrilik ve deprem olarak gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Bartın, Amasya, Muş, Çankırı ve Sakarya illerinin heyelana en duyarlı iller olduğu saptanmıştır (Okalp 2013).

Sinop Ayancık-Gerze İlçelerinin kıyı şeridi boyunca risk değerlendirmesi amacıyla heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Eğim, bakı, plan eğriliği, litoloji, nemlilik indeksi gibi çok değişkenli parametrelerle beraber Lojistik Regresyon Analizi kullanılarak kıyı duyarlılık haritası üretilmiştir. Harita, ROC (Receiver Operating

Characteristic-Alıcı işletim Karakteristiği) analizi yapılarak %79 oranında doğru kabul edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler ile beraber üretilen duyarlılık haritasının başarılı olduğu ve risk değerlendirme/afet planlama çalışmalarında yol gösterebileceği sonucuna varılmıştır (Cezayirlioğlu 2023).

Giresun, Espiye İlçesinde bulunan Eriçek Köyü'nde, 22 Ağustos 2020 tarihinde, yoğun yağışların tetiklediği heyelan sonrası heyelan değişim saptama çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında 3m çözünürlüklü, bir gün zamanlı PlanetScope uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çeşitli analiz ve eşik belirleme yöntemleri kullanılarak değişim belirleme haritaları üretilmiştir ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, tetikleyici faktörü yağış olan heyelanların haritalamasında Normalize Edilmiş Fark Bitki Endeksi analizinin ve Tsai eşik belirleme yönteminin kullanılması en doğru sonucu vermiştir. Çalışmanın diğer bir sonucu ise heyelan sonrası PlanScope uydu görüntülerinin kullanılarak hızlı bir haritalama çalışması yapılacağı değerlendirilmiştir (Çiçek 2023).

Hakkâri Yüksekova bölgesinde yapılan heyelan duyarlılık harita üretimi çalışmasında, risk analizlerinin daha hassas yapılabilmesi için 12 parametre kullanılmıştır. Heyelan etki parametreleriyle üretilen mekânsal haritalar karşılaştırılmıştır. Daha sonra akarsuya yakınlık, yükseklik, eğim, eğim şekli, fay hattına mesafesi gibi parametreler CBS programı ve Analitik Hiyerarşi Process yöntemiyle değerlendirilip risk haritası oluşturulmuştur. Risk haritasında Hakkâri Yüksekova İlçesinde heyelan riski olan bölgeler tespit edilmiştir (Karakaya 2023).

Bolu-Düzce bölgesinde bulunan Asarsuyu Havzası'nda gerçekleşen Bülbülderesi ve Bakacak heyelanlarının hareketlerini incelemek amacıyla 42 yıllık bir süreci kapsayan bir çalışma yapılmıştır. Çalışma eski hava fotoğrafları kullanılarak yapılmıştır. 1952, 1972, 1984 ve 1994 yıllarında çekilmiş hava fotoğraflarından oluşturulan ortofotolar yardımıyla 4 tane heyelan haritası üretilmiştir. Bu haritalar analiz edilerek ulaşılan sonuç ise bölgede ki heyelanın ana sınırlarında konumsal değişikliklerin olmadığıdır. Çalışma aynı zamanda heyelan hakkında uzunluk, genişlik, eğim gibi parametreler hakkında bilgi vermiştir (Muratoğlu 2009).

Yüzey deformasyon takibinde kullanılan yöntemlerden birisi, gelişen uydu teknolojisinin beraberinde getirdiği uzaktan algılama sistemleridir. Çok zamanlı heyelan envanter haritalarına göre Mersin’de bulunan Gilindirez Havzası’nda büyük ölçekli heyelanların olduğu, bunun yanı sıra ikincil heyelanlarında geliştiği görülmüştür. Bölge çalışmasında 2000, 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait LANDSAT, AVNIR ve ASTER algılayıcılarına ait görüntüler kullanılmıştır. Ayrıca 2007 ve 2011 yıllarına ait ALOS uydusu PALSAR algılayıcısına ait SAR görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler işlenip, değerlendirildikten sonra bölgenin 10mm/yıl hızla hareket ettiği tespit edilmiştir (Küçükönder 2012).

İkinci dereceden deprem bölgesinde bulunan Zonguldak Kozlu İlçesi’nde uydu görüntüleme yöntemi ile deformasyon çalışması yapılmıştır. Farklı tekniklerin kullanıldığı bu çalışma 2018-2020 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak yapılmıştır. İlk etapta Sentinel-1A uydu görüntüsü ve InSAR kullanılarak deformasyon alanları tespit edilmiştir. İkinci etapta raster formatında olan bu görüntüler sayısallaştırılarak vektör formatına dönüştürülmüştür. Üçüncü etapta görüntü keskinleştirme işlemi kullanılarak Sentinel-2A uydu görüntülerinden 10m mekânsal çözünürlüklü, çeşitli renk kombinasyonları üzerinde sayısallaştırma yapılmış ve bina alanları çizilmiştir. Dördüncü etapta yüzey deformasyon haritası ile bina alanları karşılaştırılmış ve çıkan deformasyon değerleri binalara öznitelik bilgisi olarak işlenmiştir. Beşinci etapta ise istatistik yöntemi (Getis-Ord G^*) kullanılarak binalar düşük veya yüksek riskli olarak haritalandırılmıştır. Yerleşim bölgesindeki binalarda meydana gelen deformasyon değerleri de dahil edilerek yapılan bu çalışma sonucunda yüzeyde -2,98 cm ile 2,99 cm arasında bir deformasyon olduğu tespit edilmiştir (Çevikbaş 2020).

Afyon/Akşehir ve Küçük Menderes Bölgeleri’nde DInSAR yöntemiyle yapılan bir deformasyon çalışması örneğinde, DInSAR yöntemi ve hidrolojik veriler kullanılarak yüzey hareketlerinin analizi yapılmıştır. Afyon/Akşehir Grabeni ve Bolvadin Bölgesi’nde Ekim 2014-2018 tarihleri arasında Sentinel-1 verileri ile InSAR yöntemi kullanılarak bölgenin zaman serileri ve deformasyon haritaları üretilmiştir. Sonuçlar Eber Gölü su yüzeyi hidrolojik bilgileri ile değerlendirildiğinde Bolvadin Güneyi 35mm/yıl deformasyon hızı ile bölgedeki çökmenin en şiddetli alanı olarak tespit edilmiştir. Küçük Menderes Grabeni’nde yapılan çalışmada ise yine Sentinel-1 SAR verileri ile InSAR

yöntemi kullanılarak 2015-2018 yılları arasında aynı çalışma akışında değerlendirilen bölgede 29 cm/yıl hızında bir deformasyon tespit edilmiştir. Buda Ödemiş ve çevresinin dünya literatüründe çökme hızının en yoğun yaşandığı bölgelerden biri olduğu tespit edilmiştir (İmamoğlu 2021).

Konya Taşkent ilçesinde bulunan bir bölgede meydana gelen ve devam etmekte olan heyelan hareketinin daha hassas izlenmesi için yapılan çalışmada GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ve lazer tarama teknikleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. 6 farklı periyotta 2 farklı yöntem kullanılmıştır. GNSS tekniğiyle yapılan ölçümlerde hızlı statik yöntemi kullanılmış olup 30-35 adet noktanın ölçümleri yapılmıştır. Eş zamanlı olarak lazer tarama tekniği ile 3 boyutlu modeller oluşturulmuştur. Bu iki teknikle elde edilen yüzeyler birleştirilerek analizi yapılmıştır. Tekniklerin birleştirilmesi daha doğru ve hassas sonuçlar elde edildiğini göstermiştir (Zeybek 2013).

Heyelan hareketlerinin izlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en doğru, ekonomik ve zaman tasarrufu sağlayan yöntemin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmada İHA (İnsansız Hava Aracı), YLT (Yersel Lazer Tarama) ve MLT (Mobil Lazer Tarama) yöntemleriyle elde edilen veriler değerlendirilmiş bölgedeki yer değiştirmeler saptanmıştır. Taç ve topuk bölgelerinde 10m'lere ulaşan hareketler tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler RTK (Real Time Kinematik-Gerçek Zamanlı Kinematik) yöntemiyle doğrulanmış ve kullanılan yöntemlerin uygunluk karşılaştırmaları yapılmıştır (Zeybek 2017).

Çanakkale Sarıca köyünde yapılan çalışmada meydana gelen heyelan, İHA kullanılarak takip edilmiştir. Mayıs-Eylül 2016 ve Ocak 2017 tarihlerinde İHA ile yapılan fotogrametrik uçuş sonucunda SYM, SAM ve ortofoto üretimi yapılmıştır. Üretilen modeller değerlendirilerek yüzeyde gerçekleşen değişimler analiz edilmiştir (Zirek 2018).

Amasya İli Eliktekk Köyü mevkiinde yapılan çalışmada, alanın tamamını kapsayan, 46 adet plakadan oluşan bir deformasyon ağı oluşturulmuştur. Bölge üzerinde İHA ile 3 periyot uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar sonucunda SYM ve ortofoto üretimi yapılmış

ve her bir uçuş verisi kullanılarak plakalar ayrı ayrı konumlandırılmıştır. Filtreleme teknikleri kullanılarak her bir noktanın hız değerleri elde edilmiştir. Çıkan sonuçlar GNSS verileri ile kıyaslanmış ve sağa, yukarı ve yükseklik bileşenlerinde 0,9218, 0,7504 ve 0,8749 korelasyon değerleri bulunmuştur. Bu çalışma ile alansal deformasyon ölçümlerinin İHA'lar ile yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Kara 2018).

Heyelan yüzey değişimlerinin izlenmesi amacıyla bir çalışmada 2014 yılında Gümüşhane'de yapılmıştır. Eski bir heyelan bölgesinde çevre faktörlerinin (kazı, patlatma vb.) tetiklemesi sonucunda ani değişimler görülmüştür. Çalışma GNSS sistemi ile yapılmış olup, bölgeye 3 adet nokta tesis edilmiştir. Bu noktalarda 2 periyot halinde (2012 Nisan-2014 Ocak) ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları değerlendirilmiş ve tesis edilen noktalarda deformasyonlar görülmüştür (Kazancı 2014).

Aktif bir heyelan alanını izleme konusunda en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de GPS/GNSS (GPS-Global Positioning System) teknolojileri kullanılarak yapılan jeodezi ölçümlerdir. Çanakkale Lâpseki İlçesinde yapılan bir çalışmada bölgeye mini bir GPS/GNSS ağı kurulmuştur. 3 periyotta statik, hızlı statik ve RTK yöntemleriyle ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler ve ölçümlere etki eden faktörler değerlendirilerek sonuca ulaşılmış ve heyelan alanında bazı noktalarda deformasyonlar tespit edilmiştir (Güngördü 2018).

İzmir Balçova ve Agora Bölgeleri'nde LiDAR ve DInSAR yöntemleriyle deformasyon çalışması yapılmıştır. Her iki bölgede meydana gelen yüzey deformasyonlarını takip ederek hareketin hızını ve boyutunu tespit etmek amaçlanmıştır. LiDAR çalışmalarının sonucunda Agora ve Balçova Bölgeleri'nde %70 oranında yüzey deformasyonları tespit edilmiştir. DInSAR çalışmalarında ise Balçova Bölgesi'nde %90, Agora Bölgesi'nde %92,7 oranında yüzey deformasyonu tespit edilmiştir (Özsoy 2019).

Mersin Çukurkeşlik Mahallesi'nde yoğun yağışların tetiklemiş olduğu bir heyelan bölgesinin, İHA kullanılarak üç boyutlu modelleme yapılmıştır. Yapılan modellemeyle beraber bölgenin yükseklik bilgileri ve aynı zamanda ortofotosu elde edilmiştir. Çalışma

sonrasında tekrarlı uçuşlar yapılarak bölgedeki heyelan hakkında analizlerin yapılması mümkün olabilir (Alptekin ve Yakar 2020).

İnsansız hava aracı ve CBS yazılımı ile duyarlılık haritası üretimi kapsamında Çankırı İli Ilıcılık mevkinde yapılan bir çalışmada, farklı bölgelerde, farklı teknikler kullanılarak üretilmiş olan yüzey modellerinin değerdendirmesi yapılmıştır. Çankırı bölgesi için 30m çözünürlüklü SYM (Sayısal Yüzey Modeli), Ilıcılık mevki için 1m çözünürlüklü SAM kullanılarak Lojistik Regresyon ve Analitik Hiyerarşi Prosesi yaklaşımlarına göre değerdendirilmiştir. Değerdendirme sonucunda her iki tekniğinde başarı yüzdelerine bakılmış ve SAM verilerinin SYM verilerine göre daha doğru ve hassas bir başarıya sahip olduğu görülmüştür (Özçelik 2021).

İzmir körfezi etrafında 700 km² alanda, MTA Ege Bölge Müdürlüğü'nün yürütmüş olduğu proje kapsamında hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında İzmir İlinde gerçekleşen heyelanların haritası yapılmış ve heyelanların oluşum nedenleri incelenmiştir. Veri kaynağı olarak Kandilli deprem kayıtları, Afet İşleri İzmir İl Müdürlüğü raporları, meydana gelen heyelanlar hakkında bilgi için gazete arşivleri, 1/35 000 ölçekli hava fotoğrafları ve arazi ölçümleri kullanılmıştır. Jeolojik açıdan bölgede; kırıntılı birimler, volkanikler, kireçtaşları ve radyolaritler olmak üzere 4 grup harita hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, İzmir için 1/100 000 ölçekli heyelan haritası hazırlanmıştır. Aynı zamanda çalışma sırasında bölgeden alınan toprak numuneleri MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında incelenmiştir (Avşar 1997).

İzmir Uzundere Bölgesinde yapılan çalışmada Kaya Mühendislik Sistemi kullanılarak heyelan bölgelerinin değerdendirmesi yapılmıştır. Heyelanlar ile ilgili teknik veriler elde edebilmek için bölgelerden numuneler alınmış ve elek analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanılarak heyelanların sınıflandırmaları yapılmıştır (Aykan 1998).

Ege bölgesi İzmir İlinde doğal afet riskinin yüksek olması nedeniyle, afet öncesinde ve sonrasındaki eylemlerin üzerine yoğunlaşılması gerekmektedir. Bölgedeki deprem ve riskinin yüksek olması beraberinde heyelan oluşumlarını da getirmektedir. Bu yüzden

İzmir için noktasal araştırmalar yapılarak afet riskinin değerlendirilmesi ve bu konuda yapılacak başka çalışmalara referans olması açısından önemli bir çalışmadır (Kutluca 2001).

İzmir şehrinin yerleşim alanı için yapılan çalışmada farklı yöntemlerle heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Haritalar karşılaştırılarak en doğru yöntemin tespiti yapılmıştır. Yükseklik, eğri, akarsu indeksi gibi değişkenler kullanılarak; entropi indeksi, analitik hiyerarşi süreci, mantıksal regresyon, birleştirme metodu ve frekans oranı yöntemleriyle duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar heyelan envanteri ile kıyaslanmış ve heyelan oluşma riskinin yüksekliğine göre bir eşleşme gerçekleştirilmiştir. Bu eşleşme sonucunda verimliliği en yüksek olan yöntem olarak birleştirme metodu, en düşük ise mantıksal regresyon olduğu tespit edilmiştir (Kayhan 2021).

Heyelan potansiyelinin tespiti için yapılan çalışma, Adana-Saimbeyli, Adana-Feke ve İzmir-Karabağlar bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Olası bir depremde bölgede ki heyelan oluşumunun tetiklenmesi durumu incelenmiştir. Bölgelerde ERT (Elektrik Rezistivite Tomografisi) ve MASW (Multi-Chanel Surface Wave Analysis Method) ölçümleri, sondaj, inklinometre ve presiyometre çalışmaları yapılmış, çalışmalar sonucunda bölgelere zemin, özdirenç ve hız durumlarına göre sınıflandırmalar tanımlanmıştır. Elde edilen parametreler değerlendirildiğinde stabilite sorunu ile beraber heyelanların oluşma riski yüksek görülmüş olup, 0,988 katsayıyla Karabağlar'da riskin diğer bölgelere göre daha çok olduğu hesaplanmıştır (Atma 2022).

3. JEOLOJİK İNCELEMELER

3.1 Heyelan

Heyelan, bir yamacın veya eğimli bir arazinin çeşitli faktörlerin etkisiyle tetiklenmesi sonucunda, zeminde bulunan toprak ve kayaç kütlelerinin aşağı yönlü kayarak hareket etmesidir (Okan 2003).

3.2 Heyelan Oluşum Nedenleri

Heyelan nedenlerini sınıflandırmada, oluşuma etki eden faktörleri kaynağına göre jeolojik, morfolojik, hidrolojik ve insansal faktörler şeklinde 4 gruba ayırabiliriz. İnsansal faktörler inşaat, kazı, patlatma gibi yapay sebeplerden dolayı gerçekleşen, diğer gruplar ise tamamen doğal sebeplerden dolayı gerçekleşen faktörlerdir (Kayhan 2021). Bu faktörlere aşağıdaki gibi örnekler verilebilir;

Jeomorfolojik faktörlere; yamaç eğimi, toprak ve kayaç türleri, bitki örtüsü vb.

Jeolojik faktörlere; depremler, volkanik aktiviteler, litoloji vb.

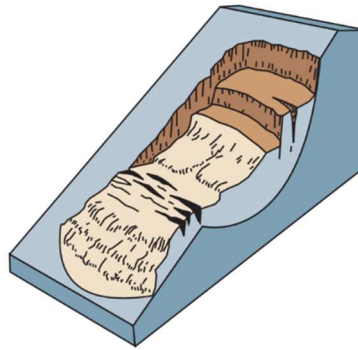
Hidrolojik faktörlere; yoğun yağışlar, yer altı suyu, akarsu indeksleri vb.

İnsansal sebepler; fazla sulama, plansız yapılaşma, kazı, patlatma vb. (Kayhan 2021).

3.3 Heyelan Türleri

3.3.1 Açısal Kayma

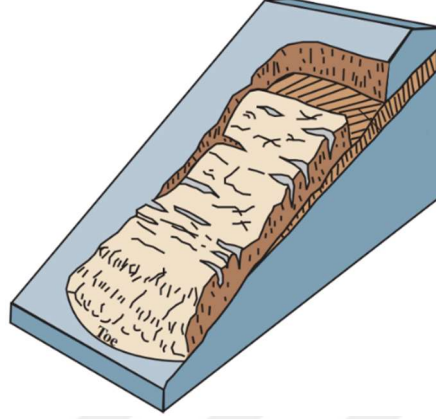
Kopma yüzeyi iç bükey olarak kavisli bir şekildedir. Zemin yüzeyine paralel ve kayma hattı boyunca enine bir eksen etrafında gerçekleşir (Cruden 2014) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Açısal kayma gösterimi (Cruden 2014).

3.3.2 Düzlemsel Kayma

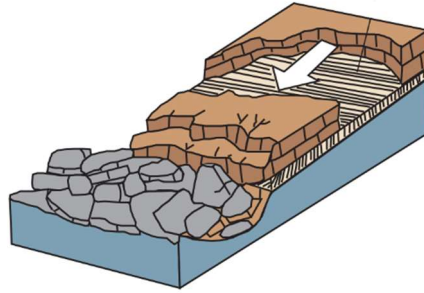
Kopma yüzeyi düz ve kayma hattı boyunca bir düzlem üzerinde hareket eder (Cruden 2014) (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Düzlemsel kayma gösterimi (Cruden 2014).

3.3.3 Blok Kayma

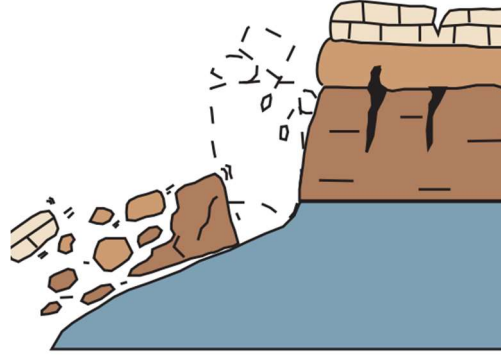
Hareketli kütle tek bir parçadan oluşur. Hareket eden kütle veya bu kütleyle ilişkili olan kütleler eğim aşağı büyüyerek hareket eder (Cruden 2014) (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Blok kayma gösterimi (Cruden 2014).

3.3.4 Devrilme

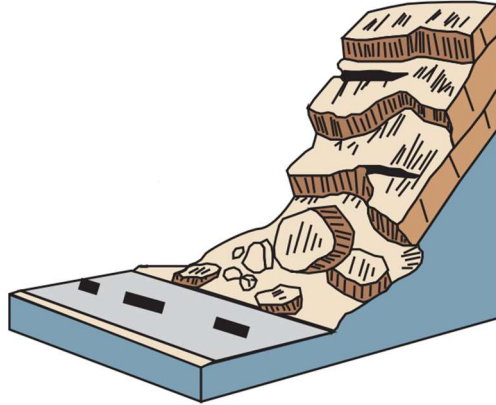
Kütlelerin yerçekimi ve çatlaklar arasından sızan yüzey sularının etkisiyle ağırlık merkezi üzerinde ki bir noktadan veya eksen boyunca şevden düşmesidir (Cruden 2014) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Devrilme türünün gösterimi (Cruden 2014).

3.3.5 Düşme

Toprak, kaya, büyük taş gibi kütlelerin dik yamaçlardan ani bir şekilde hareket etmesidir. Hareket sıçrama, yuvarlanma ve serbest düşme şeklinde olur (Cruden 2014) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Düşme türünün gösterimi (Cruden 2014).

3.3.6 Toprak Kayması

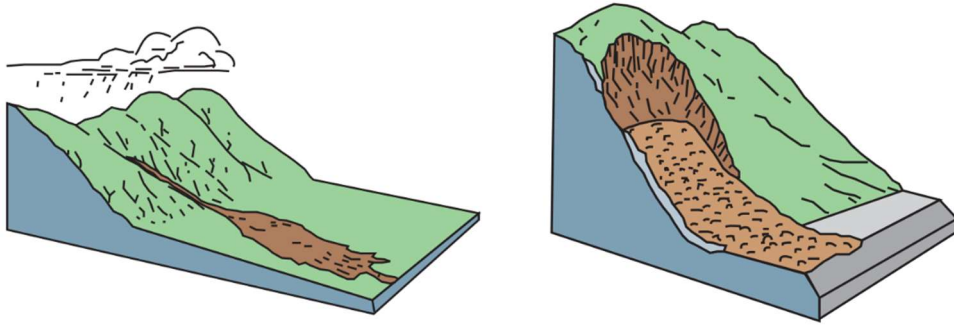
Yamaçta bulunan toprak kütlesi yoğun su emilimi sonrasında doymuş hale gelir ve sıvılaşır. Sıvılaşan kütle başlangıçta bir kâse şeklinde bir çukur oluşturur ve eğim yönünde akarak hareket eder (Cruden 2014) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Toprak kayması gösterimi (Cruden 2014).

3.3.7 Akma

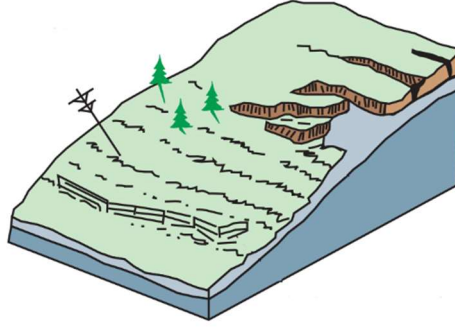
Şiddetli yağış ve hızlı kar erimesi, dik yamaçlarda gevşek toprak ve kaya erozyonunu tetikler. Doymuş olan yüzey vadi boyunca, vadi ağzlarında ise yelpaze şeklinde hareket eder. Yamaçlardaki bitki örtüsünün az olması heyelan oluşum riskini artırır (Cruden 2014) (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Akma türünün gösterimi (Cruden 2014).

3.3.8 Sürünme

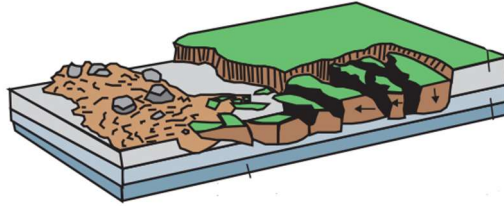
Yüzeydeki kütlenin algılanamayacak kadar yavaş bir şekilde, istikrarlı ve sürekli olarak hareket etmesidir. Çatlak olmuş duvarlar, eğilmiş çitler, kıvrılmış ağaç gövdeler, eğik direkler gibi çevresel gözlemlerle belirlenebilir (Cruden 2014) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Sürünme türünün gösterimi (Cruden 2014).

3.3.9 Yanal Yayılma

Genellikle çok hafif eğimli yamaçlarda veya düz arazide meydana gelir. Hareketin temeli kayma veya gerileme kırıklarıdır. Kaya kütleli zeminin, yumuşak ve doymuş toprak olan temelinin hareket etmesiyle üzerinde bulunan kütlenin çökme, kayma, dönme, parçalanma şeklinde hareket etmesi sonucu oluşur. Çoğunlukla deprem sırasında yaşanan yer hareketiyle tetiklenir. Küçük bir alanda başlayıp hızla yayılır (Cruden 2014) (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Yanal yayılma türünün gösterimi (Cruden 2014).

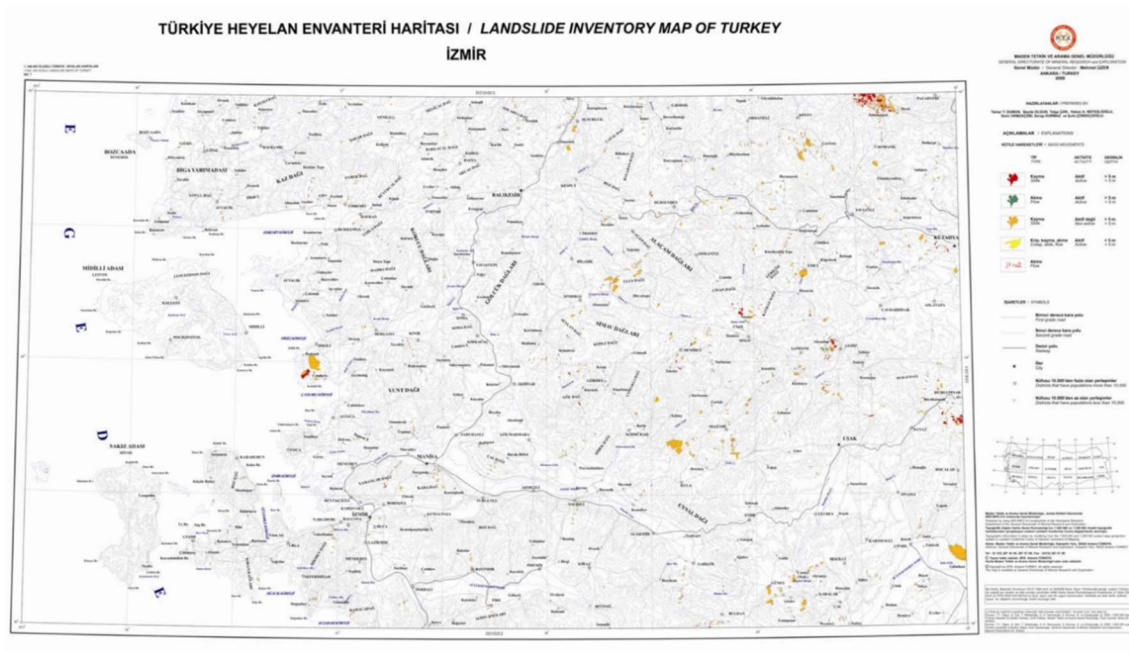
3.4 Heyelan Envanter Haritaları

Heyelan envanter haritaları, belirli bir bölgedeki heyelanların tespit edildiği, sınıflandırıldığı ve kaydedildiği, heyelanların türleri, boyutları, frekansları, kaynakları, hareket tipleri, konumları, tarihleri gibi birçok bilgiyi içeren haritalardır. Heyelan envanter haritaları, kentsel planlama, altyapı geliştirme, afet risk yönetimi ve doğal

kaynakların korunması gibi alanlarda önemli bir rol oynar. Bu haritalar, bir bölgedeki heyelan risklerini belirlemek, afet risklerini azaltmak ve alınacak önlemleri planlamak için temel veriler sağlarlar. Bu haritalar genellikle yerel ve ulusal düzeyde yetkililer, mühendisler, şehir planlamacıları ve araştırmacılar tarafından kullanılır. Envanter haritalarının üretiminde genel olarak kullanılan yöntemler 6 grupta sınıflandırılabilir (Çömert 2018).

- SYM analizi ve yorumlanması
- LİDAR (Light Detection and Ranging) verilerinin analizi
- Uydu görüntülerinin yorumlanması
- Saha ve jeomorfolojik verilerin analizi
- Arşiv haritaların yorumlanması
- Hava fotoğraflarının yorumlanması

1997 yılında başlanan ve 2007 yılında tamamlanan, MTA Genel Müdürlüğü'nün yürütmüş olduğu “Türkiye Heyelan Envanter Haritası Projesi” ülkemizde heyelandan kaynaklanan kayıpların azaltılmasına ve afet planlama çalışmalarına önemli bir katkı sağlamıştır. Söz konusu projede farklı ölçeklerde envanter haritaları CBS ortamına aktarılmış ve tüm kullanıcılara açılmıştır (Çan vd. 2013) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Türkiye Heyelan Envanter Haritası İzmir-Ölçek 1/500 000 (MTA 2009).

4. JEODEZİK İNCELEMELER

Doğal afetlere karşı alınacak önlemler ve afet planlama çalışmalarında sürecin izlenmesinin önemi son derece büyüktür. Bu kapsamda heyelanı izlemenin en etkin yollarından birisi yüzeyde oluşan değişimleri takip etmektir. Yüzey deformasyonlarının tespiti için yaygın olarak kullanılan yöntemleri 4 grupta inceleyebiliriz. Bu yöntemler aşağıda belirtilmiştir;

- GPS/GNSS Sistemleri
- Lazer Tarama Sistemleri
- Uydu Görüntü Sistemleri
- İnsansız Hava Araçları

Aktif bir heyelan bölgesinde oluşan yüzey hareketlerinin takibinde kullanılan yöntemlerin birleştirilerek daha etkin ve doğru sonuçlara ulaşıldığı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Heyelanın aktif olduğu bölgelerde yüzey hareketliliğinden dolayı ulaşımın ve yüzeyde yapılacak çalışmaların (nokta tesisi vb.) zorluğu geleneksel yöntemlerin uygulanabilirliği düşürmektedir. Bu yüzden uzaktan algılama sistemleri ile havadan ölçümler yapmak daha detaylı veriler elde etme olanağı sağlar. Yapılan hava ölçümlerini geleneksel yöntemler kullanılarak doğruluğunun tespit edilmesi yüzey değişimlerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespitini mümkün kılar (Zeybek 2017).

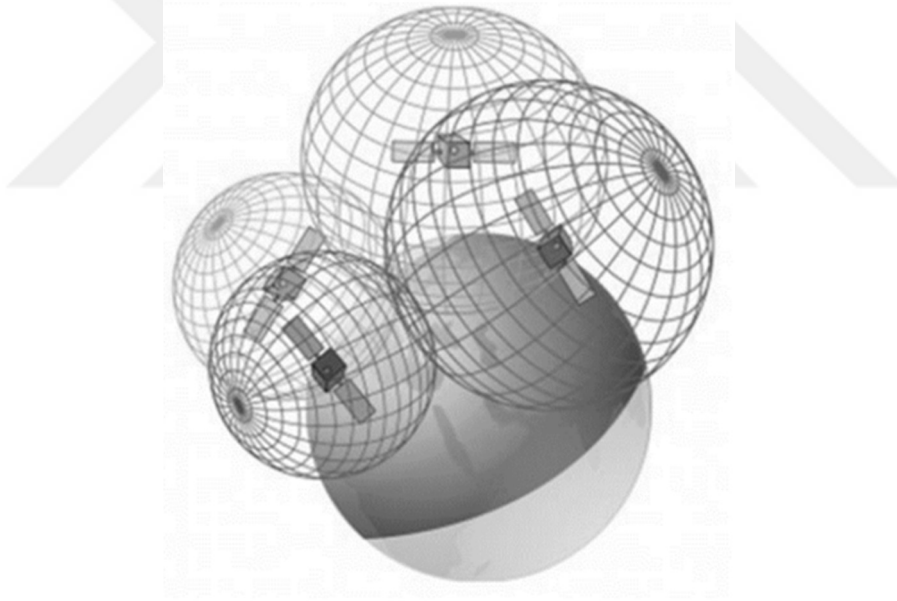
4.1 GNSS Sistemleri

GNSS, dünya çapında konum ve zaman belirleme hizmeti sunan bir sistemdir. Bu sistem, birden fazla uyduya dayanarak kullanıcının tam konumunu ve zamanını belirlemesine olanak tanır. GNSS, birçok konumlama sisteminin bütünü oluşturur. İlk olarak askeri amaçlara hizmet etmesi için Amerika Birleşik Devletleri tarafından GPS sistemi, Rusya tarafından GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sistemi geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda sadece askeri amaçlar ile kullanılan bu sistemler, diğer ülkelerin kendi sistemlerini geliştirmeleriyle beraber sivil kullanıcılara açılmış ve tüm sistemlerin bütünü oluşturulan GNSS sistemi kapsamında geliştirilmiştir (Üstün 2023). Diğer GNSS sistemleri Avrupa'nın geliştirmiş olduğu Galileo, Çin'in BeiDou ve Hindistan'ın NavIC (Navigation with Indian Constellation) şeklindedir (Uçarlı vd. 2022).

4.1.1 Uydu Konum Belirleme İlkeleri

GNSS sistemi, konum belirleme hesaplamalarında geriden kestirme yöntemini kullanmaktadır. Bir noktanın konum belirlenmesi, o nokta ile konumu bilinen diğer noktalar arasında yapılan hesaplamalarla elde edilir. Burada konumu bilinen noktalar uydulardır. Konumlandırılacak noktanın X, Y, Z koordinatlarına ulaşabilmek için en az dört uydudan konum bilgisi alınmalıdır. Temel prensip uydular ile alıcılar arasındaki mesafe bilgisinden geometrik kesişim hesaplamaktır (Kaplan ve Hegarty 2017).

Gelen ilk uzaklık bilgisi alıcı konumunu bir kürede kısıtlar. İkinci ve üçüncü uzaklık bilgileri farklı bilinmeyenlerin tespitinde kullanılır ve konumu kabul edilebilir bir alana sınırlandırır. Dördüncü uydudan gelen bilgiler yardımıyla zaman değişkeni çözümlenir ve konum bilgisi elde edilir (Üstün 2023) (Şekil 4.1).

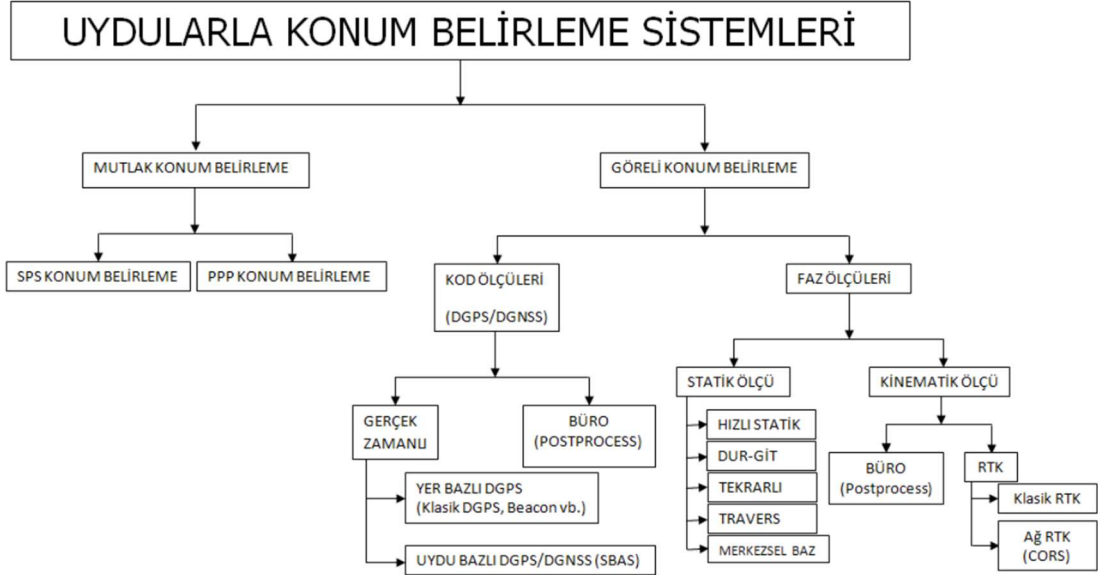


Şekil 4.1 Konum belirleme geometrisi (Üstün 2023).

4.1.2 Uydu Konum Belirleme Yöntemleri

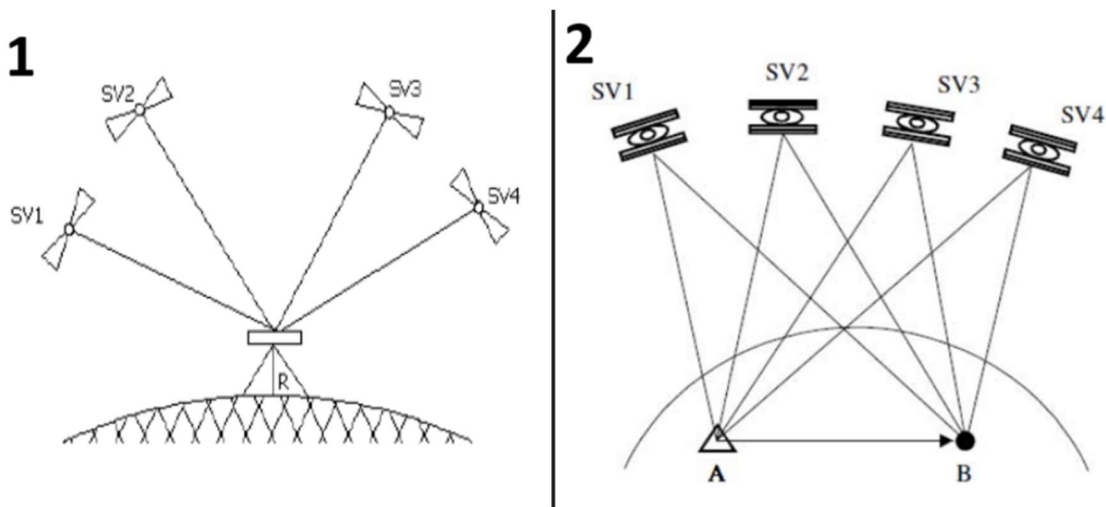
Geçmiş dönemlerde yüz metrelerde olan konum doğrulukları sistem üzerine farklı yöntemlerin geliştirilmesiyle mm mertebesine kadar indirgenmiştir. Uydu konum belirleme sistemlerinde; matematiksel modellerde, alıcı modellerinde, veri yapı ve

toplama sıklığında görülen değişiklikler sebebiyle farklı yöntemler kullanılmaktadır (Kahraman, 2015). Uydu konum belirleme yöntemleri epok ve alıcı sayısına göre gruplandırmak mümkündür (Kahveci 2014) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Konum belirleme yöntemleri (Kahveci 2014).

Nokta konumu, mutlak konum belirleme yöntemlerinde en az 4 uydu ve bir GNSS alıcısı arasındaki kod ölçüleri yapılarak, görel konum belirleme yöntemlerinde ise iki nokta arasındaki baz uzunluk ölçümü yapılarak belirlenmektedir (Üstün 2023) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Mutlak konum belirleme (1) ve görel konum belirleme (2) yöntemleri (Üstün 2023).

4.1.3 RTK Sistemi

RTK sistemi konumu bilinen bir noktaya kurulan referans istasyonu ile konumu bilinmeyen noktalarda duran gezicilerden (arazideki alıcı) oluşur. GPS alıcısının hareket halindeyken konumlandırma yapılabiliyor olması ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi sebebiyle günümüz mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan sistemdir. Bu yöntem dahilinde en çok tercih edilen teknikler ise klasik-RTK ve ağ-RTK teknikleridir (Üstün 2023).

4.1.3.1 Klasik RTK Yöntemi

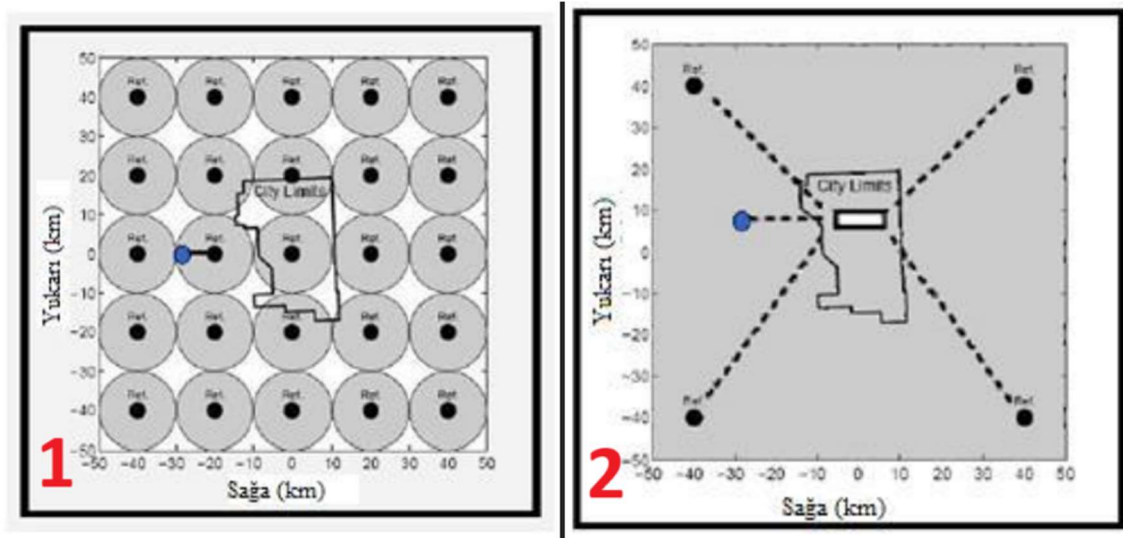
Klasik-RTK tek bir referans istasyonu kullanan bir yöntemdir. Gezici tarafından uydulardan kaydedilen taşıyıcı dalga faz gözlemlerini ve referans istasyonundan, geziciye gerçek zamanlı olarak gönderilen düzeltme verilerini kullanarak konum belirleme işlemi gerçekleştirilir. Bu sistemde konum doğruluğunu etkileyen en önemli faktör gezici ve istasyon alıcıları arasındaki mesafedir. Mesafe arttıkça atmosferik ve yörünge hataları artar ve bu da konum doğruluğunu negatif etkiler. Bu yöntemde tek bir referans istasyon ve gezici alıcısı arasındaki baz uzunluğu kullanıldığı için kontrol mekanizması bulunmamaktadır. Ayrıca tek istasyon kullanımının olması istasyon kurulumu, iletişim, güç kaynağı gibi konularda problemle karşılaşma olasılığını artırmaktadır (Yozgatlı 2016) (Şekil 4.4).

4.1.3.2 Ağ RTK Yöntemi

Ağ-RTK yöntemi birden fazla referans istasyon kurma düşüncesine sahip bir yöntemdir. Referans istasyonlarından, jeodezik ağ yapısına sahip bir ağ yapısı oluşturulur. Böylelikle tekrarlı gözlemler yapılarak hesaplanan düzeltmeler ve hatalardan arındırılmış ölçüler ile konum hesaplaması yapılır (Cansız 2013) (Şekil 4.4).

Gelişen teknolojiyle birlikte ağ-RTK sisteminde kullanılan referans istasyonları CORS (Continuously Operating Reference Station) istasyonları olarak entegre edilmiştir. CORS istasyonları, GNSS sistemlerini kullanarak zaman senkronizasyonu ve yüksek

hassasiyetli konum belirleme için tasarlanmış ağıdır. Sürekli olarak GNSS sinyallerini izleyerek ve analiz ederek anlık düzeltme verilerini kullanıcılara ileten bir sistemdir. Genellikle bir veri ağı (GSM) veya internet üzerinden yayın yaparak yüksek hassasiyette konum bilgilerini iletir. Türkiye’de kullanılan CORS istasyon sisteminin adı TUSAGA-AKTİF (Türkiye Ulusal Sürekli Aktif GPS Ağı) olarak adlandırılır. Ülkemiz ve KKTC genelinde 168 adet GNSS istasyonu bulunmakta, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü olmaz üzere 2 adet kontrol merkezi bulunmaktadır (TKGM 2023) (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Tek sabit istasyon yaklaşımı (1) ağ yaklaşımı (2) (Cansız 2013).

Gelişen teknolojiyle birlikte ağ-RTK sisteminde kullanılan referans istasyonları CORS (Continuously Operating Reference Station) istasyonları olarak entegre edilmiştir. CORS istasyonları, GNSS sistemlerini kullanarak zaman senkronizasyonu ve yüksek hassasiyetli konum belirleme için tasarlanmış ağıdır. Sürekli olarak GNSS sinyallerini izleyerek ve analiz ederek anlık düzeltme verilerini kullanıcılara ileten bir sistemdir. Genellikle bir veri ağı (GSM) veya internet üzerinden yayın yaparak yüksek hassasiyette konum bilgilerini iletir. Türkiye’de kullanılan CORS istasyon sisteminin adı TUSAGA-AKTİF (Türkiye Ulusal Sürekli Aktif GPS Ağı) olarak adlandırılır. Ülkemiz ve KKTC genelinde 168 adet GNSS istasyonu bulunmakta, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü olmaz üzere 2 adet kontrol merkezi bulunmaktadır (TKGM 2023) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Türkiye ve KKTC TUSAGA-Aktif İstasyon Haritası (TUSAGA 2023).

TUBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenen TUSAGA-Aktif sistemi, 2009 yılında tamamlanıncaya kadar klasik ölçme yöntemleri kullanılmıştır. Bu proje sayesinde ülkenin tamamında kullanıcılar konum bilgilerini 24 saat süreyle ve cm hassasiyetinde ulaşabilmektedir. Klasik yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomik olan bu sistem, doğal afet riskinin yüksek olduğu ülkemizde tektonik hareketlerin izlenmesi ve belirlenmesi hususunda önemli bir yere sahiptir (TUSAGA 2023).

2014 yılında yapılan bir çalışmada klasik-RTK ve ağ-RTK yöntemlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. Çalışma kapsamında sabit istasyonlara uzaklıkları 1-10km arasında değişen 10 bölgede, 30'ar adet hem GPS hem GPS+GLONASS uyduları kullanılarak klasik-RTK, aynı noktalarda TUSAGA-Aktif sistemi kullanılarak ağ-RTK ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen ölçüler değerlendirilip karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda, ağ-RTK ve klasik-RTK yöntemlerinin arasındaki farklara bakıldığında, x ve y yönünde 0,2 cm- 9,0 cm ve ortalama hataları $\pm 1,28$ cm- $\pm 4,39$ cm, z yönündeki farklar ise 0,1 cm- 15,7 cm ve ortalama hataları $\pm 2,21$ cm- $\pm 7,81$ cm aralıklarında olduğu tespit edilmiştir (İnal vd. 2014).

4.1.4 GNSS Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri

Heyelan dahil tüm doğal tehlikelerin izlenmesinde kullanılan yöntemlerin başında GNSS Sistemleri yer almaktadır. İHA, lazer tarama, uzaktan algılama gibi birçok yöntem hız, erişilebilirlik ve ekonomi yönlerinden üstün olsa da elde edilen tüm verilerin konumlandırma işlemi için GNSS sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistem gerek diğer sistemler içerisine entegrasyonlarıyla gerek yersel ölçümlerde kullanılıp işlenmesiyle, tüm verilerin konumlandırılmasını sağlamaktadır (Güngördü 2018).

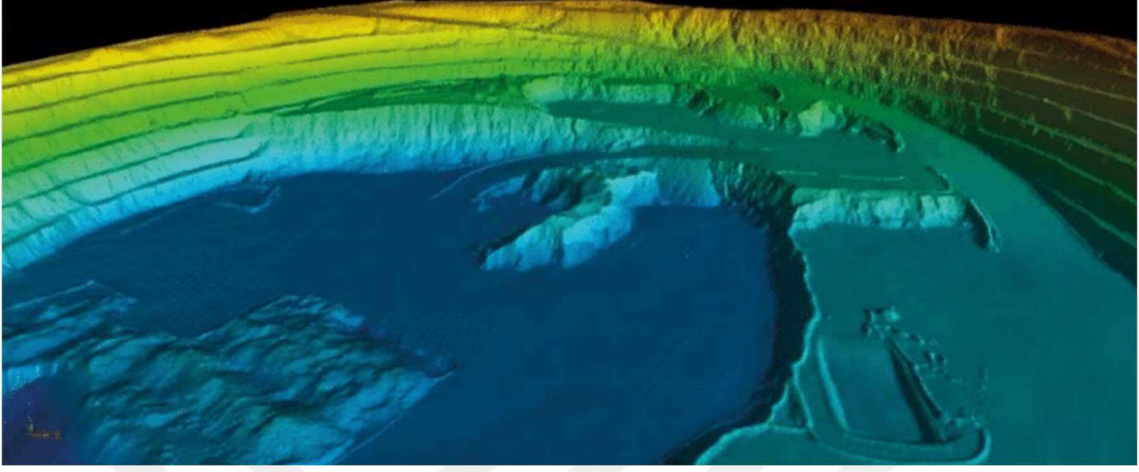
GNSS Sistemleri ile yapılan deformasyon ölçüm çalışmalarında ilgili bölgeye birden fazla noktadan oluşan mikro-jeodezik bir ağ kurulur. Kurulan ağ içerisinde tesis edilen noktalardan farklı zamanlarda ve periyotlarda ölçümler alınır. Yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilip, periyotlar arasında ki koordinat farkları kullanılarak elde edilen vektör, yüzeyde ki deformasyonun büyüklüğü, hızı ve yönü hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Aynı zamanda yapılan ölçümlere etki eden faktörler değerlendirilerek deformasyon nedenleri ve ilerleyişi ile ilgili farklı sonuçlara da ulaşmak mümkündür (Güngördü 2018).

4.2 Lazer Tarama Sistemleri

Lazer sistemlerinde kullanılan tarayıcıların temel prensibi optik sensörler ile yüzey arasındaki mesafenin ölçümüdür. Başka bir deyişle sensörler, yüzey ile arasındaki yansıma ilişkisinden faydalanmaktadır. Tarayıcılar ölçüm esnasında yüzeydeki her noktaya koordinatlı lazer ışınları gönderir ve her nokta için ölçüm işlemleri uygular. Ölçüm sonucunda yoğun bir koordinatlandırılmış nokta bulutu oluşur. Böylece yüzeyin konumlandırılmış çok sayıda noktalardan oluşan bir 3B modeli üretilir. Üretilen 3B model üzerinden mühendislik çalışmaları yapmak mümkündür (Özdoğan 2015) (Şekil 4.6).

Lazer tarayıcıları ölçüm tekniklerine göre iki kategoride sınıflandırmak mümkündür. Statik ve dinamik lazer tarayıcılar. Statik tarayıcılar sabit bir noktada, hareketsiz bir şekilde ölçüm yapar. Bu yöntemin avantajı, hassasiyeti yüksek nokta bulutları üretebiliyor olmasıdır. Dinamik tarayıcılar, İHA, helikopter, uçak, araba, gemi gibi hareketli platformlar üzerine monte edilerek ölçüm yapar. Bu sistemlerde ek olarak GPS ve INS (Inertial Navigation System-Hareketsiz Seyrüsefer Sistemi) konumlama

sistemleri mevcuttur. Bu sistemler üretimde maliyetli olmasına rağmen uygulamada ekonomik ve hızlı sonuçlar vermektedir (Zeybek 2013).



Şekil 4.6 Lazer tarama sistemleri kullanılarak üretilmiş 3B yüzey modeli (Bazarnik 2018).

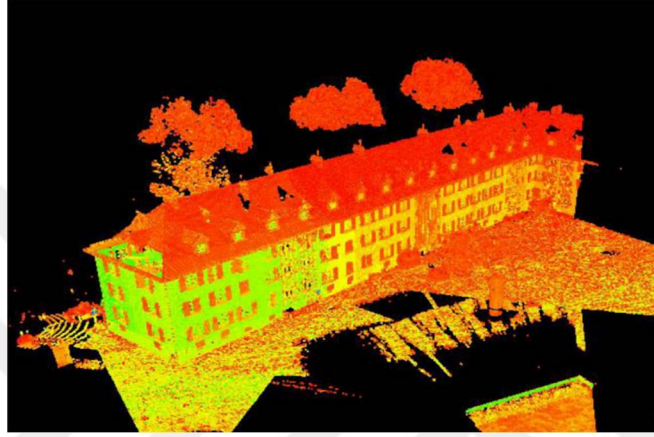
Lazer tarayıcıları ölçüm tekniklerine göre iki kategoride sınıflandırmak mümkündür. Statik ve dinamik lazer tarayıcılar. Statik tarayıcılar sabit bir noktada, hareketsiz bir şekilde ölçüm yapar. Bu yöntemin avantajı, hassasiyeti yüksek nokta bulutları üretebiliyor olmasıdır. Dinamik tarayıcılar, İHA, helikopter, uçak, araba, gemi gibi hareketli platformlar üzerine monte edilerek ölçüm yapar. Bu sistemlerde ek olarak GPS ve INS (Inertial Navigation System-Hareketsiz Seyrüsefer Sistemi) konumlama sistemleri mevcuttur. Bu sistemler üretimde maliyetli olmasına rağmen uygulamada ekonomik ve hızlı sonuçlar vermektedir (Zeybek 2013).

Lazer tarama sistemlerini sensör konumlandırmalarına göre, YLT (Yersel Lazer Tarayıcı), HLT (Hava Lazer Tarayıcı) ve MLT (Mobil Lazer Tarayıcı) olmak üzere üç grupta sınıflandırmak mümkündür (Hasdemir 2023).

4.2.1 Yersel Lazer Tarama Sistemi

Yersel tarayıcılar doğrusal ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alabilen ve aktif algılayıcılara sahip olan bir sisteme sahip oldukları için uzaktan algıma sistemleri içerisinde yer almaktadır (Özsoy 2019).

Bu tarayıcılar, sabit bir istasyon (tripod) üzerinden ölçüm yapar. Çalışma alanı büyüklüğüne bağlı olarak tek seferde tarama gerçekleştirebiliyor olsa da büyük alanlarda birden fazla istasyon kurulumu gerektirir. Tarama sonrasında ölçümler birleştirilir ve istenilen alanın üç boyutlu verileri üretilir (Şekil 4.7). Düşük maliyetli ve kısa zamanlı çalışma olanağı sağlamasına karşın büyük alanlardaki çalışmalarda kısıtlayıcı olabilmektedir (Özsoy 2019).



Şekil 4.7 Yersel lazer tarama sistemi kullanılarak üretilmiş 3B model (Demir vd. 2004).

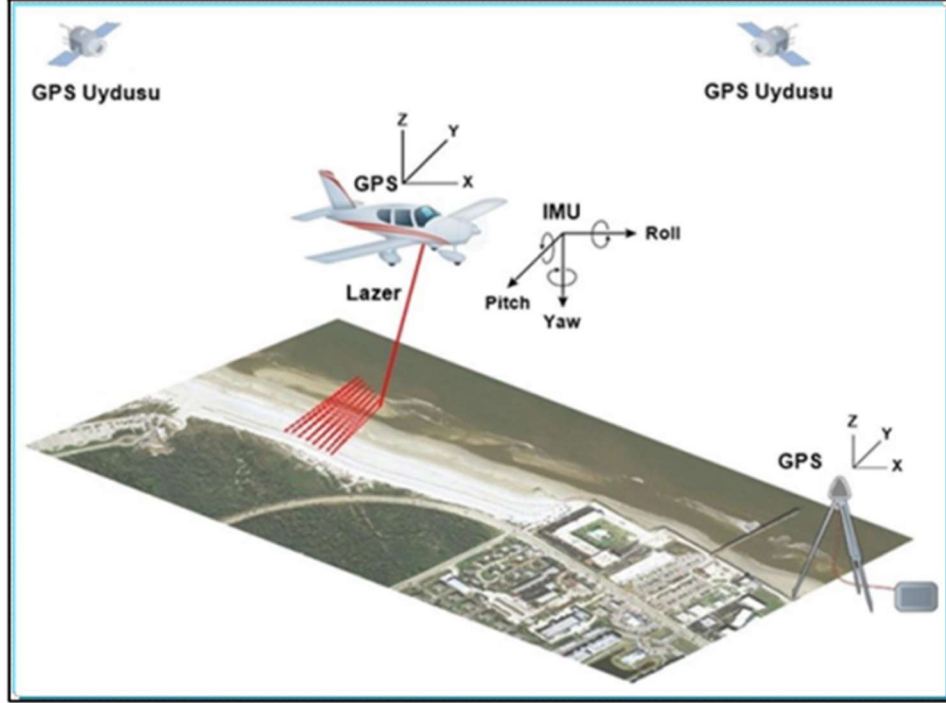
Yersel tarama sistemlerinin başlıca kullanım alanları; mimari, ulaşım, altyapı, tünel, arkeoloji uygulamaları, enerji hatları, otomasyon vb. olarak örneklendirilebilir (Demir vd. 2004).

4.2.2 Hava Lazer Tarama Sistemi

İnsanlı, insansız hava araçlarına monte edilen lazer tarayıcısı, lazerin gidiş dönüş süresini baz alarak yüzey ile arasındaki mesafeyi hesaplamaktadır. Hesaplanan mesafe, hava aracının GPS ve IMU (Inertial Measurement Unit-İnersiyal Ölçme Ünitesi) sistemleri kullanarak kaydettiği konum bilgisi ile birlikte değerlendirilerek yüzey objeleri konumlandırılır (Özsoy 2019) (Şekil 4.8).

Hava lazer tarama sistemleri büyük ölçüm alanlarında, ulaşımın mümkün olmadığı bölgelerde, tehlikenin ve riskin yüksek olduğu çalışmalarda yarattığı avantajlardan dolayı birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey modelleme, afet izleme, arama

kurtarma ve orman gibi mühendislik çalışmaları kullanımlarına örnek verilebilir (Özdoğan 2015).

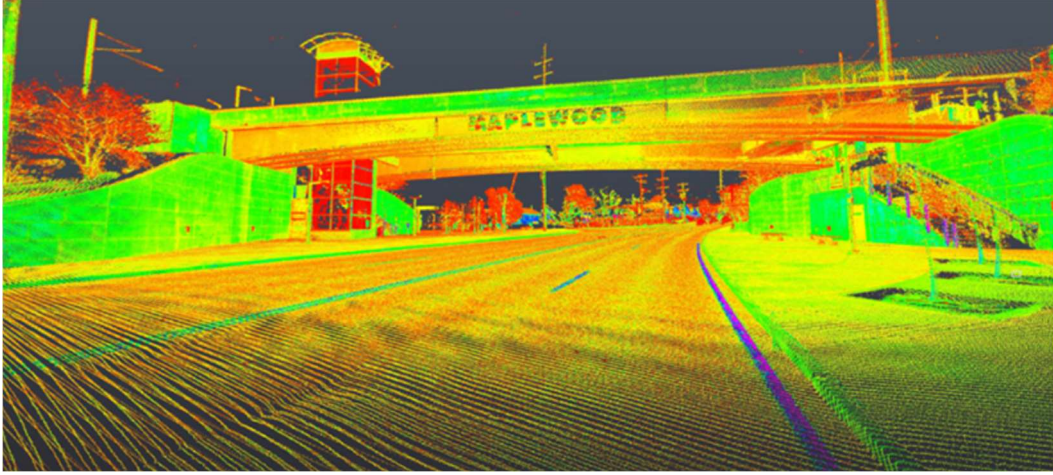


Şekil 4.8 Hava lazer tarama sistemi çalışma prensibi (Yılmaz vd. 2015).

4.2.3 Mobil Lazer Tarama Sistemi

Bu sistemde kullanılan lazer tarayıcılar yersel sistemde bulunan sabit tarayıcılar ile benzerlik göstermektedir. Sabit bir noktaya tesis edilmekte fakat nokta konumlandırması araba, motor, gemi vb. hareketli platformlar üzerinedir. Araçlar hareket halindeyken yoğun bir nokta verisi üretimi yapmakta ve sabit tarayıcılarda olduğu gibi sürekli cihaz kurulumu yapılmadan kısa sürede ölçüm işlemleri gerçekleştirmektedir (Hasdemir 2023) (Şekil 4.9).

Mobil lazer tarama sistemleri ile üretilen nokta bulutları kullanılarak, üç boyutlu haritaların ve farklı formatlarda modellerin üretilmesiyle birlikte proje planlaması, izlenmesi ve işletilmesi gibi birçok faaliyet yürütülmektedir. Yol ve tünel inşaatı, orman ve tarım arazisi çalışmaları, ulaşım ve trafik işletmeleri, savunma ve güvenlik gibi birçok alanda kullanılan bir sistemdir (Hasdemir 2023).



Şekil 4.9 Mobil lazer tarama ile üretilmiş bir nokta bulutu örneği (Hexagon 2023).

4.2.4 Lazer Tarama Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri

Lazer tarama sistemleri yoğun veri üretimi ve buna bağlı olarak yapılması mümkün olan birçok analiz ve gözleme imkân sağlaması sebebiyle çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Kısa zamanda ve yüksek hassasiyette yapılacak tarama işlemleri sonucunda elde edilen nokta bulutları ile çalışma alanı için üç boyutlu modelleme yapılır. Elde edilen bu model ile çalışmaya ait farklı bakışlardan birçok analiz yapılabilmektedir (Zeybek 2013).

GNSS sistemleri ile yapılan çalışmalarda sahada ve ofiste yaşanan zorluklar yersel tarama sistemlerinde yaşanmamaktadır. Özellikle GNSS sisteminde sahada yaşanan zorlukların zaman olarak çalışma üzerinde negatif etkisi olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Bu farklılıkların yanı sıra yersel lazer tarama ve GNSS sistemleri birlikte kullanarak yapılacak deformasyon çalışmalarında iki sistemin entegre çalışmasının doğruluğu ve hassasiyeti artırdığı bilinmektedir (Zeybek 2013).

Lazer tarama sistemleri kullanılarak yapılan deformasyon çalışmalarında, sistemin beraberinde sağlamış olduğu avantajlar sayesinde farklı zamanlarda ölçümler yapılarak yüzeyler elde edilebilir. Farklı zamanlarda elde edilen yüzeyler değerlendirilerek bölgede meydana gelen deformasyonun alansal olarak hareket hızı ve boyutu tespit edilebilir (Özsoy 2019).

4.3 Uydu Görüntüleme Sistemleri

Radar, elektromanyetik dalgaları kullanarak uzak nesneleri tespit etmek, konumlarını belirlemek ve hızlarını ölçmek için kullanılan bir sistemdir. Çalışma prensibi, bir anten tarafından yayılan elektromanyetik dalgaların nesneler tarafından yansıtılması ve yansıyan dalgaların sisteme geri dönmesi şeklinde tanımlanabilir. Geri dönen sinyallerin süresi ve özellikleri sistem tarafından işlenip, nesnelerin konumları ve yapısal özellikleri elde edilir (İmamoğlu 2021).

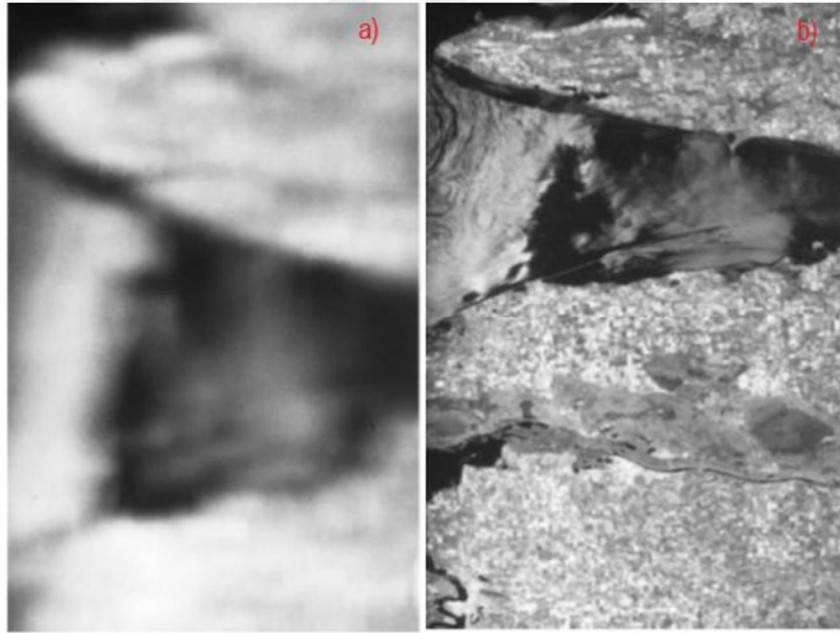
Radar sistemlerinde iki farklı görüntüleme yöntemi vardır. Bunlar genlik görüntüleri ve faz bileşenli görüntüler şeklinde iki gruba ayrılır. Genlik görüntüleri, radar sinyalinin yansımalarının genlik (şiddet) bilgisini temsil eder. Diğer bir deyişle nesnenin radar sinyalini ne kadar güçlü yansıttığını gösterir. Genel olarak nesnelerin büyüklüğü hakkında bilgiler elde edildiği için, tektonik ve bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde yapılan çalışmalarda kullanılır. Faz bileşenli görüntüler, radar sinyalinin yansımalarının faz (dalga döngüsü) bilgisini temsil eder. Diğer bir deyişle nesnelerin radar sinyalini yansıtma sürecinde ki faz değişikliklerini gösterir. Eğer nesne hareketli ise sinyal farklı bir açıyla yansır ve faz değişir. Genellikle nesnelerin hareketi ve yükseklikleri hakkında bilgiler içerir ve jeolojik çalışmalarda kullanılır. Faz verileri yaygın olarak interferometri yönteminde kullanılır (Günçe 2019).

İnterferometri farklı iki kaynaktan bir noktaya gönderilen sinyallerin oluşturduğu girişimin analitik olarak incelenmesini ifade eden bir tanımdır. Yalnızca radyo dalgalarının kullanıldığı interferometri yöntemine Radar İnterferometrisi, SAR (Sentetik Açıklıklı Radar-Synthetic Aperture Radar) teknolojisi ile elde edilen görüntülerin kullanıldığı tekniğe ise InSAR (İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar-Interferometric Synthetic Aperture Radar) adı verilir. InSAR iki farklı uygulama alanında kullanılır. Bunlar; yüzey modelleri oluşturma ve deformasyon ölçümleridir. Deformasyon ölçüm alanlarında kullanılan InSAR tekniğinde, çalışmanın yapılacağı bölgeye ait farklı tarihlerde kaydedilmiş SAR görüntüleri arasındaki faz değerlerinin değişimleri kullanılır. Bu yöntem ise DinSAR (Diferansiyel İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar-Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) adı verilir (Günçe 2019).

4.3.1 Radar İnterferometrisi

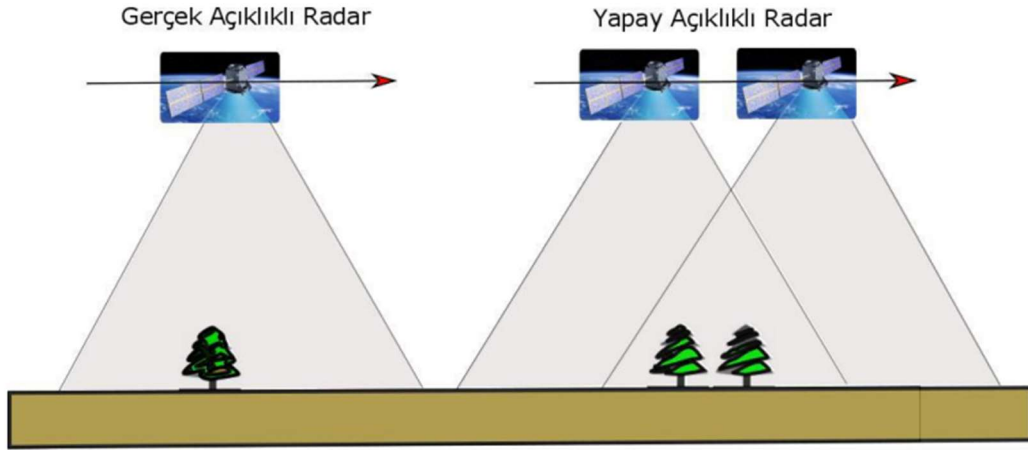
Radar interferometresi tekniği, aynı bölgede yapılan tekrarlamalı çalışmalar arasındaki farkları baz alarak yüzeylerde meydana gelen deformasyonların tespit edilmesinde ve izlenmesinde yaygın olarak kullanılır (Günçe 2019).

Radar sistemleri iki gruba ayrılır. Bunlar RAR (Real Aperture Radar-Gerçek Açıklıklı Radar) ve SAR sistemleridir. Radar görüntülerinde yüksek çözünürlük anten uzunluğu ile doğru orantılıdır ve anten uzunlukları uydu platformlarının taşıyıcı kapasitesine bağlıdır. Bu yüzden RAR sistemlerinden elde edilen görüntülerin çözünürlüğü SAR görüntülerine oranla daha düşüktür (Şekil 4.10). Bu durum SAR sistemlerine olan ihtiyacı doğurmuş ve sistemlerin bu yönde gelişmesini sağlamıştır (Nabioğlu 2021).



Şekil 4.10 Çözünürlük farkları-RAR (a) ve SAR (b) görüntüsü (Massonnet ve Feigl, 1998).

SAR sistemi, gerçek açıklıklı radar sistemlerinin yayın açıklık sınırlandırmalarını ortadan kaldıran bir sistemdir. Kısa anten boylarıyla beraber uzun dalga boyları kullanılarak yüksek azimut çözünürlüğüne ulaşır (Akabalı 2002). SAR yayın açıklığını, radarın hareket halindeyken yüzeydeki noktayı farklı konumlardan algılamasıyla artırır. Bu tanım aynı zamanda SAR sisteminin çalışma prensibini oluşturmaktadır (Canaslan 2010) (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 RAR ve SAR Sistemleri (Nabioğlu 2021).

4.3.2 Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (InSAR)

InSAR, tek bir bölge üzerinde, farklı zamanlarda ve benzer görüntüleme açıları ile elde edilen en az iki farklı SAR görüntüsünün kullanılmasıyla uygulanan bir tekniktir. Bu iki radar görüntüsü yazılımlar yardımıyla karşılaştırılır ve iki görüntü arasındaki zaman farkında meydana gelen değişimler kullanılarak deformasyon analizleri yapılır. Uydular üzerinde bulunan radar sensörler, yüzeydeki hedefe mikrodalga sinyaller iletir ve hedeften yansıyan sinyaller sensörler tarafından kaydedilir. Hedef ve sensörler arasındaki uzaklık farkı ve sensör yörünge parametreleri kullanılarak yüzey bilgileri elde edilir (Ferretti vd. 2001). InSAR tekniğinin iyi bir sonuç verebilmesi için iki SAR görüntüsünün piksel piksele eşleşmesi gerekmektedir. Böylece iki görüntü arasında elde edilen bağıl faz farklarının doğruluğu yüksek olur ve sonuç veri çözünürlüğü SAR görüntüsü ile eş değer olur (Nabioğlu 2021). InSAR tekniğinde yüzeyde oluşan deformasyonların üç boyutlu tüm bileşenlerinin çıkarımı yapılamamaktadır. Nedeni ise çalışmanın sadece radarın bakış yönünde yapılabilmesidir (Canaslan 2010).

4.3.3 Diferansiyel Sentetik Açıklıklı Radar İnterferometrisi (DInSAR)

SAR sisteminde faz, uydu anteni ile hedef arasındaki mesafe ile hesaplanır. InSAR tekniğinde aynı bölgenin iki SAR görüntüsü arasındaki faz farkından uzaklık bilgisi alınır. İki görüntüye ait fazlar birleştirilerek, yüzey ile bağıntılı olduğu ve deformasyon

haritalamasının yapıldığı bir interferogram oluşturulabilir. Oluşturulan interferogramlardan yüzey ile ilgili faz değişimi kaldırılırsa, çıkan sonuç veriler arasındaki fark, görüntülerin alındığı tarihler arasındaki deformasyon modellerini gösterir. Bu yöntem DInSAR adı verilir. DInSAR sistemi uzun zaman aralıklarında, konum değişimlerini tespit etmede ve deformasyon haritalarının üretilmesini sağlayan tek yöntemdir. Bu yüzden doğal tehlikelerden kaynaklı afet risklerinin izlenmesinde aktif olarak kullanılır (Yazıcı 2019). DInSAR interferometrisinde yapılan ölçümler düşey yönlü değildir ve görüş doğrultusunca oluşan öteleme ile üretilir (Abdikan 2007).

4.3.4 Uydu Görüntüleme Sistemleri ile Deformasyon Ölçümleri

Farklı birçok uydu görüntüleme teknikleri ile yapılan deformasyon çalışmaları, afet olayları sonucunda yüzey hareketleri hakkında geniş alanlarda detaylı analizler yapılması ve bu analizlerin farklı çalışmalarda altlık olarak kullanması imkânı sağlar. DInSAR tekniğiyle yapılan çalışmalarda ilgili bölgenin farklı zaman serilerinde deformasyon haritaları üretilir. Üretilen haritalar değerlendirildiğinde bölgede gerçekleşen deformasyonun büyüklüğü, hızı ve yönü hakkında sonuçlar elde edilir (İmamoğlu 2021).

Uydu görüntüleme sistemlerinde kullanılan farklı teknikler ile yüzey deformasyon ölçüm ve analiz çalışmaları yerleşim alanlarının risk analizi için önem arz etmektedir. Radar teknolojisinin yanı sıra raster formatında elde edilen uydu görüntüleri, sayısallaştırılıp vektör formatına dönüştürülebilmektedir. Böylece vektörel olarak elde edilen görüntü ile beraber deformasyon haritası, öznitelik bilgileri vb. diğer veriler birlikte işlenerek yüzeyde ve yapılarda meydana gelen deformasyonlar izlenebilmektedir (Çevikbaş 2020).

4.4 İnsansız Hava Araçları

Fotogrametri temel tanımıyla, nesneler ile temas olmaksızın, nesnelerin özellikleri hakkında bilgilerin elde edilmesi, ölçülmesi ve yorumlanması bilimidir (Schenk, 2005). Çalışmalara söz konusu nesnelerin fotoğraf verilerinin alımında kullanılan kameranın yüzeyde sabit bir konumdan yöneltilmesi tekniğine yersel fotogrametri denir. Yakınına gidilemeyen, büyük veya küçük, sabit veya dinamik tüm objelerin ölçüm (biçim ve

konum belirleme) çalışmalarında kullanılan bir yöntemdir. Fotografik görüntülerden nesneler hakkında metrik bilgilerin yanı sıra etrafa ait yüzey örtüsü ve yapı özellikleri gibi bilgilerde elde edilebilir (Yiğit ve Ulvi 2020). Belirli bir yükseklikten; uçak, balon, helikopter gibi hava araçları ile çekilen fotoğrafları kullanarak harita üretimi sağlayan tekniğe hava fotogrametrisi denir. Sıklıkla harita üretiminde kullanılan bu yöntem büyük alanlarda yapılan çalışmalarda sıkça kullanılır. Yersel fotogrametriye göre en büyük avantajı büyük alanların ölçümünde daha hızlı ve ekonomik olmasıdır. Günümüz hava fotogrametri çalışmalarında; yine hız, zaman ve ekonomik faktörler ele alındığında, insanlı hava araçlarından daha avantajlı olmasından dolayı İHA'ların, özellikle sivil alanlardaki kullanımı hızla artmıştır (Zirek 2018).

4.4.1 İHA Tanımı

İnsansız hava araçlarının temel tanımı, yer kontrol istasyonunda bulunan bir pilot tarafından uzaktan kontrol edilen ya da programlanmış uçuş planları doğrultusunda kendi kendine uçabilen hava araçlarıdır. Ancak zaman içerisinde gelişen teknolojiye ve kullanım şekillerine göre birbirine benzeyen birçok bilimsel tanım yapılmıştır. Dünya genelinde kabul görmüş bazı tanımlar şöyledir (Tracy vd. 2012);

NATO (North Atlantic Treaty Organization – Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü) kaynaklarına göre İHA tanımı; içerisinde insan olmayan ve otonom olarak uzaktan kumanda ile yönlendirilebilen, motorlu itiş gücüne sahip ve gövdesine faydalı yüklerin yüklenip çıkarılabildiği, görev sonunda geri dönerek iniş yapabilen ya da silah olarak hedefte kendini imha edebilen hava araçlarıdır (Pakkan ve Ermiş 2010).

Havacılık organizasyonları tarafından kabul edilen tanım; önceden planlanan ve karmaşık dinamik otomasyon sistemleri ile programlanmış uçuş planları ile uzaktan kontrol edilerek uçabilen, aerodinamik sistemler kullanarak kaldırma kuvveti oluşturan ve tek ya da çok kullanımlık motorlu hava araçlarıdır (DeGarmo 2004).

İnsanlı hava araçlarının uçamadığı yerlerde, insan hayatının olumsuz etkileneceği yüksek riskli durumlarda ve alçak irtifada kullanımlara elverişli olması, İHA sistemleri için

avantaj sağlamaktadır. Bu yüzden afet alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır. İHA sistemleri, yolların tahrip olduğu ya da bulunmadığı deprem, sel, heyelan bölgelerinde, ulaşımın zor olduğu çöl, ormanlık ve dağlık arazilerde, geniş alanlarda hızlı ve ekonomik çalışmalara pratik bir alternatif olarak kullanılmaktadır (Zirek 2018).

İnsansız hava araçlarının uydu sistemleri ile entegre bir şekilde GPS ve INS sistemleri ile çalışması zaman kısıtlaması olmadan istenildiği zaman hızlı ve pratik bir şekilde tekrarlı uçuşların yapılabilmesini mümkün kılar. Bu da uçuş maliyetlerinin diğer hava araçlarına ve uydu sistemlerine göre uygun olması İHA sisteminin başka bir avantajıdır (Zirek 2018).

4.4.2 İHA Sınıflandırması

İHA'lar üzerinde kullanılan teknoloji kullanım alanlarına göre gelişme sağladığı için birçok farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Ayrıca bu çeşitli sınıflandırmalar İHA'ları daha anlaşılır hale getirmek için ortaya çıkmıştır. Bu sınıflandırmalar havadan daha hafif/ağır, güç kaynaklı/kaynaksız ve kanat tipleri (Esnek sabit veya döner) gibi ana özellikler kullanılarak yapılmıştır (Eisenbeiss 2009) (Çizelge 4.1). Başka sınıflandırma kriterlerine göre İHA'lar; kullanım alanları, motorların çalışma prensipleri, hareket kabiliyetleri, uçuş menzil ve irtifaları, faydalı yük türleri ve komut biçimi şeklinde sınıflandırılabilir (Erdoğan 2016) (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1 İHA sistemlerinin genel sınıflandırması (Eisenbeiss 2009).

		Havadan daha ağır		
		Esnek kanatlı	Sabit kanatlı	Döner kanatlı
Güç kaynaksız	Balon	Pilota bağlı planör Planör paraşüt Uçurtma	Planör	Rotor uçurtma
Güç kaynaklı	Uçak	Planör paraşüt	Pervane Jet motorlar	Tekli motor Koaksiyel Quadrotor Çoklu rotor

Çizelge 4.2 Farklı kriterlerde İHA sınıflandırmaları (Erdoğan 2016).

Kullanım alanlarına göre	Motorların çalışma prensibine göre	Hareket kabiliyetlerine göre	Uçuş menzil ve irtifalarına göre	Faydalı yük türüne göre	Komut biçimine göre
Askeri	İçten yanmalı	Sabit kanatlı	Mikro	Silahlı	Otomatik
Sivil	Elektrikli Güneş enerjili	Döner kanatlı	Mini Küçük Taktik Operatif	Silahsız	Uzaktan kontrol

Bir başka sınıflandırma ise teknik donanım ile birlikte maliyet kriteri dahil edilerek yapılmıştır (Eisenbeiss 2009) (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Fiyat ya da düşük yük kapasitesine göre İHA sınıflandırması (Eisenbeiss 2009).

Kategori	Açıklama	Sınırlama (Fiyat ya da yük)
OM Sınıfı	Açık kaynak kodlu ve manuel	Diğer sınıflara göre daha düşük maliyet
M Sınıfı	Mikro ve mini sistem	<5 kg
L Sınıfı	Büyük yük kapasiteli	>5 kg

İHA sistemleri günümüz teknolojisinde tamamen bağımsız ve stabil uçuşlar yapabilmektedir. Fotogrametrik uçuşlar açısından en önemli özellikleri takip sistemlerine sahip olmalarıyla beraber güzergâh uçuşu yapabiliyor olmalarıdır. Günümüz sivil kullanımda mevcut sistemler içerisinde en aktif M Sınıfı İHA'lar kullanılmaktadır. M Sınıfı Quadrotor (Dört pervaneli), model helikopter ve sabit kanatlı olmak üzere üç grupta incelenmiştir (Toprak 2014).

Quadrotorlar kalkış ağırlığı maksimum 5 kg olan hava araçlarıdır. Bu hava araçlarının büyüklükleri 0,5-2 m arasında olup dört tane elektromotordan oluşmaktadır. Bu sistemler gelişen teknolojiyle beraber güzergâh uçuşu yapabilir hale gelmiş ve en aktif olarak kullanılan hava araçlarıdır. Model helikopterler daha çok reklamcılık ve tanıtım

sektörlerinde kullanılır. Küçük ölçekli fotogrametrik uçuşlarda da kullanılabilir. Sabit kanatlı İHA'ların; uzun uçuş sürelerine sahip olmaları, daha yüksek irtifada uçabilme kabiliyetleri ve dayanıklılık yönünden döner kanatlı İHA'lara göre avantaj sağlamaktadır. Havada asılı kalamıyor olmaları dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Bu hava araçları rampadan ya da elden fırlatma şeklinde uçuşa başlar (Toprak 2014) (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 M Sınıfı İHA türleri a) Model helikopter b) Quadroptor c) Sabit kanat (Toprak 2014).

4.4.3 İHA Kullanım Alanları

İHA'lar tehlike riski yüksek bölgelerde çalışabilir, hızlı bir bakış ve ayrıntılı bir belgeleme sağlayabilir. İHA çalışmalarının başarılı olabilmesi için kapsamlı bir uçuş planı ve operasyon planlaması yapılmalıdır. Başarılı bir çalışma sonucunda elde edilen veriler ile üç boyutlu modellemeler yapılabilir, sonrasında yapılacak farklı bilimsel çalışmalara hizmet etmesi amacıyla altlık olarak kullanılabilir (Eisenbeiss 2009)

İHA sistemleri birçok alanda ve sektörde kullanıma sahiptir. Başlıca kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir (Toprak 2014).

- Arazi ve şehir modelleme,
- İnşaat, baraj ölçüm ve analiz,

- Tarihi ve arkeolojik alışmalar,
- Afet izleme ve analizi
- Arazi ve şehir modelleme
- Baraj lm ve analiz alışmaları
- Tarihi ve arkeolojik alanların ölçüm ve modellenmesi
- Tarım faaliyetlerinde yapılacak planlamalar
- Hali hazır harita retimi
- Acil durum planlamaları
- Ulaşım, inşaat ve sanayi lmleri
- Kültürel mirasın belgelenmesi
- Enerji ve boru hatları planlama, denetim
- Güvenlik keşif uçuşları

4.4.4 İHA Sistemleri ile Deformasyon lmleri

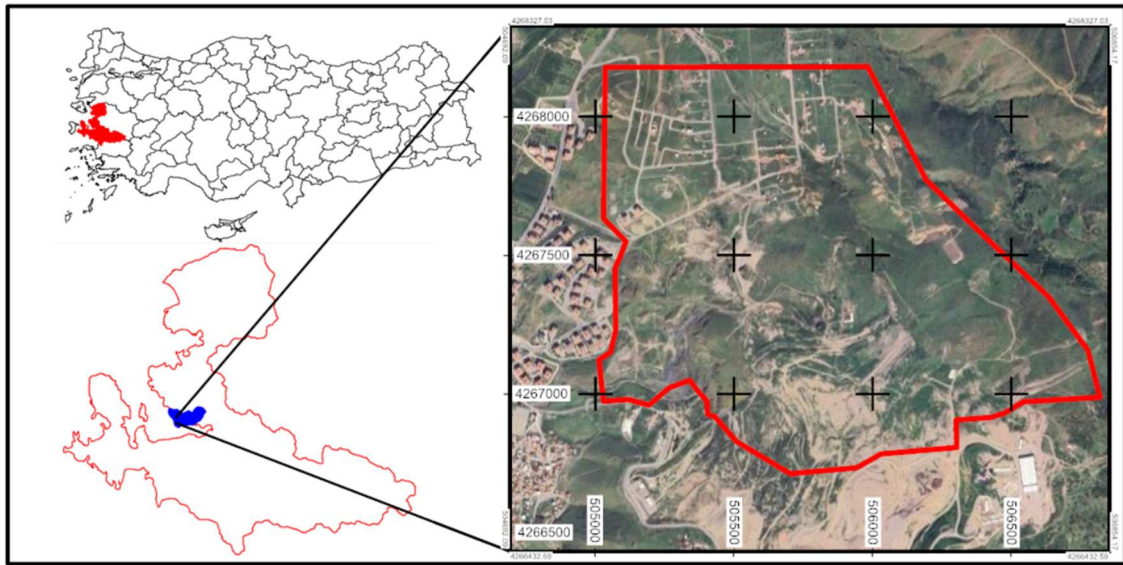
İHA sistemleri, ulaşımın mümkün olmadığı afet bölgelerinde, kısa zamanlarda ve hızlı çalışabilme avantajları sayesinde deformasyon ölçüm çalışmalarında sık kullanılan bir yöntemdir. İHA kullanılarak çalışma bölgesinin yüzeyinde fotogrametrik uçuş yapılarak hava fotoğrafları çekilir ve elde edilen hava fotoğrafları değerlendirilerek yzeeye ait üç boyutlu bir model üretilir. Modellemenin ardından bölgenin yükseklik bilgileri ve aynı zamanda ortofotosu elde edilir. Farklı zamanlarda yapılacak tekrarlı uçuşlar sayesinde modeller arasındaki farklara bakılarak ilgili deformasyon analizleri gerçekleştirilir (Alptekin ve Yakar, 2020).

Farklı bir yöntemde ise çalışma bölgesine İHA ile farklı periyotlarda gerçekleştirilen uçuşlardan elde edilen SYM ve ortofoto verileri, GNSS teknikleri ile elde edilmiş veriler ile kıyaslanarak deformasyon sonuçları elde edilebilir. Bölgeyi kapsayacak şekilde bir deformasyon ağı oluşturulur ve bu ağ içerisinde bulunan noktalara periyodik olarak ölçümler yapılır. Yapılan lmler ve İHA ile elde edilen modeller çeşitli filtreleme yöntemleri ile değerlendirilip, deformasyon büyüklüğü, hızı ve yönü hakkında alansal sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır (Kara 2018).

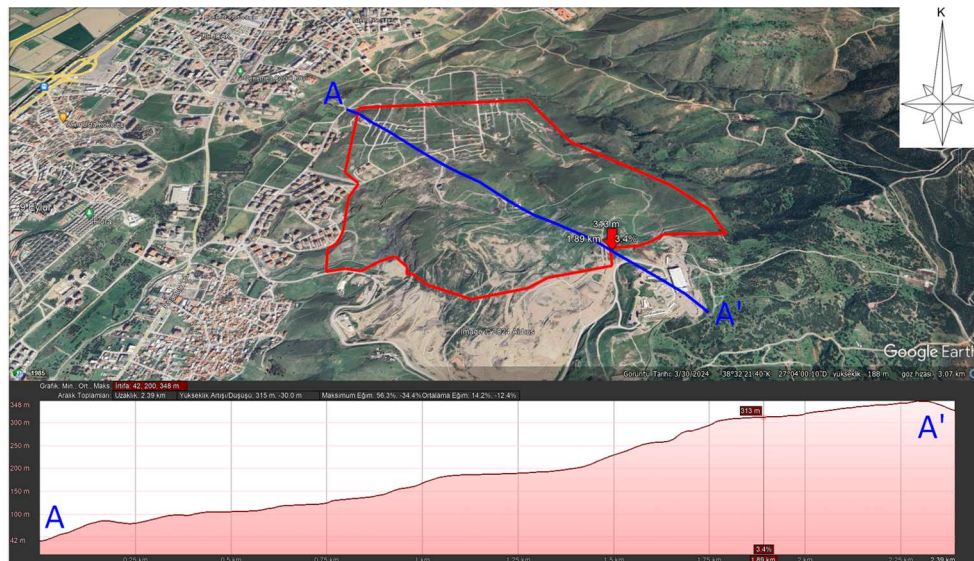
5. UYGULAMA

5.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

Uygulamaya söz konusu heyelan bölgesi İzmir İli Çiğli İlçesi'ne bağlı Harmandalı Mahallesi Mevkii'nde, İzmir Körfezi'nin kuzeyinde ve Çiğli İlçesi'nin kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Çalışma alanını gösterir harita.



Şekil 5.2 Bölgeye ait eğim yönünü gösterir kesit.

Bölgede gerçekleştirilen çalışma alanı 1 816 411,67 m² (181 ha) alana sahip olup bölgedeki en düşük noktada ortometrik yükseklik 50 m iken en yüksek noktada ise 350 m yüksekliğe sahiptir. Maksimum eğim %59, ortalama eğim ise %14 olup eğim yönü kuzeybatı-güneydoğu yönünde artış göstermektedir (Şekil 5.2).

5.1.1 Çalışma Alanının Jeomorfolojik Yapısı

Anadolu Yarımadası'nın batısında ve kıyı şeridinde bulunan İzmir İli, 38°-39° Doğu Enlemleri ile 27°-28° Kuzey Boyamları arasında bulunmaktadır. III. ve IV. jeolojik zamanda oluşan Ege Bölgesi, güney tarafından Alp Kıvrımları'nın sıkıştırmasıyla fay hatlarının, büyük çöküntü alanlarının ve kırıkların meydana geldiği bir bölgedir. Bölge, çok sayıda vadiler ve denize dik inen dağlar ile morfolojik yapısını göstermektedir (PROGEO 2023).

5.1.2 Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı

Bölge, içerisinde farklı boyutlarda kireç taşı blokları ve kuvars bantları barındıran, kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşmuş Bornova Karmaşığı (Harmandalı Flişi), Erken-Orta Miyosen yaşlı Kızıldere Formasyonu, Geç Kretase – Paleosen yaşlı, Kuvaterner Alüvyon ve Aliğa Kireçtaşı birimlerini içerir. İzmir Körfezi'nin kuzeyinde yaygın olarak görülen Yamanlar Volkaniti piroklastik ve lav yapılarından oluşmuştur. Çiğli yöresinde ise topografik yapısı gereği yüksek bölgelerde andezitik karakterlerde ki piroklastik ve lav yapıları örtülüdür. Heyelan bölgesinde gözlenen andezitik bileşim, andezit ve tüf karmaşığı içeren, düzensiz aglomeralardan oluşan bir iç yapıya sahiptir. Andezit bileşimli bloklar, sarı ve gri renkli ayrılmış biyotit fenokristal ve feldispatların bulunduğu tüf ara madde ile birlikte (PROGEO 2023).

Bölgede bulunan Yamanlar Volkanitleri bozunmaya elverişli bir yapıya sahip olmasından dolayı ve heyelan aktivitelerine karşı hassastır. Bu özelliğinden dolayı bölge heyelan davranışı sergilemektedir (Gökçeoğlu 2022).

5.1.3 Çalışma Alanının İklim Yapısı

İzmir İli içerisinde bir yağış, sekiz büyük ve on küçük klima istasyonu olmak üzere on dokuz adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan yapılan uzun süreli gözlemlere dayalı olarak, İzmir İli'nin tamamına yakın bölümünde yazların sıcak ve kurak, kışların ılık ve yağışlı geçtiği Akdeniz iklimi hakimdir (PROGEO 2023).

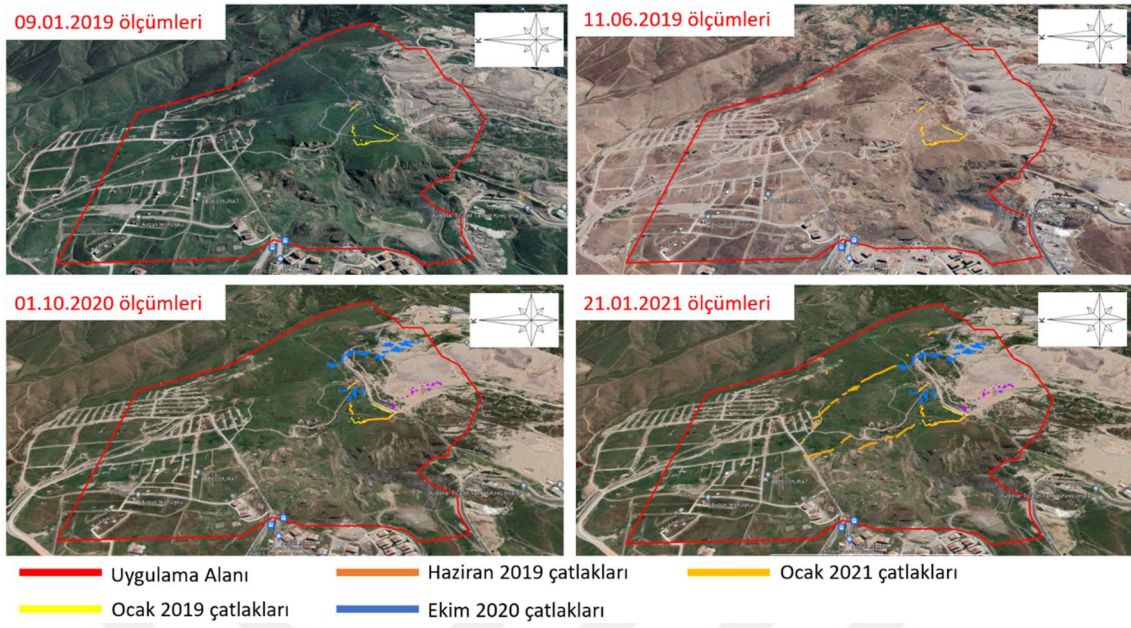
1938-2023 tarihleri arasında yapılan meteorolojik ölçümlere dayalı olarak İzmir İli'nde yıllık ortalama en yüksek/en düşük sıcaklık 22,7 °C/13,6 °C, ortalama yağışlı gün sayısı 77,8 gün ve ortalama yağış miktarı 712,1 mm olarak gözlemlenmiştir. İzmir İli'nde esen rüzgarlara genel olarak bakıldığında hâkim yönün kuzeydoğu-doğu/kuzeydoğu yönlerinden olduğu görülmektedir. Çiğli Bölgesi'nde ise hâkim rüzgâr yönü ise genel olarak kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda olduğu görülmektedir (MGM 2023).

5.1.4 Uygulama Öncesinde Yapılmış Çalışmalar

Bölgede meydana gelen heyelan aktivitesi ile ilgili geçmiş yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. 1990, 2008, 2010, 2013, 2020 ve 2021 yıllarında farklı kurum ve kuruluşlar tarafından sondaj ve inklinometre ölçüm çalışmaları yapılmıştır (Gökçeoğlu 2022).

2019 yılında bölgede ki yüzey değişimlerini tespit etmek amacıyla yüzeyde oluşan çatlakların CORS-RTK yöntemi kullanılarak üç boyutlu (x, y, z) jeodezik ölçümleri yapılmıştır. 9 Ocak-11 Haziran 2019, 1 Ekim 2020 ve 21 Ocak 2021 tarihlerinde yapılan yüzey ölçümleri ve 2021 yılında yapılan inklinometre-sondaj çalışmaları birlikte değerlendirilmiş olup, yapılan analizler neticesinde bölgede farklı derinliklerde hareketler ve yüzeyde gerilme çatlakları, topuk bölgelerinde ise kabarmaların olduğu ve bölgede yüksek bir heyelan aktivitesinin olduğu sonucuna varılmıştır (Gökçeoğlu 2022).

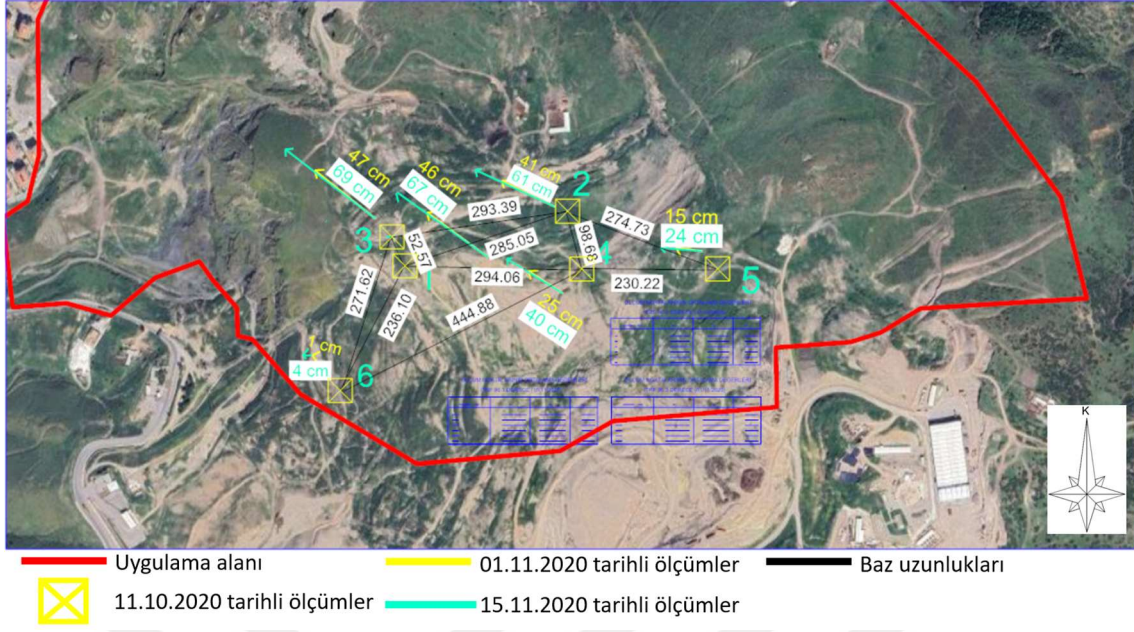
Yapılan yüzey ölçümleri neticesinde Ocak 2019 yılında yüzeyde sadece çatlak oluşumları görülmüş, ilerleyen tarihlerde ise mevcut çatlakların yarıklara dönüştüğü ve eğim yönünde (kuzeybatı) yeni çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 5.3).



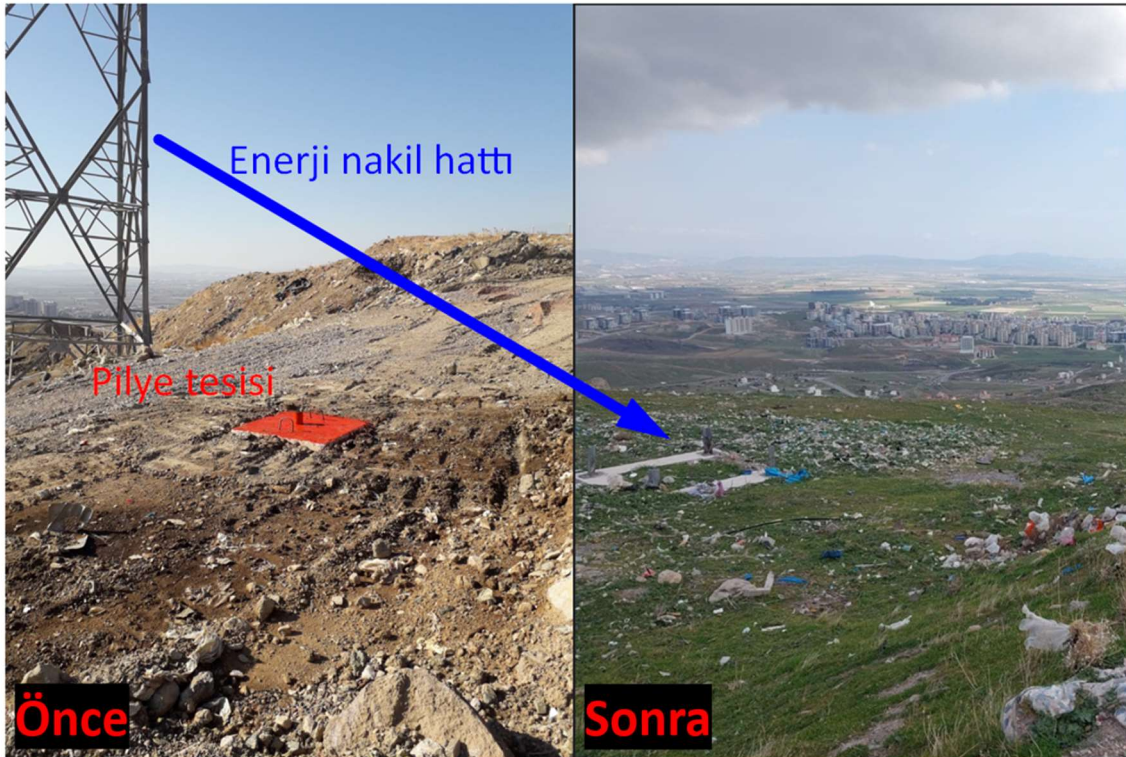
Şekil 5.3 Bölge yüzeyinde görülen çatlakların üç boyutlu jeodezik ölçümleri.

Yüzey deformasyonlarını izlenmesi için bölgede yapılan başka bir çalışmada ise sürekli ölçümler yapabilmek amacıyla yüzeye beton pilye tesisleri yapılmıştır. Uygun görülen altı adet noktada derin çukurlar kazılmış, kazılan çukurlara büyük kayalar ile dolgu yapılmış ve yaklaşık 1x1 m alana 0,50 m yüksekliğinde beton dökülmüş, orta noktasına ise ölçüm demiri tesis edilmiştir. Bu noktalara 15 epok aralığında CORS-RTK yöntemi ile üç boyutlu jeodezik ölçümleri yapılmıştır. Tesis işleminden sonra 11 Ekim 2020 tarihinde ilk ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonrasında, 30 Ekim 2020 tarihinde Sisam Adası'nda gerçekleşen ve İzmir'i de etkileyen Mw:6,9 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Deprem sonrasında 01.11.2020 ve 15.11.2020 tarihlerinde ölçümler yapılmış ve 35 günlük zaman diliminde pilyelerin 24 cm ile 69 cm arasında kuzeybatı yönünde hareketi tespit edilmiştir (Şekil 5.4). Bu doğrultuda depremin bölgede ki heyelan aktivitesini yüksek derecede tetiklediği sonucuna ulaşılmıştır.

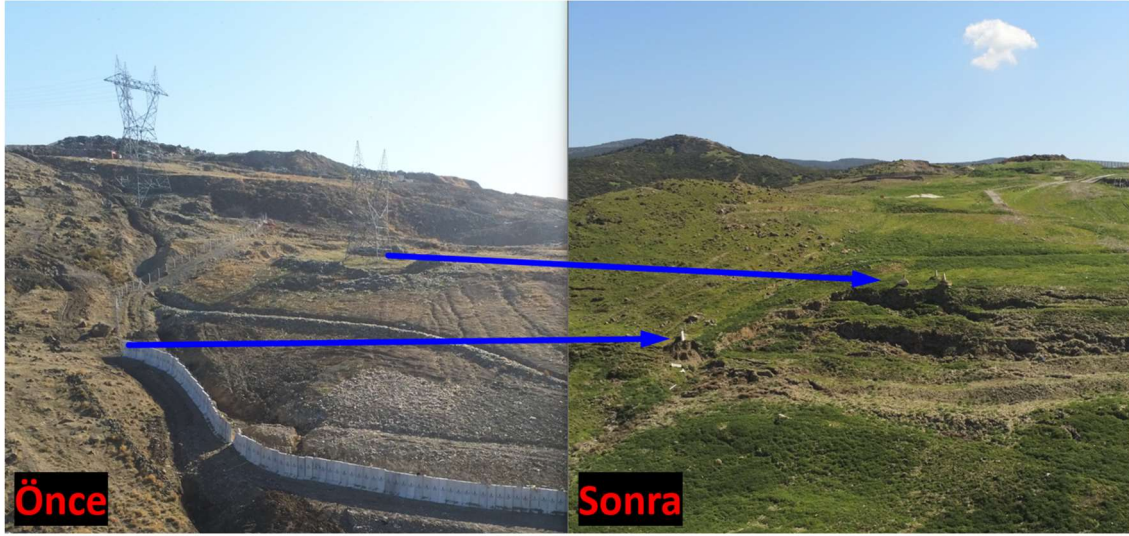
Ölçümlerden kısa bir zaman sonra neredeyse 70 cm seviyelerinde deformasyonlar gerçekleşmiş ve ölçüm pilyelerinin tümü kullanılmayacak şekilde hasar almış ya da toprak altında kalmıştır (Resim 5.1). Aynı zamanda enerji nakil hatlarında, yollarda ve yapılarda büyük hasarlar görülmüştür. (Resim 5.2, 5.3, 5.4).



Şekil 5.4 Pilyelere yapılan ölçüm sonuçlarını ve baz uzunluklarını gösterir kroki.



Resim 5.1 Hasar gören ölçüm noktası ve kaldırılan enerji nakil hattı.



Resim 5.2 Hasar görmüş ve kaldırılan enerji nakil hatları.



Resim 5.3 Deprem öncesinde ve sonrasında gerçekleşen yüzey deformasyonları.



Resim 5.4 Heyelan sonucunda yapılarda görülen hasarlar.

Deprem sonrasında gerçekleşen deformasyonların ardından 21.01.2021 tarihinde saha araştırma gezisi ve heyelanın hareket alanının tespiti için jeodezik ölçümler yapılmıştır. Çalışma verilerinin değerlendirilmesiyle heyelanın hareket yönü ve alanı tespit edilmiştir (Şekil 5.5).



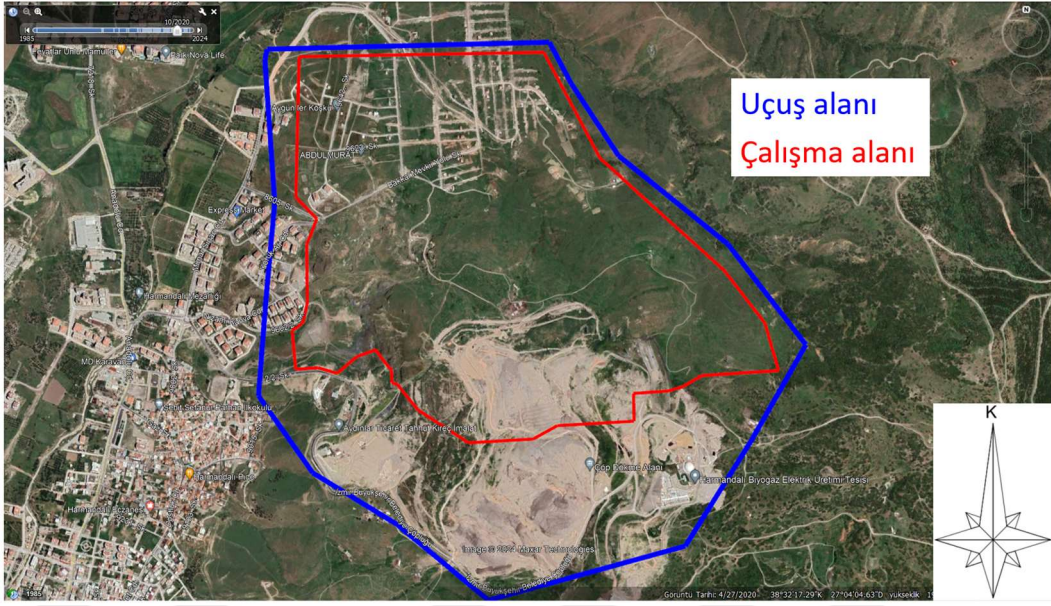
Şekil 5.5 2021 yılında belirlenen heyelan sınırının (yeşil alan) Google Earth üzerinde gösterimi (Gökçeoğlu 2022).

5.2 Uygulama Hazırlık Çalışmaları

Heyelan bölgesinde meydana gelen yüzey deformasyonlarının izlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda CORS-RTK yöntemi ile altı adet noktada jeodezik ölçümler yapılmıştır. Tesis edilen ve sonrasında hasar görüp kullanılmayacak durumda olan bu noktaların heyelan bölgesini temsil etmediği düşünülerek bölgeye uygun yeni bir jeodezik ağ oluşturulması uygun görülmüştür. 2021 yılında yapılan çalışmaya göre söz konusu deformasyonun 528 258,77 m² (52 ha) alana sahip olması ve daha geniş alanlara yayılmasından dolayı nokta bazlı yapılacak olan yersel çalışmaya ek olarak İHA kullanılarak fotogrametrik yöntemle desteklemek gerektiği uygun görülmüştür. Aynı zamanda İHA sistemi kullanılarak yapılan alansal deformasyon tespiti için GNSS verilerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması planlanmıştır.

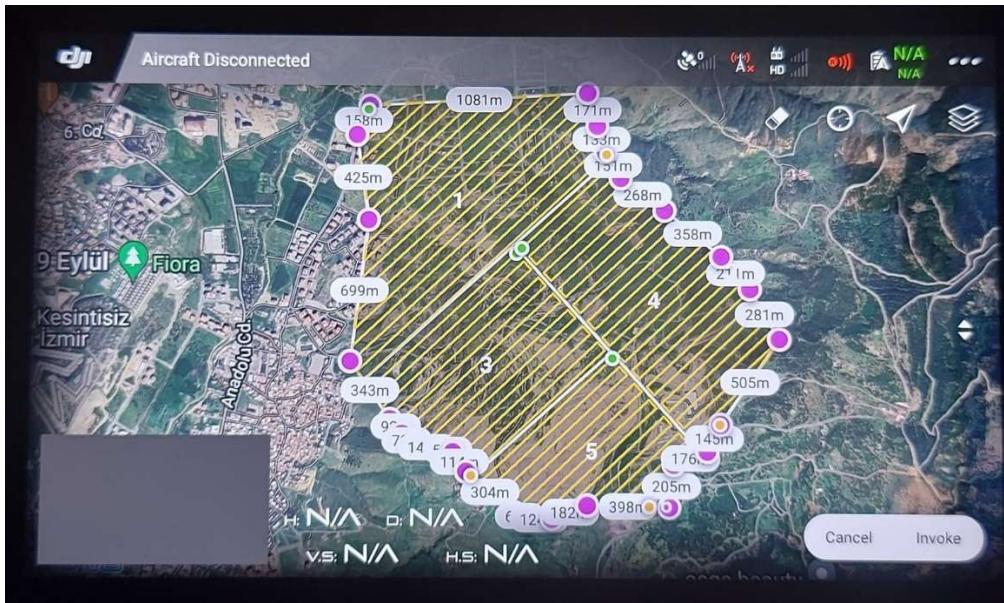
Deformasyon takibinin yapılacağı çalışma alanının belirlenmesi için ilk olarak geçmiş yıllarda yapılan fotogrametrik uçuşlar ve jeodezik çalışmalar sonucunda belirlenen alan içerisinde saha araştırma gezileri yapılmış, yüzeyde net biçimde yeni çatlak ve kabarma hareketleri gözlemlenmiştir. İHA sisteminin hızlı ve büyük alanlarda çalışabilme avantajından yararlanılarak mevcut heyelanın etki alanı ve yeni oluşumların gözlemlendiği alan ile birlikte, hareketin olası ilerleme yönü de değerlendirilerek 3 010 336,13 m²'lik (301 ha) bir çalışma alanı belirlenmiştir. Bu alan içerisinde atık depolama tesisi bulunmakta olup, depolama faaliyetleri devam etmektedir. Aktif depolama yapılan bölgelerde sürekli yüzey değişimleri olmasından dolayı bu bölgeler tespit edilip 1 193 924,46 m² (119 ha) alan çalışma programından çıkartılmış fakat depolama faaliyetinin heyelana olan etkisinin incelenmesi vb. yapılması muhtemel çalışmalara envanter olması amacıyla uçuş alanından çıkartılmamıştır. Sonuç olarak 301 ha uçuş alanı içerisinde 181 ha alanda yüzey değişimlerinin incelemesi yapılmıştır (Şekil 5.6).

Alanın belirlenmesinin ardından bölge topografyası, hava durumu ve hava aracının uçuş özellikleri göz önünde bulundurularak uçuş planı hazırlanmıştır. Uçuş planı hazırlığında, İHA'nın havada kalma süresini uzatabilmek için, uçuş yönü seçimi, hâkim rüzgâr yönü, topografik yapı vb. dikkate alınmıştır. Uçuş esnasında hava aracının rüzgârı yandan alması, stabil bir uçuş yapmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum motorların daha fazla enerji kullanmasına sebep olmakta ve aracın havada kalma süresini kısaltmaktadır.



Şekil 5.6 Uçuş ve çalışma alanını Google Earth üzerinde gösterimi.

Bu yüzden uçuş yönü, bölgede hâkim rüzgâr yönü olan kuzeydoğu-güneybatı istikametinde seçilmiştir. Uçuş yönü seçiminde bölgedeki topografik yapı da değerlendirilmiştir. Kuzeybatı-güneydoğu yönünde artan bir eğime sahip olan bölgede uçuş kolonlarının eşit eğimlerde olması, kolonlar arasındaki yükseklik farklarını minimuma indireceği için uçuş yönünün yine kuzeydoğu-güneybatı yönünde olması tercih edilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü uçuş planı.

Uçuş alanının büyüklüğü ve yüzeydeki yüksek kot farkları sebebiyle 7 farklı kotta, 120 m (kalkış noktasından) uçuş yüksekliğinde kalkış yapılmıştır. Böylece çekilen 1766 adet görüntünün yer örnekleme aralığı birbirine yakın olacak, görüntü işleme aşamasında ise hassas bir değerlendirme yapılmış olacaktır. Uçuş periyotlarının, veri yoğunluğu ve işleme süresi ele alındığında ise periyotların aylık olması uygun görülmüştür.

Fotogrametrik uçuşlar DJI marka Phantom 4 RTK insansız hava aracı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.9). Yapılan çalışmanın hassasiyeti göz önünde bulundurularak, görüntü işleme aşamasında daha hassas değerlendirme yapabilmek ve İHA ile GNSS uyduları arasındaki bağlantı problemleri yaşanması durumunda uçuş tekrarı yapamamak için bölgeye yer kontrol noktalarının (YKN) tesis edilmesi uygun görülmüştür. Uçuş alanı içerisinde; ulaşım, nokta tesisi ve uçuş planı uygunluk durumuna bağlı olarak yirmi adet YKN tesis edilmiştir (Şekil 5.8).

Yer kontrol noktaları kırmızı boya ile asfalt kenarlarına ve heyelandan dolayı kaldırılmış yüksek gerilim hattı direklerinin betonlarına tesis edilmiştir. Bölgedeki yollarda ve arazide görülen yüksek deformasyonlardan dolayı noktaların kalıcı tesis edilmesinin sağlıklı olmayacağı düşünülmüş ve bunun yerine uçuş yapılmadan yaklaşık bir saat önceden noktaların boyaları tazelenmiş ve ölçümleri yapılmıştır (Resim 5.5). YKN ölçümleri CORS-RTK sistemi kullanılarak Satlab marka SL600 GNSS cihazı ile her noktada 5'er dakikalık ölçümler yapılmıştır (Şekil 5.9).

Çalışma kapsamında, yüzeydeki yatay hareketlerin nokta bazlı izlenmesi ve İHA Sistemi kullanılarak elde edilecek SYM'lerin ve ortofotoların karşılaştırılması için yapılacak jeodezik ölçümler için 24 adet GNSS ölçüm noktasından oluşan bir jeodezik ağ oluşturulmasına karar verilmiştir. Nokta dağılımları bölgede ki ulaşımın mümkün olduğu bölgelere, homojen olacak şekilde belirlenmiş ve sonrasında belirlenen koordinatlara gidilerek gözlemler yapılmıştır. Gözlemlerin ardından belirlenen yerlere nokta tesis işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.8 Uçuş alanında bulunan YKN ağı ve noktalar arası baz uzunlukları.



Resim 5.5 YKN tesisleri.

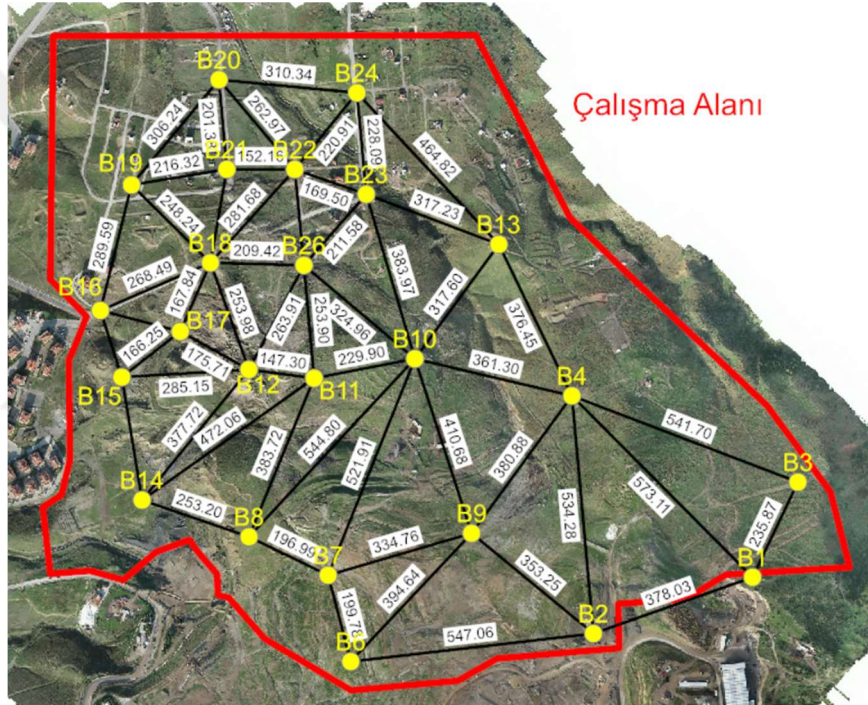


Satlab SL600



DJI Phantom 4 RTK

Şekil 5.9 Çalışmada kullanılan İHA ve GNSS ölçüm cihazı.



Şekil 5.10 GNSS ölçüm ağı ve noktalar arası baz uzunlukları.

Bazı noktalar, deforme olmuş ve kaldırılmış yüksek gerilim hatlarının direk betonlarına çivi çakılarak tesis edilmiştir. Bazı noktalarda ise asfalta 70 cm uzunluğunda çivi çakılmıştır. Deformasyonun yoğun olarak gerçekleştiği bölgelerde, noktaların çevresinde beton, asfalt ve benzeri bir yapı bulunmadığından dolayı zemine 1,20 m uzunluğunda inşaat demiri çakılmıştır (Resim 5.6). Nokta ölçümleri ile uçuşlar arasında zaman farkı olmaması için uçuş ile aynı günde ölçümler yapılmış ve CORS-RTK yöntemi kullanılmıştır.



Resim 5.6 Tesis edilen noktalarda GNSS ölçümleri.

5.3 Verilerin Toplanması

Uygulama kapsamında planlama, 2023 yılının Nisan ayı ile 2024 yılının Nisan ayı arasında, uçuş periyotları aylık olacak ve her uçuş öncesinde YKN ölçümleri yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda uçuş günleri içerisinde, tesis edilmiş GNSS noktalarına tekrarlı ölçümler gerçekleştirilecektir. 2023 yılının ağustos ayında hava aracının bakımda olması ve 2024 yılının ocak, şubat, mart aylarında ise uygun hava koşullarının oluşmamasından dolayı uçuşlar yapılamamıştır. 2023 yılının eylül ve ekim aylarında meydana gelen teknik sorunlar sebebiyle GNSS ölçümleri alınamamıştır (Çizelge 5.1).

17 numaralı ölçüm noktası heyelan hareketi sebebiyle toprak altında kalmış ve Kasım 2023 ayı itibarıyla ölçüm alınamamıştır (Resim 5.7). 13 numaralı ölçüm noktası ise üzerine moloz dökülerek tahrip edilmiş, Aralık 2023 ayı itibarıyla ölçümü yapılamamıştır (Resim 5.8). Uçuşların yapıldığı gün içerisinde, önceden tesis edilmiş olan GNSS noktalarına 200 epok aralığında 3 tekrarlı ölçüm yapılmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.1 Uygulama Planı kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların özet tablosu.

Tarih	Uçuş	GNSS Ölçüm	Tarih	Uçuş	GNSS Ölçüm
Nisan 2023	✓	✓	Kasım 2023	✓	✓
Mayıs 2023	✓	✓	Aralık 2023	✓	✓
Haziran 2023	✓	✓	Ocak 2024	X	X
Temmuz 2023	✓	✓	Şubat 2024	X	X
Ağustos 2023	X	X	Mart 2024	X	X
Eylül 2023	✓	X	Nisan 2024	✓	✓
Ekim 2023	✓	X			

Çizelge 5.2 Örnek GNSS ölçüm verisi.

İsim	X (m)	Y (m)	Z (m)	σX (m)	σY (m)	σZ (m)	Durum	Ölçme Zamanı	Ort Zaman
B1	4266965.87	506602.07	376.803	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B2	4266839.75	506245.69	348.192	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B3	4267178.74	506703.66	333.821	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B4	4267371.86	506197.55	268.494	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B5	4266459.02	505597.70	251.236	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B6	4266777.11	505702.23	248.853	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B7	4266970.37	505651.63	238.000	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B8	4267056.32	505474.38	205.463	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B9	4267064.26	505972.95	274.996	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B10	4267454.79	505845.90	225.044	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B11	4267411.27	505620.16	214.232	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B12	4267430.76	505474.16	187.741	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B13	4267710.83	506033.81	209.171	0.01	0.01	0.00	Fix	3	200
B14	4267138.49	505234.89	112.699	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B15	4267413.64	505189.53	129.065	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B16	4267562.92	505141.66	113.369	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B17	4267516.01	505320.51	133.490	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B18	4267669.68	505388.01	154.975	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B19	4267844.02	505211.30	142.953	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B20	4268079.42	505407.17	115.839	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B21	4267878.81	505424.80	137.059	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B22	4267878.60	505576.95	141.023	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B23	4267823.02	505737.09	150.619	0.01	0.00	0.01	Fix	3	200
B24	4268050.15	505716.13	145.349	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200
B25	4266729.58	505329.63	166.669	0.00	0.00	0.00	Fix	3	200
B26	4267664.14	505597.36	176.321	0.00	0.00	0.01	Fix	3	200



Resim 5.7 Heyelan bölgesinde toprak altında kalan 17 numaralı nokta.



Resim 5.8 Tahrip edilen 13 numaralı nokta

5.4 Verilerin İşlenmesi

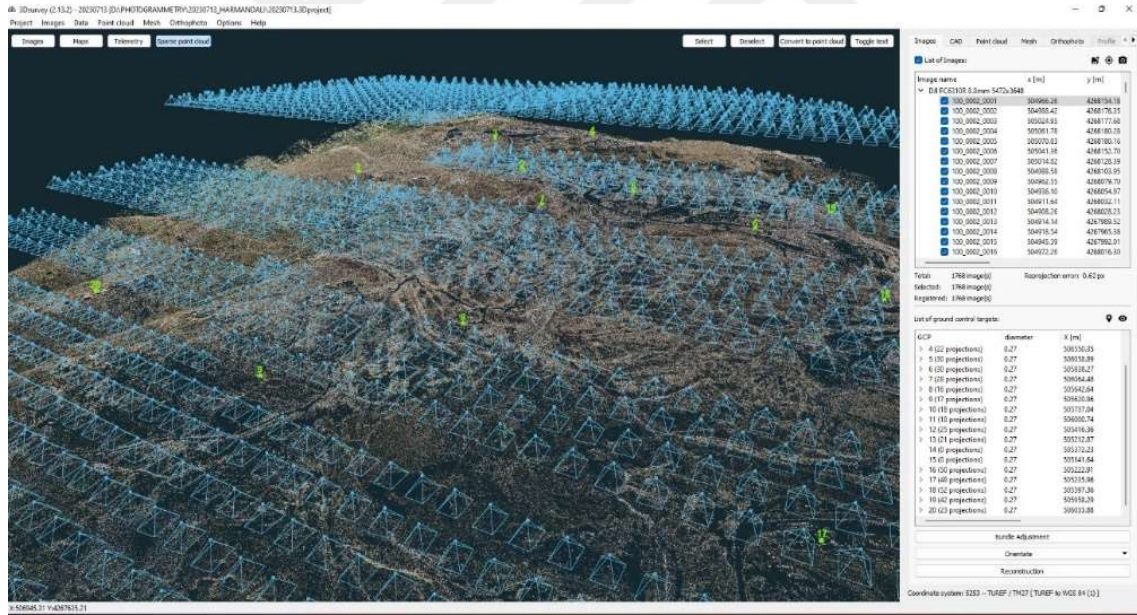
Bu aşamada ki çalışmalar, her bir periyotta elde edilen veriler için yapılmıştır. İHA uçuşları için aynı uçuş planları, dengeleme işlemleri ve parametreler, GNSS ölçüm noktaları için aynı değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır.

5.4.1 Uçuş Verilerinin İşlenmesi

İHA kullanılarak yapılan fotogrametrik uçuşlar %70 ileri, %70 yan bindirme oranı ve 3,29 cm/pixel yer örnekleme aralığı parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplamda 43 adet kolonda uçuş yapılmış ve 1766 adet hava fotoğrafı çekilmiştir.

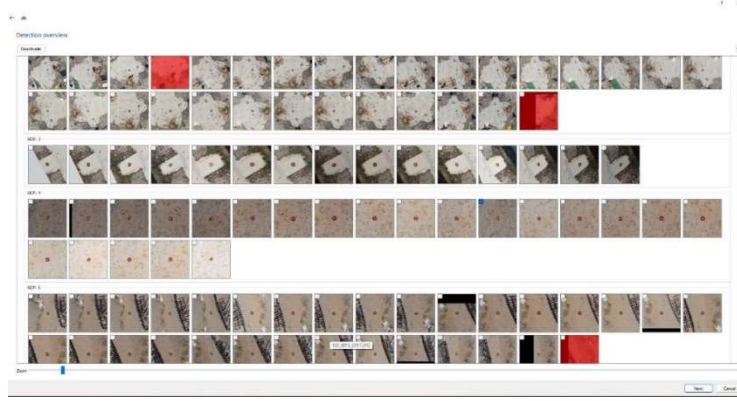
Dengeleme çalışmalarında, İHA ile çalışmak üzere, coğrafi dengeleme ve profesyonel arazi inceleme işlemlerinin yapılabilirdiği, harita mühendisleri tarafından geliştirilen ve lisanslı bir yazılım olan 3D Survey kullanılmıştır. İşlem adımlarında ilk olarak fotoğraflar ve yer kontrol noktaları projeye yüklenmiştir. Yatay koordinat sistemi olarak TUREF / TM27, düşey koordinat sistemi olarak elipsoidal yükseklik tanımlanmıştır. Çalışmanın tamamında elipsoidal yükseklik olarak z ekseninde elde edilen değerler kullanılmıştır.

Yazılım içerisinde görüntü bağlama işlemi için; küçük ve homojen arazi yapısına sahip alanlar için zorlamalı, büyük ve homojen arazi yapısına sahip alanlar için genel, büyük ve zorlayıcı arazi yapısına sahip alanlar içinse karma modu mevcuttur. Çalışma sahasının yükseklik farklarının fazla ve heyelandan dolayı karmaşık bir arazi yapısına sahip olmasından dolayı karma modda görüntü bağlama tercih edilmiş, işlem sonucunda 2 867 990 adet bağlama noktası yazılım tarafından otomatik olarak üretilmiştir (Şekil 5.11).



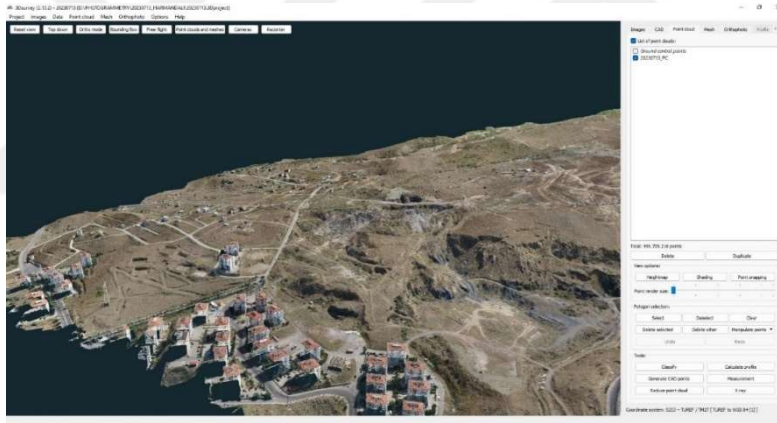
Şekil 5.11 3D Survey Yazılımı'nda görüntü bağlama işlemi.

Görüntü bağlama işleminden sonra yer kontrol noktaları görüntüler üzerinde işaretlenmiştir. Bu aşamada yapılacak hassas çalışma, sonrasında gerçekleştirilecek çalışmaların doğruluğunu etkilemektedir. YKN işaretleme işlemi tamamlandıktan sonra proje dengeleme (optimizasyon) işlemi yapılmıştır (Şekil 5.12).

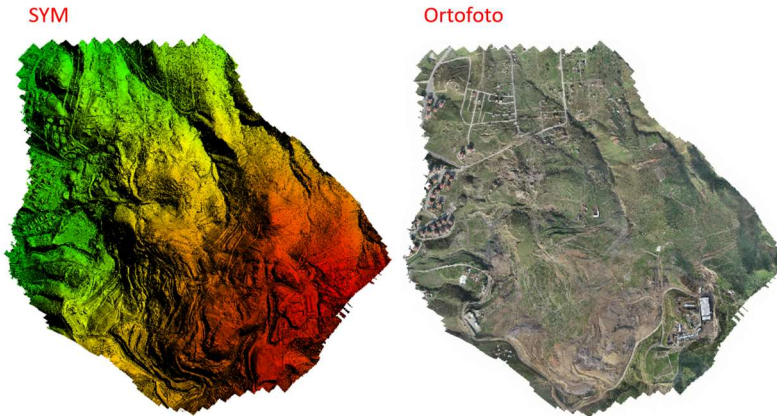


Şekil 5.12 YKN işaretleme ve proje dengeleme işlemi.

Dengeleme işlemi tamamlandıktan sonra nokta bulutu üretilmesi işlemi başlatılmış olup 496 709 216 nokta üretilmiş (Şekil 5.13) ve bu noktalar kullanılarak SYM ve ortofoto elde edilmiştir. (Şekil 5.14).



Şekil 5.13 Deformasyonun yoğun olduğu bölgede üretilen nokta bulutu görseli.

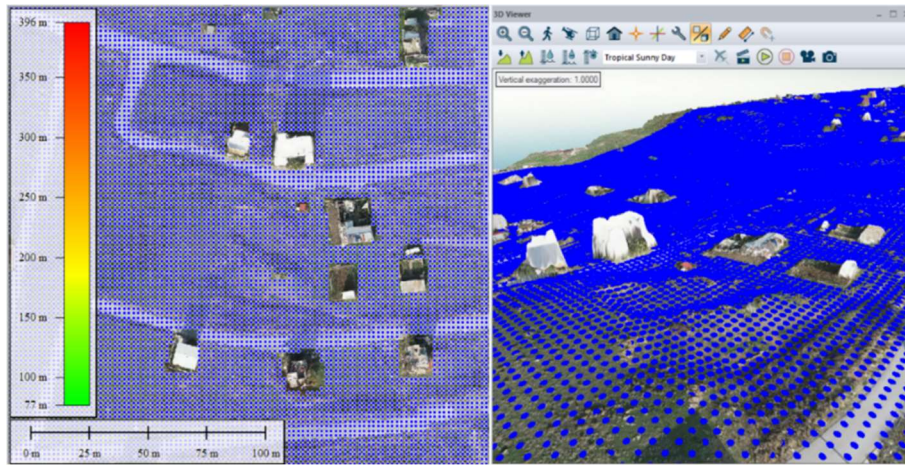


Şekil 5.14 2023 yılı Aralık ayına ait SYM ve Ortofoto verisi.

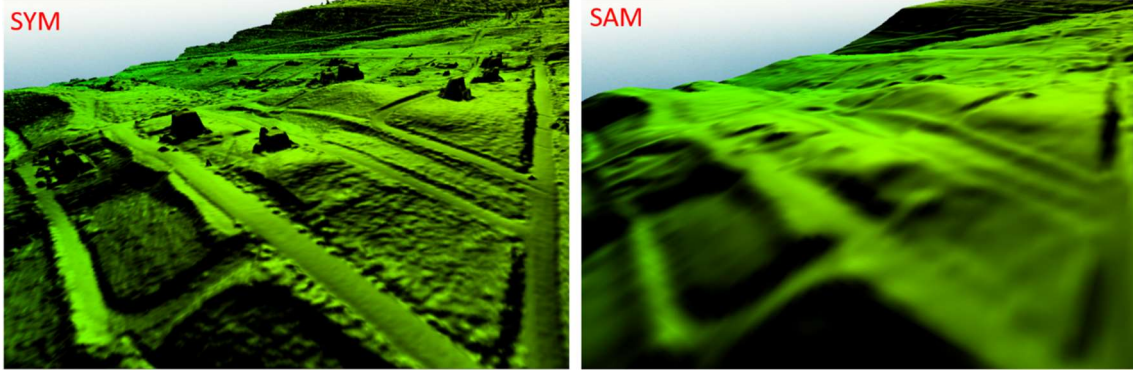
5.4.2 Sayısal Arazi Modeli Üretilmesi

Görüntü işleme ve dengeleme aşamasından sonra üretilmiş olan SYM'ler ve ortofotolar kullanılarak SAM üretilmesi aşamasında Global Mapper Yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama alanlarında harita üretimi, veri analizi, LiDAR verilerinin işlenmesi amaçlarıyla kullanılan lisanslı bir programdır. SAM üretimi aşamasında yazılımlarda bulunan otomatik filtreleme işlemlerinde zemin noktalarının doğru seçilmesi devamında yapılacak enterpolasyon işlemi doğrudan etkilemektedir. Uçuş periyotları arasında mevsim geçişleri yaşandığı için bölgedeki bitki örtüsünde değişimlerin olması ve deformasyon miktarlarının 1m'nin üzerinde ilerlemesinden dolayı otomatik filtreleme yöntemiyle yapılacak işlem bölgede ki yükseklik değişimlerinde yanlışlara neden olabilmektedir. Bu yüzden otomatik filtreleme yöntemlerinin kullanmaması tercih edilmiştir.

SYM üzerinden çalışma alanı içerisinde 2 m aralıklı her bir yüzey için yaklaşık 470 000 adet yükseklik gridi oluşturulmuştur. 2 m ve altında nokta aralığı tercih edildiğinde çalışma alanının büyük olmasından dolayı nokta yoğunluğu artmış ve bu durum yazılımın çalışmasını engellemiştir. Çalı, ağaç, yıkıntı, moloz vb. yüksek detaylar üzerine gelen noktalar, üç boyutlu görünüm modu kullanılarak kontrol edilmiş ve modelden silinmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Detaylar üzerine gelen noktaları temizleme işlemi.



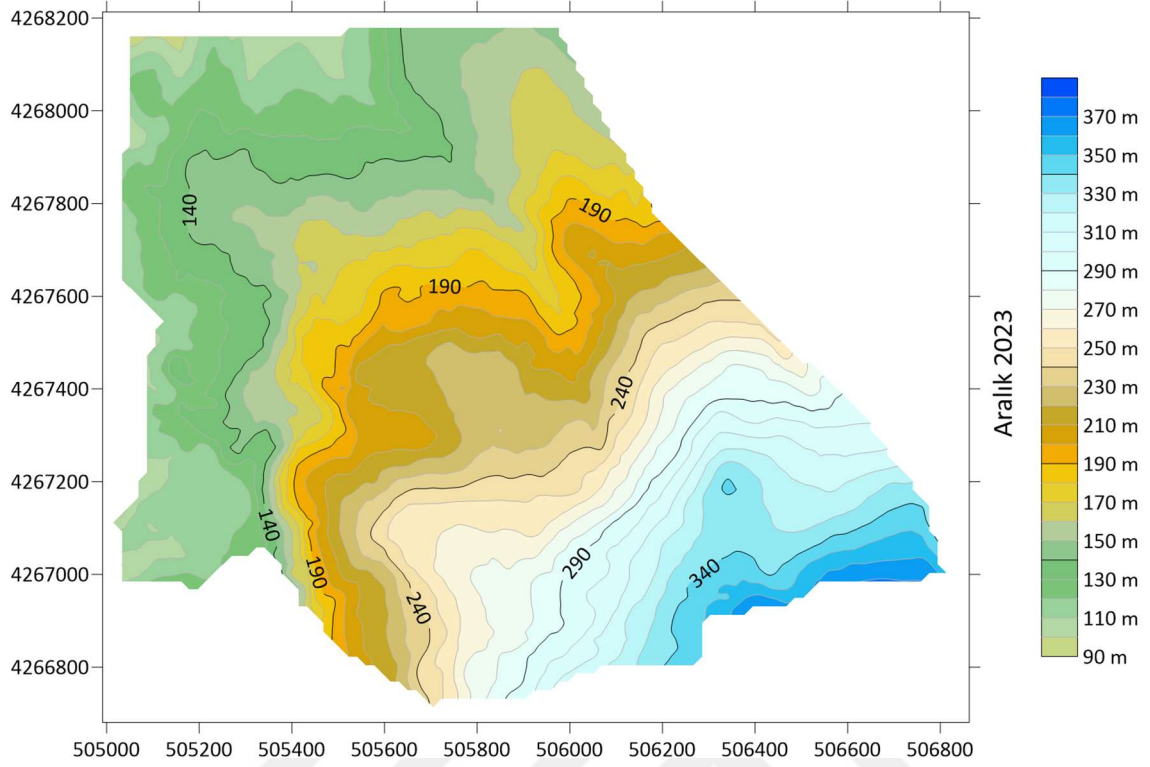
Şekil 5.16 SYM ve SAM arasındaki farkın gösterimi.

5.4.3 Deformasyon Haritalarının Üretilmesi

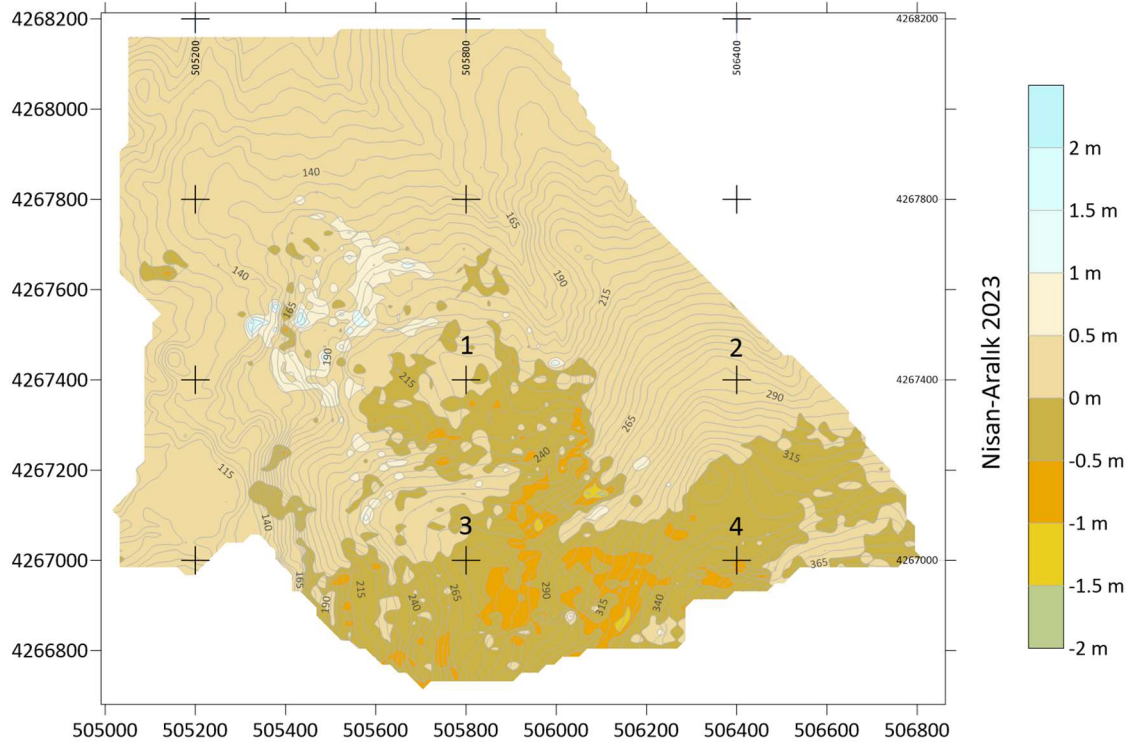
SAM modellemesinin ardından değişim ve deformasyon haritalarının üretilmesi için farklı yöntemlerde haritalama işlemlerinin yapıldığı, veri formatlar arasında geçiş sağlayabilen, yüzey modelleri analizleri yapmaya olanak sağlayan, lisanslı, bilimsel görselleştirme yazılımı olan Golden Software Surfer Yazılımı kullanılmıştır.

Çalışma yüzeyini yazılıma tanıtmak için SAM kullanılarak yükseklik gridleri oluşturulmuştur. 2 m ve altında nokta aralığı tercih edildiğinde, çalışma alanının büyük olmasından dolayı nokta yoğunluğu artmış ve bu durum yazılımların çalışmasını engellemiştir. Bu yüzden yükseklik gridlerinde ki nokta sıklığı 2 m olarak seçilmiş ve Global Mapper Yazılımı kullanılarak *.xyz formatında dışa aktarılmıştır. Veriler sırasıyla excel kullanılarak *.xlsx, Surfer Yazılımı kullanılarak *.grd formatına dönüştürülmüştür. Uygun dosya formatına dönüştürülmüş olan yükseklik gridleri ile Surfer Yazılımında kontur (eğri) yüzeyleri oluşturulmuştur (Şekil 5.17).

2023 yılı Nisan ayına ait yüzey referans kabul edilerek her bir periyottaki yüzey ile arasındaki farklar alınarak deformasyon haritaları üretilmiştir. Bu aşamada Şekil 5.18’de örneği gösterildiği gibi 2023 yılı Aralık ayına ait kontur yüzeyinden referans kontur yüzeyi çıkartılıp Nisan-Aralık 2023 dönemi deformasyon haritası elde edilmiştir. Harita gösteriminde deformasyon eğrilerine renk dolgusu, referans yüzeyde ise çizgisel gösterim uygulanmıştır. Verilerin yorumlanması aşamasında bölgedeki hareketlerin takibini daha iyi anlayabilmek için haritada kullanılan 4 adet grid noktasına numara verilmiştir.

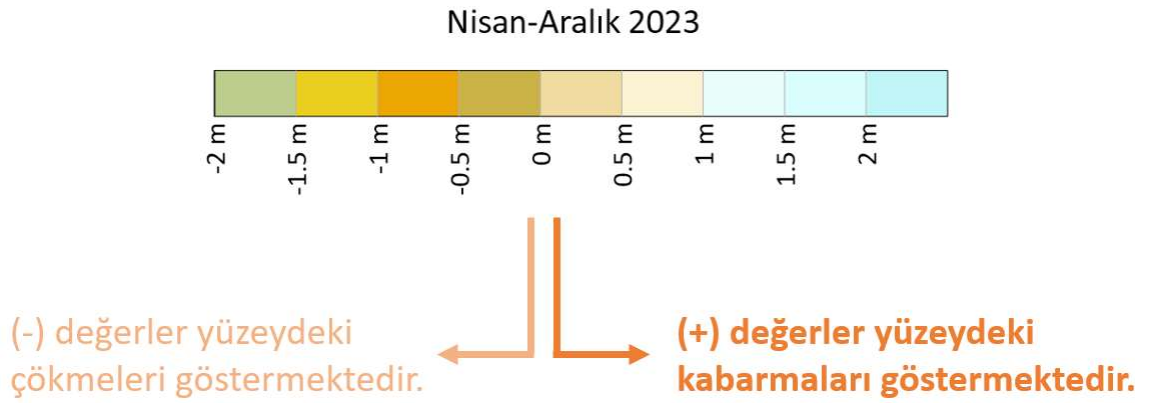


Şekil 5.17 Kontur yüzey örneği-2023 yılı Aralık ayına ait.



Şekil 5.18 Deformasyon haritası örneği, Nisan-Aralık 2023.

Her bir SAM ölçümündeki yükseklik bileşen doğruluklarının ± 10 cm olmasından ve 8 ölçümdeki toplam ± 50 cm birikimli hatadan dolayı ± 50 cm üzerindeki deformasyonlar yorumlanmıştır. Bu yüzden deformasyon haritalarında 50 cm eğri aralığı tercih edilmiştir. Renk düzeni olarak Surfer Yazılımında bulunan terrain renk düzeni, renklendirmede ölçeği olarak ise 50 cm seçilmiştir (Şekil 5.19).

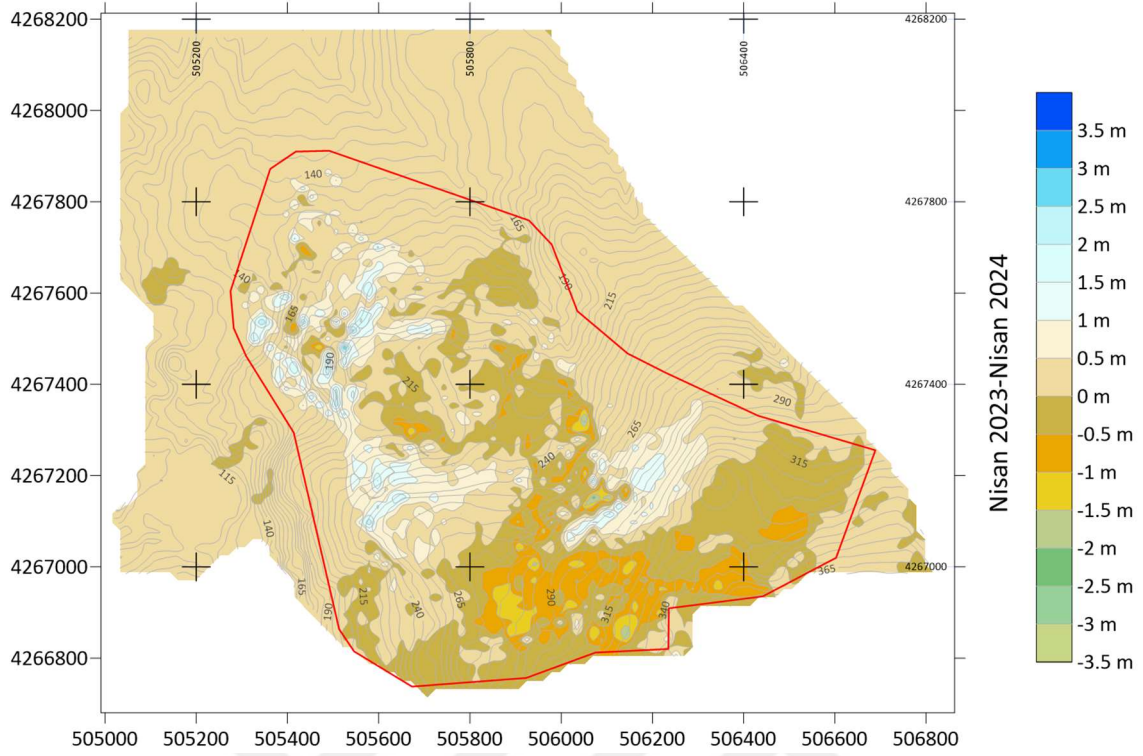


Şekil 5.19 Deformasyon haritası renk düzeni ve ölçeği.

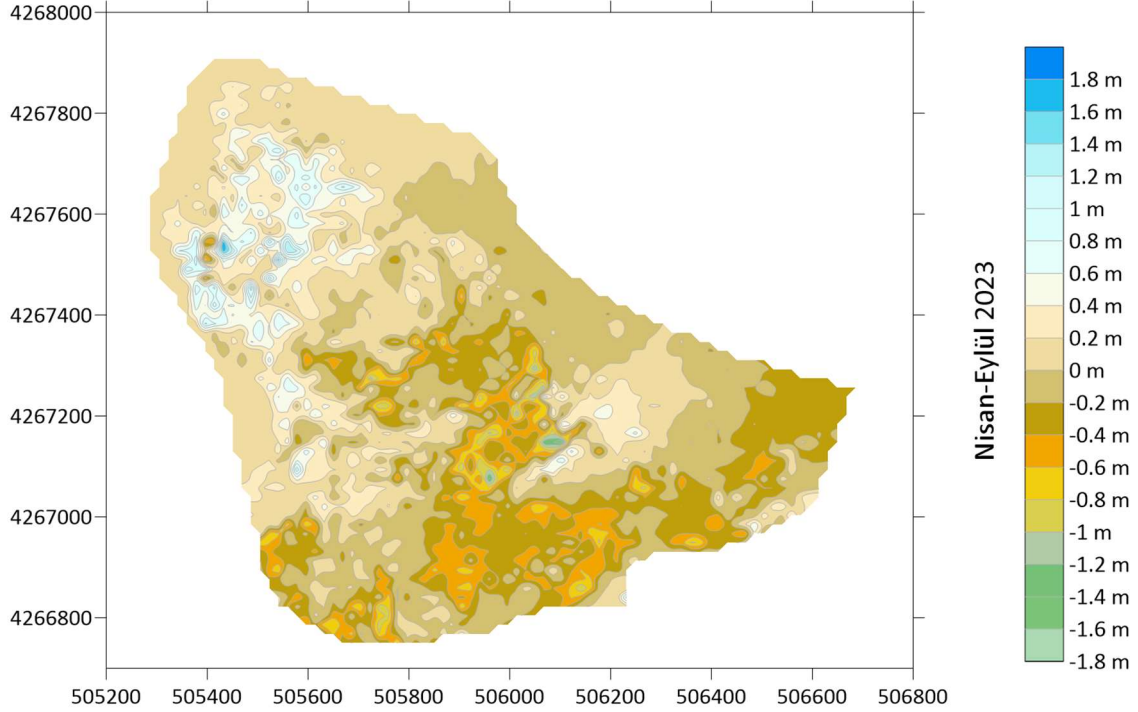
5.4.4 Mevsimsel Değişim Haritalarının Üretilmesi

Çalışma bölgesinde meydana gelen deformasyonların mevsimsel değişimlerini incelemek amacıyla, uçuş periyotları da göz önünde bulundurularak, heyelan bölgesinde, 2023 yılı Nisan-Eylül, Eylül-Aralık ve Aralık 2023-Nisan 2024 dönemlerine ait mevsimsel değişim haritaları üretilmiştir. Heyelan bölgesinin sınırları Nisan 2023-Nisan 2024 deformasyon haritasına göre yüzey hareketlerinin en yoğun olduğu yerleri kapsayacak şekilde seçilmiştir (Şekil 5.20).

Deformasyon haritalarında olduğu gibi, kontur yüzeyler arasındaki yükseklik farkları kullanılarak dönemlere ait değişim yüzeyleri elde edilmiştir. Yüzeyler arasındaki farklar, ileri tarihli döneme ait yüzeyden geçmiş tarihli döneme ait yüzey çıkartılarak oluşturulmuştur (Şekil 5.21). Renk düzeni olarak deformasyon haritalarında kullanılan renk düzeni kullanılmıştır.

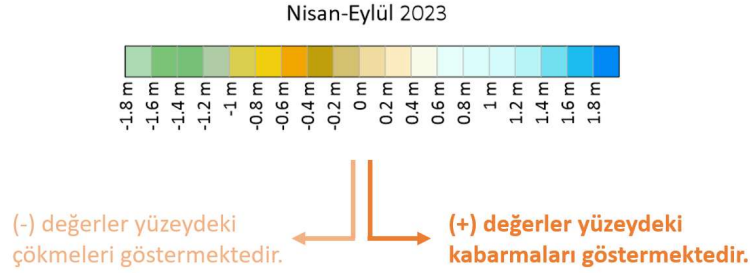


Şekil 5.20 Mevsimsel değişim haritaları için belirlenen heyelan bölgesi.



Şekil 5.21 Mevsimsel değişim haritası örneği-Nisan-Eylül 2023 dönemine ait.

Deformasyon haritalarından farklı olarak değişim yüzeylerinde 20 cm eğri aralığı tercih edilmiştir. Renk ölçeklendirmesi de aynı şekilde 20 cm olarak yapılmıştır (Şekil 5.22).



Şekil 5.22 Mevsimsel değişim haritası renk düzeni ve ölçeği.

5.4.5 GNSS Verilerinin İşlenmesi

Çizelge 5.3 GNSS ölçümlerinin standart sapma değerleri.

Tarih	Nis. 23		May. 23		Haz. 23		Tem. 23		Kas. 23		Ara. 23		Nis. 24	
İsim	σX_m	σY_m	σX_m	σY_m	σX_m	σY_m	σX_m	σY_m	σX_m	σY_m	σX_m	σY_m	$\sigma X)_m$	σY_m
B1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
B2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
B6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B8	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
B12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
B13	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00				
B14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
B15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
B18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
B19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
B21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
B22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B23	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
B26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

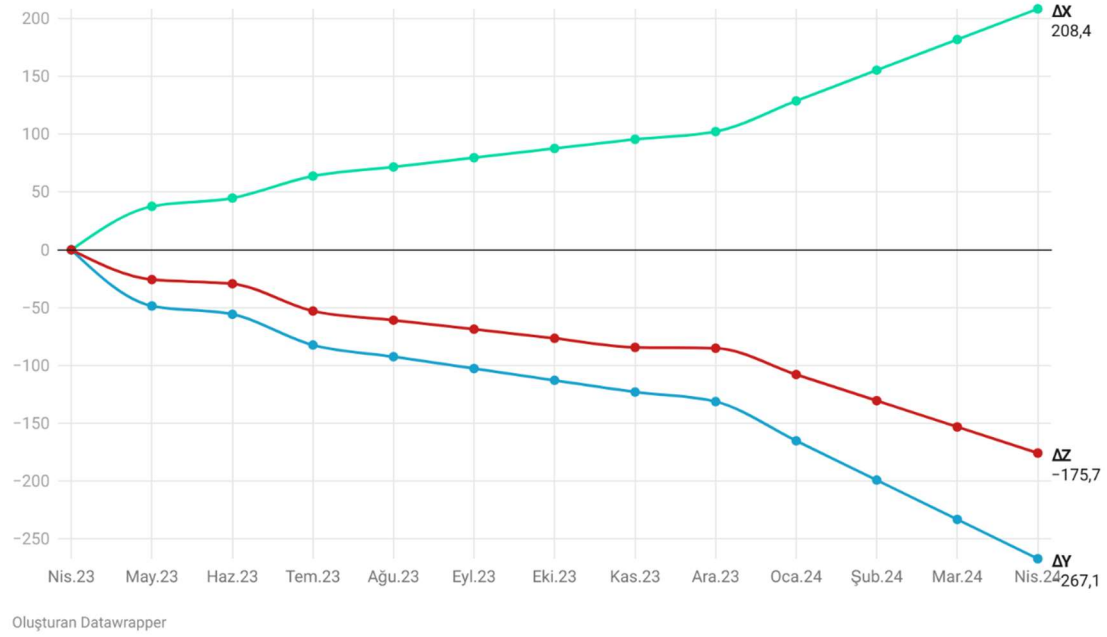
GNSS verilerinin işlenmesi aşamasında ilk olarak ölçümlerden elde edilen koordinatlara ait standart sapma değerleri kontrol edilmiştir. Değerlerin yatayda (x, y ekseninde) 0,025 m, düşeyde ise 0,024 m'nin altında olduğu görülmüştür (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 (Devam) GNSS ölçümlerinin standart sapma değerleri.

Tarih	Nis. 23	May. 23	Hazir. 23	Tem.23	Kas. 23	Ara. 23	Nis.24
İsim	σZ_m	σZ_m	σZ_m	σZ_m	σZ_m	σZ_m	σZ_m
B1	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
B2	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
B3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
B4	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00
B6	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
B7	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
B8	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
B9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
B10	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01
B11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
B12	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
B13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02		
B14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
B15	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
B16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
B17	0.01	0.02	0.00	0.01			
B18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
B19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
B20	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
B21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01
B22	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
B23	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00
B24	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00
B26	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00

GNSS verilerinin; yüzey modellerinde yapılan çalışmada olduğu gibi periyotlar arasında ki farklar alınarak her bir nokta için deformasyon grafiği üretilmiştir. Grafikler, ücretsiz hizmet sağlayan app.datawrapper.de internet sitesi kullanılarak hazırlanmıştır. 2023 yılının Nisan ayında yapılan GNSS ölçümü başlangıç değer kabul edilmiş, diğer aylar ile arasındaki farklar ise grafiğe işlenmiştir. Grafiklerde düşey eksen deformasyon değerlerini (cm) mertebesinde, yatay eksen ise ölçüm periyotlarını ay olarak göstermektedir. Ölçüm verisi olmayan periyotlarda ise grafik sürekliliğini sağlamak için bir önceki ve sonraki ölçümlerin ortalaması alınarak işlenmiştir (Şekil 5.23).

9 No'lu Nokta - Deformasyon Grafiği (cm)



Şekil 5.23 GNSS ölçüm noktalarının deformasyon grafiğine bir örnek – 9 numaralı nokta.

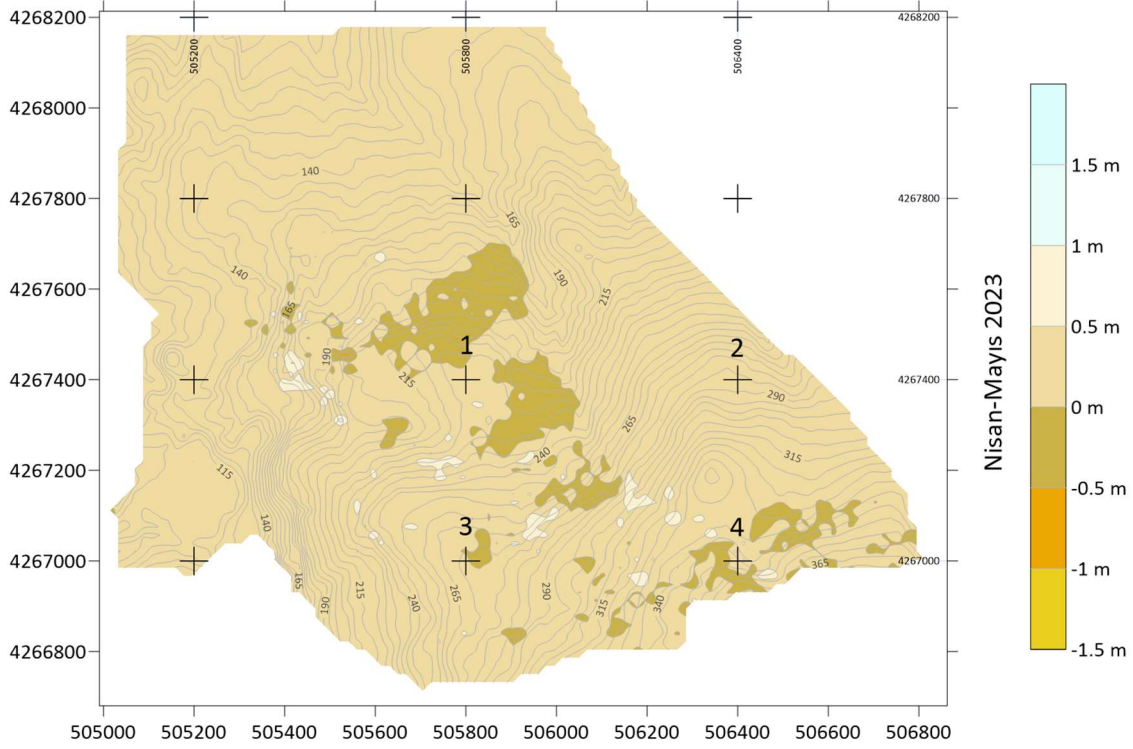
5.5 Verilerin Yorumlanması

2023 yılı Nisan ayı ile 2024 yılı Nisan ayı arasındaki 12 aylık çalışma programının tamamlanmasıyla elde edilen deformasyon ve mevsimsel değişim haritaları kullanılarak, heyelan bölgesinde meydana gelen yükseklik değişimleri ve heyelanın alansal etkisi değerlendirilmiştir. Program dahilinde, GNSS ölçümleri kullanarak yüzeydeki yatay hareketlerin incelenmesi yapılmıştır. Aynı zamanda GNSS ölçümleri ve deformasyon yüzeyleri karşılaştırılmıştır.

5.5.1 Deformasyon Haritalarının Yorumlanması

Nisan-Mayıs 2023 dönemine ait deformasyon haritası incelendiğinde, 1 numaralı gridin batısında ve 1-3-4 numaralı gridler arasında lokal olarak 0 ile 50 cm arasında kabarmalar görülmektedir. Kabarmaların görüldüğü yerlerde noktasal olarak 1 m ve üzerinde yükselmeler tespit edilmiştir. Çökme hareketleri ise 1 ve 4 numaralı gridlerin etrafında 0 ile 50 cm arasında, aynı alanlarda noktasal olarak 1 m ve üzerinde alçalmalar

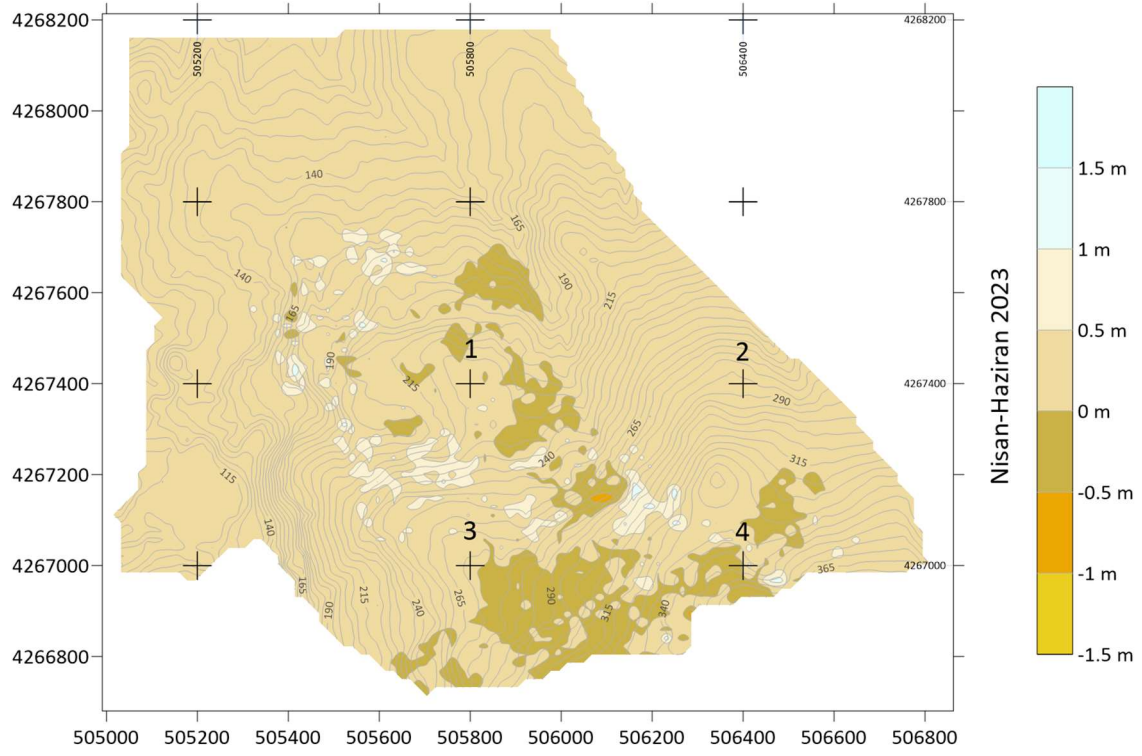
gözlemlenmiştir. Bölgenin tamamında 1,5 m üzerinde kabarma veya çökme hareketi görülmemektedir (Şekil 5.24).



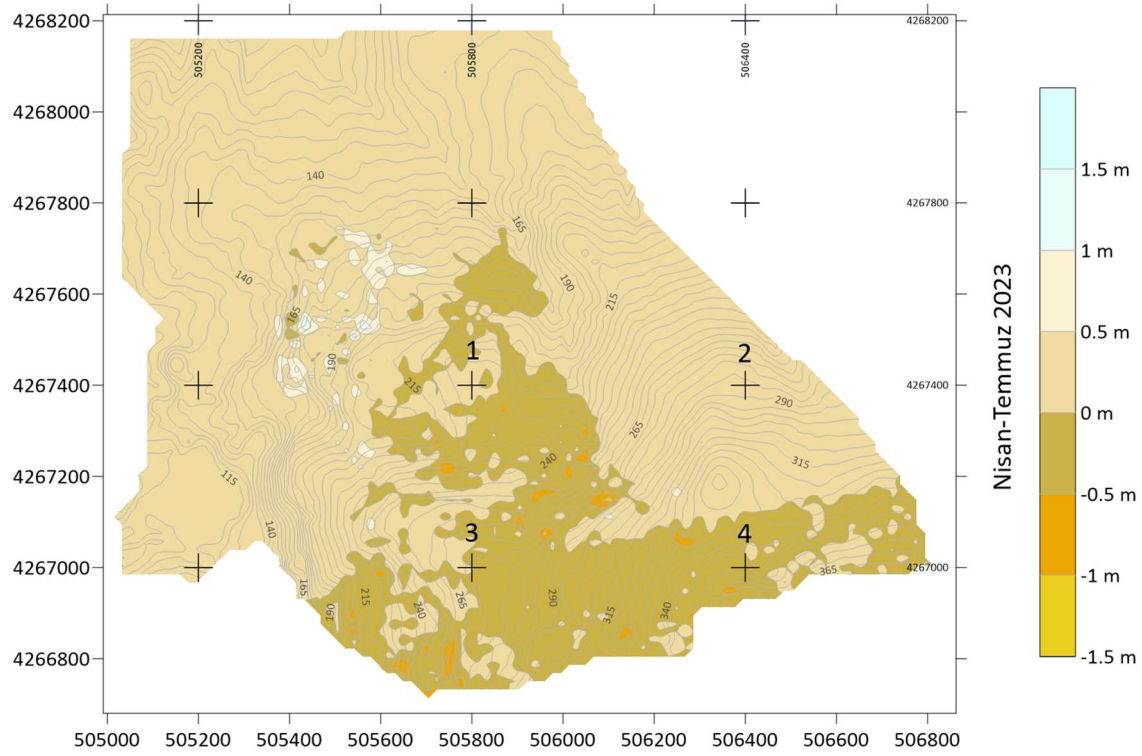
Şekil 5.24 Nisan-Mayıs 2023 dönemine ait deformasyon haritası.

Nisan-Haziran 2023 dönemi deformasyon haritası incelendiğinde, 1 numaralı gridin kuzeybatı yönünde ve 1-3 gridleri arasında lokal kabarmaların sayısının arttığı tespit edilmiştir. Bununla beraber noktasal olarak aynı alanlarda 1 m ve üzerinde yükselmeler mevcuttur. 3-4 gridleri arasında gerçekleşen çökme hareketlerinde ise 50cm üzerindeki alçalmaların alansal olarak büyüdüğü görülmektedir. Yine bölge tamamında 1,5 m üzerinde bir yüzey hareketi bulunmamaktadır (Şekil 5.25).

Nisan-Temmuz 2023 dönemine ait deformasyon haritasında, bölge genelinde 0 ile 50 cm arasında gerçekleşen çökme hareketlerinde alansal büyüme görülmektedir. Yine aynı şekilde çökmelerin gerçekleştiği alanlarda 1 m ve üzeri alçalmalarda artış olduğu tespit edilmiştir. 1 numaralı gridin kuzeybatısındaki kabarmalarda alansal olarak artış görülmemiş, yükselme miktarlarında artış görülmüştür (Şekil 5.26).

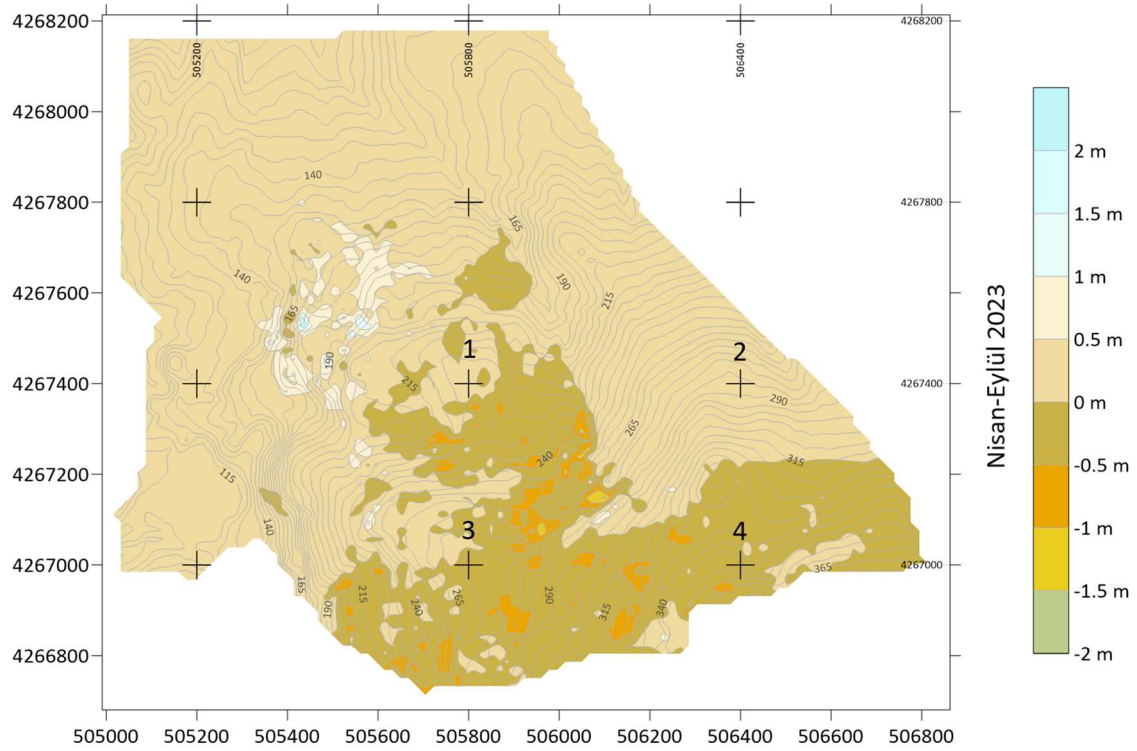


Şekil 5.25 Nisan-Haziran 2023 dönemine ait deformasyon haritası.



Şekil 5.26 Nisan-Temmuz 2023 dönemine ait deformasyon haritası.

Nisan-Eylül 2023 dönemine ait deformasyon haritasında, 1-2-3-4 gridlerinin arasında kalan bölgede 1 m üzerindeki çökme hareketlerinde alansal büyüme görülmektedir. 0 ile 50 cm arasında ki çökme hareketlerinin 4 numaralı gridin kuzey ve doğu yönlerine doğru büyüme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. 1 numaralı gridin kuzeybatısında bulunan kabarmalarda ise hem alansal büyüme hem de yükselme miktarlarında artışlar olmuş, yükselmeler 2 m'ye yaklaşmıştır (Şekil 5.27).

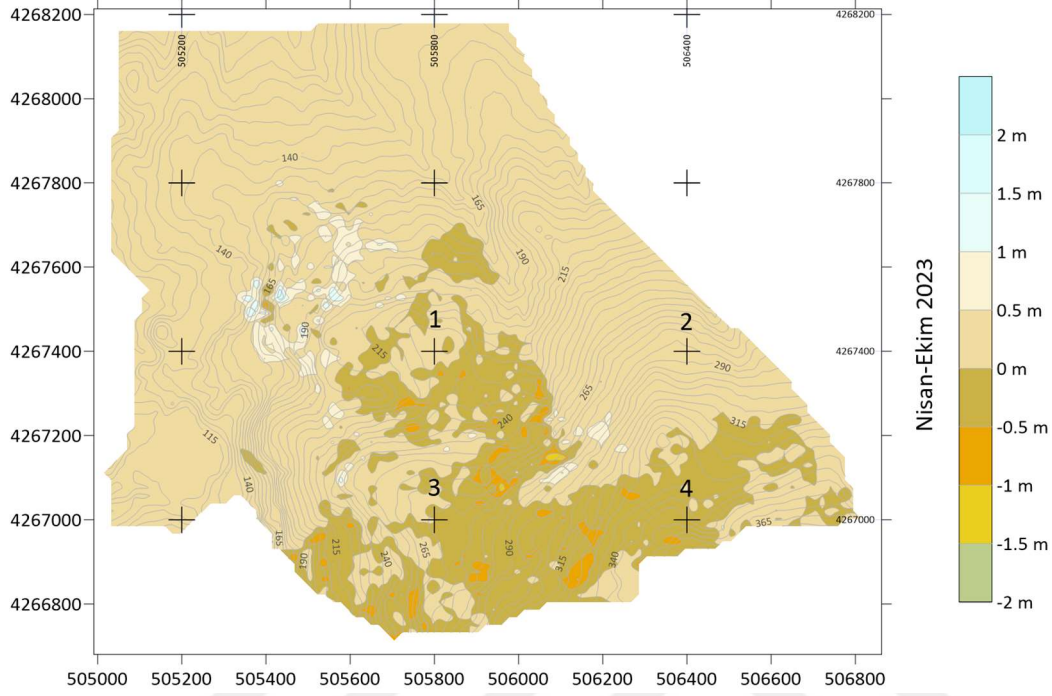


Şekil 5.27 Nisan-Eylül 2023 ayına ait deformasyon haritası.

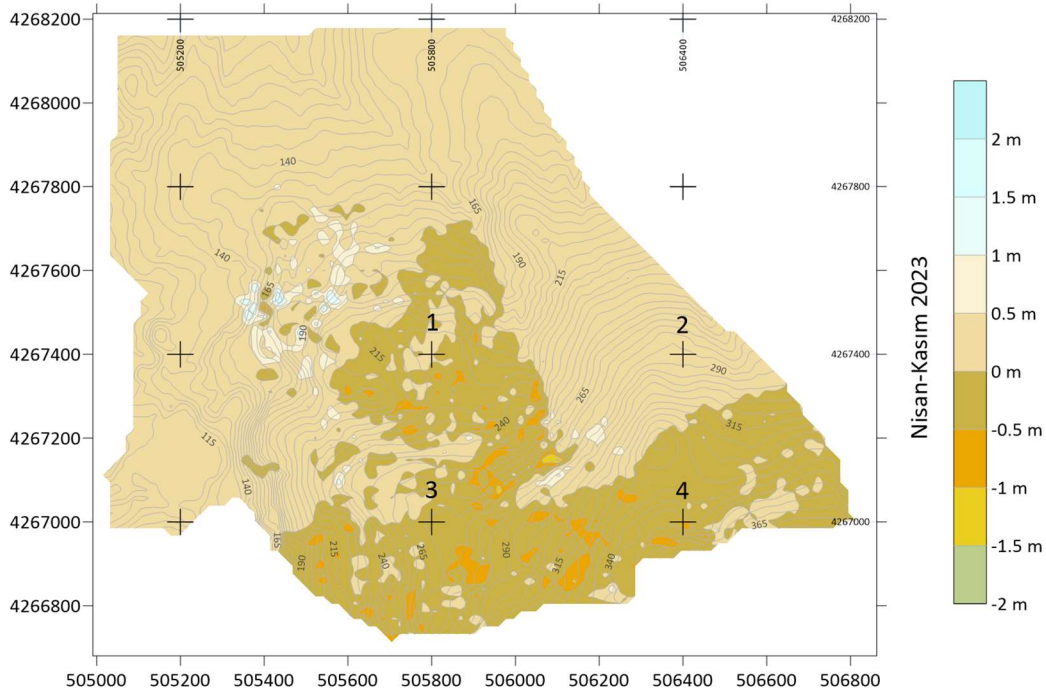
Nisan-Ekim 2023 döneminde, 1 ve 3 gridlerinin etrafında gerçekleşen çökme hareketlerinin alansal olarak küçüldüğü, 1 numaralı gridin kuzeybatısında ki kabarma hareketlerinin yükseklik miktarlarında ise artışların olduğu görülmektedir. 4 numaralı gridin kuzeybatısında ise yeni bir kabarma oluşumu gözlenmiş, gridin etrafında ki çökme hareketlerinin alanlarında ise azalma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.28).

Nisan-Kasım 2023 aylarında gerçekleşen yüzey değişimlerinde tüm bölgenin güney tarafında çökme hareketlerinin alanında artış görülmüş ve alçalma miktarları 2 m'ye

kadar ulaşmıştır. 1 numaralı gridin kuzeybatısında bulunan kabarma bölgesinde alansal büyüme görülmemiş olsa da yükselmeler 2 m'ye kadar çıkmıştır (Şekil 5.29).

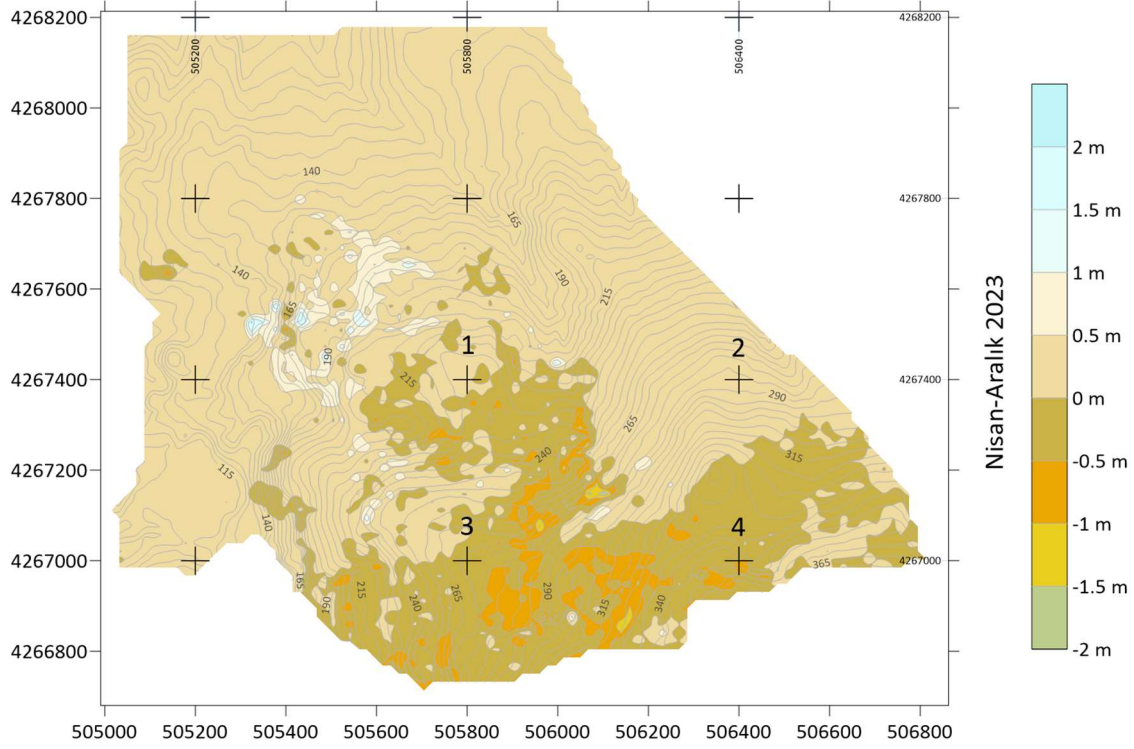


Şekil 5.28 Nisan-Ekim 2023 dönemine ait deformasyon haritası.



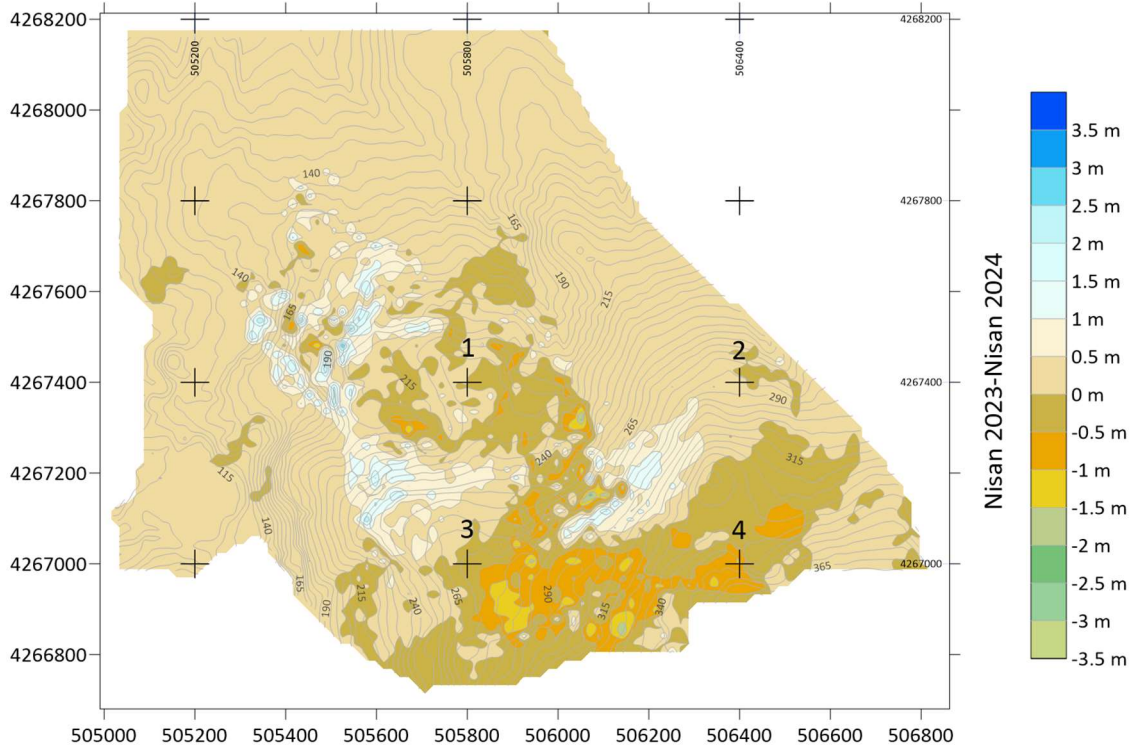
Şekil 5.29 Nisan-Kasım 2023 dönemine ait deformasyon haritası.

Nisan-Aralık 2023 dönemine ait deformasyon haritası incelendiğinde, kabarma ve çökme hareketlerinde durağanlık görülse de, 1 numaralı gridin kuzeybatısındaki kabarma hareketlerinde alansal büyüme tespit edilmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30 Nisan-Aralık 2023 dönemine ait deformasyon haritası.

Teknik sorunlar sebebiyle 2023 yılı Aralık ayından sonra ki 3 aylık periyotta uçuş yapılamamış, ancak 2024 yılı Nisan ayında yapılabilmektedir. Nisan 2023-Nisan 2024 tarihleri arasında 12 aylık periyot tamamlanmış ve son 3 aylık zaman diliminde yüzey hareketlerinde önemli ölçüde alansal büyümeler görülmüştür. 1 numaralı gridin kuzeybatısında görülen daimî kabarmalar 3 numaralı noktanın kuzeybatısındaki kabarmaların bulunduğu alan ile birleşmiş ve kabarmalar 3 numaralı gridin kuzeyine yani 1 numaralı nokta yönünde ilerlemiştir. 4 numaralı gridin kuzeybatısında görülen kabarma hareketleri ise kuzeydoğu istikametinde yani 2 numaralı grid yönünde büyümeye devam etmiştir. Bölge genelinde çökme hareketlerinde alansal olarak küçülmeler görülse de alçalma miktarlarında artış görülmektedir. 3,5 m'ye kadar çökme hareketlerinin bulunduğu 3-4 numaralı grid bölgesinde, yükselme ve alçalma hareketleri içi içe ilerlemektedir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 Nisan 2023-Nisan 2024 dönemine ait deformasyon haritası.

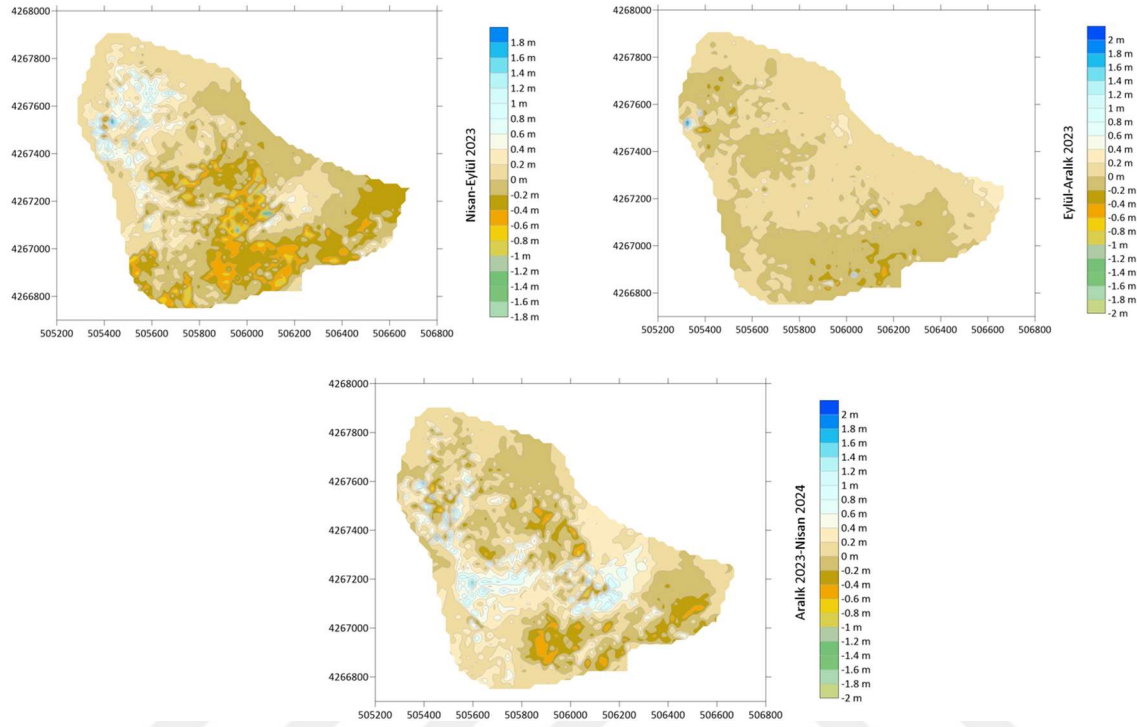
5.5.2 Mevsimsel Değişim Haritalarının Yorumlanması

Deformasyonların mevsimsel değişimlerini incelemek amacıyla, deformasyonun yoğun olduğu heyelan bölgesinde üretilen mevsimsel değişim haritaları yardımıyla yüzey hareketleri incelenmiştir.

Şekil 5.32 incelendiğinde Nisan-Eylül 2023 dönemine ait yüzey değişimlerinde, heyelan bölgesinin güneyinde çökme, kuzeybatısında ise kabarma hareketlerinin yoğunlaştığı görülmektedir. Kabarmaların görüldüğü alanın kuzeybatı yönündeki uç bölgelerinde 1,8m'ye varan yükselmeler, çökmelerin görüldüğü alanın doğusunda ise 1,8 m'ye varan alçalmalar gözlemlenmiştir.

Eylül-Aralık 2023 dönemine ait mevsimsel değişim haritasında, çökme ve kabarma hareketlerinde durağanlık görülmüş, noktasal olarak 2m civarında, kuzeybatıda kabarma, güneyde ise çökme hareketleri gerçekleşmiştir.

Aralık2023-Nisan2024 döneminde; bölge genelinde kabarma hareketlerinde ağırlıklı olarak alansal büyüme, çökme hareketlerinde ise ağırlıklı olarak alçalma miktarlarında artış görülmüştür.



Şekil 5.32 Mevsimsel değişim haritaları

Yukarıdaki yorumlarda da görüldüğü gibi bölge yüzeyinde mevsimsel değişimler meydana gelmiştir. Özellikle Eylül-Aralık 2023 ayları arasında minimum seviyede deformasyonlar görülmüştür. Ülkemizde yeraltı su seviyesi değişimleri genel olarak, yağış miktarı, sulama ve sıcaklık parametrelerine göre değişmektedir. Yukarıdaki periyotlarda yeraltı su seviyelerindeki değişimin en yüksek olduğu dönem olan Nisan-Eylül 2023 ve Aralık 2023-Nisan 2024 aylarında maksimum değişim gözlenmiştir.

3 ayrı dönemi kapsayan mevsimsel değişim haritaları yüzey deformasyonlarının periyotları hakkında bilgi vermiş olsa da ölçüm tarihleri tam mevsimsel dönemlerde yapılmadığı ve bölgede ki yeraltı su seviyeleri yoğun heyelanlar nedeniyle takip edilemediği için bu sonuçlar mevsimsel döngüler ile ilişkilendirilememiştir. Bu süreçteki temel sebebin bölgedeki deformasyonun homojen olmamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

5.5.3 GNSS Ölçüm Noktalarının Değerlendirilmesi

Heyelan bölgesindeki yüzey hareketlerinin takip edilmesi amacıyla bölgeye, 24 adet GNSS ölçüm noktasından oluşan jeodezik ağ tesis edilmiştir. Tesis edilen ve ölçümlerine başlanan noktalardan 17 numaralı nokta, heyelan sebebiyle toprak altında kalmış, 13 numaralı nokta ise çevre etkisiyle tahrip edilmiş ve bu sebeplerden dolayı ölçümleri tamamlanamamıştır.

Ölçümleri yapılan GNSS noktaları, ölçüm yapıldığı aya ait, İHA yöntemi ile üretilen SAM ve ortofoto üzerinde işaretlenmiştir. İşaretleme işlemi tesis yerleri belirgin olan (ENH direk betonlarında, YKN üzerinde vb.) ve ortofoto üzerinde net gözüken noktalarda yapılmıştır (Resim 5.9). Ortofoto üzerinde işaretlenen noktalara SAM üzerinden kot okuması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yatay ve düşey koordinatlar, GNSS ölçümleri ile karşılaştırılmış, karşılaştırma sonucunda x, y eksenlerindeki maksimum fark ± 8 cm, z ekseninde ise maksimum fark ± 19 cm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5.4). Elde edilen farkların kabul edilebilir doğrulukta olduğu görülmüştür.



Resim 5.9 Ortofoto üzerinde işaretlenen GNSS ölçüm noktalarına örnek.

Çizelge 5.4 GNSS ölçüm noktalarının ortofotolar ile karşılaştırılması.

Nisan 2023				Mayıs 2023				Haziran 2023			
NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)	NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)	NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)
B1	0.00	-0.01	0.00	C1	0.04	-0.01	-0.04	D1	-0.01	0.04	-0.08
B4	-0.01	0.00	0.04	C2	-0.01	0.02	-0.11	D2	0.00	0.01	-0.04
B12	0.03	0.05	-0.12	C3	0.00	0.02	-0.11	D3	-0.02	0.05	-0.16
B15	0.01	-0.05	-0.05	C4	-0.03	0.05	-0.09	D4	-0.03	0.01	-0.01
B16	-0.05	0.04	0.05	C9	0.07	0.02	-0.19	D9	0.03	0.02	0.03
B18	0.02	-0.03	0.06	C10	-0.09	0.05	-0.04	D10	0.02	0.04	-0.06
B19	0.00	-0.03	0.01	C13	-0.04	-0.01	0.03	D11	-0.04	-0.05	0.06
B20	0.00	0.00	0.03	C15	0.02	0.01	-0.05	D13	-0.03	-0.07	0.09
B21	0.00	0.01	-0.02	C16	0.00	0.01	0.04	D15	-0.04	-0.02	-0.10
B22	-0.01	0.03	0.01	C19	0.02	-0.04	0.07	D16	-0.03	0.06	0.04
B23	0.00	0.02	-0.01	C20	-0.01	0.04	0.04	D19	0.00	0.00	0.06
B26	0.03	0.03	0.03	C22	-0.03	0.02	-0.01	D20	0.00	0.04	0.05
								D22	0.00	0.02	-0.02
								D23	0.00	0.03	0.02
								D24	0.00	0.01	0.07
								D26	0.02	0.02	0.02

Çizelge 5.4 (Devam) GNSS ölçüm noktalarının ortofotolar ile karşılaştırılması.

Temmuz 2023				Kasım 2023				Aralık 2023			
NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)	NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)	NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)
E1	-0.02	-0.04	0.01	F1	-0.02	0.02	0.00	G1	0.02	-0.01	0.01
E2	-0.03	-0.01	0.01	F2	-0.03	-0.02	-0.06	G2	-0.03	0.01	0.02
E3	-0.03	0.04	-0.02	F3	-0.01	0.02	-0.14	G3	-0.01	0.01	-0.01
E4	-0.03	0.03	-0.05	F4	-0.07	0.00	-0.18	G4	-0.01	0.00	0.13
E9	0.02	-0.03	-0.03	F9	-0.02	-0.03	0.02	G9	0.01	-0.03	0.14
E10	-0.02	0.02	0.03	F10	-0.03	0.01	-0.06	G10	0.03	0.04	0.01
E11	-0.04	0.02	-0.01	F11	-0.01	-0.01	0.02	G11	0.02	-0.02	0.11
E13	-0.02	-0.03	0.06	F15	-0.02	-0.01	-0.06	G15	0.01	-0.04	-0.03
E15	0.01	-0.02	-0.10	F16	0.00	0.05	-0.08	G16	-0.01	0.01	0.00
E16	0.01	-0.02	0.05	F19	-0.02	0.00	0.01	G19	0.01	-0.02	0.04
E19	0.02	-0.01	0.05	F20	0.00	-0.01	-0.13	G20	-0.02	-0.04	0.00
E20	0.00	0.02	0.00	F22	-0.06	0.03	-0.19	G21	0.03	0.04	0.01
E22	-0.01	0.01	-0.04	F23	-0.05	0.01	-0.04	G22	-0.01	-0.01	-0.09
E23	0.02	-0.04	-0.05								
E24	-0.01	0.00	0.00								
E26	0.03	0.02	-0.02								

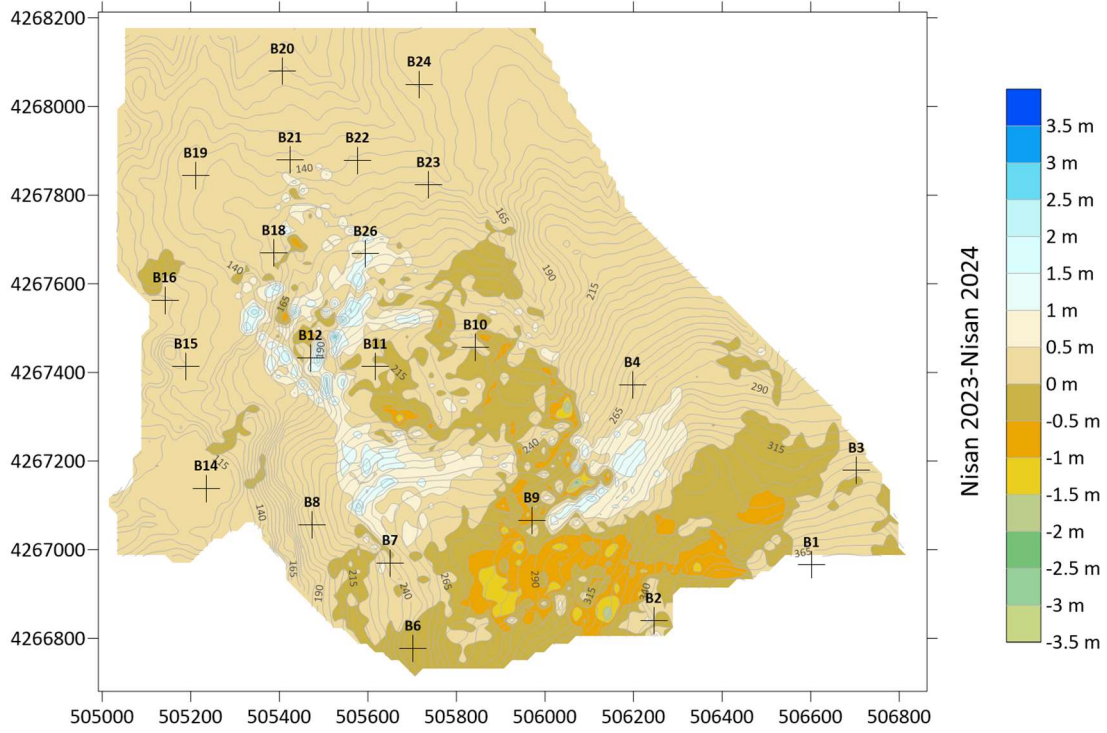
Çizelge 5.4 (Devam) GNSS ölçüm noktalarının ortofotolar ile karşılaştırılması.

Nisan 2024			
NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)
H2	0.00	0.00	0.05
H9	0.03	0.00	-0.06
H15	0.00	0.01	-0.05
H16	-0.01	0.00	-0.02
H22	0.00	-0.01	0.04
H23	0.00	0.00	0.00

GNSS ölçümlerinden elde edilen koordinatlar, ölçüm dönemleri baz alınarak farkları alınmış ve noktaların deformasyon grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerde 2023 yılı Nisan ayı ölçümü başlangıç kabul edilmiş ve diğer dönemler ile arasındaki farklar hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde yatay ve düşey farklar 1, 2, 3, 4, 6, 8, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24 noktalarında ± 10 cm aralığında ve 21, 23 noktalarında ± 15 cm aralığında hesaplanmıştır (Çizelge 5.5). Bu noktalarda ki değişimin diğer noktalara göre minimum olmasından dolayı analize dahil edilmemiştir. Ek olarak 13 ve 17 numaralı noktalar ise ölçümleri tamamlanamadığı için dahil edilmemiştir (Şekil 5.33).

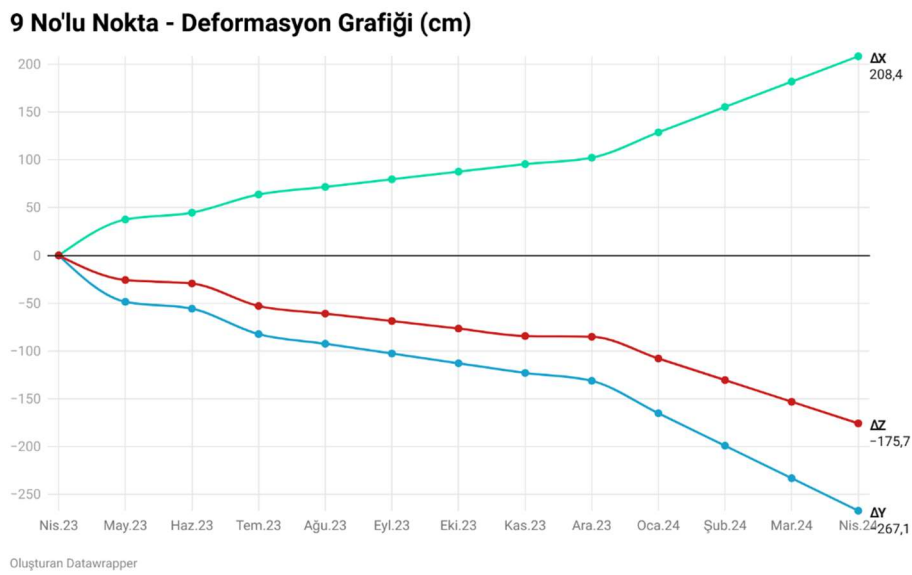
Çizelge 5.5 Minimum değişim gösteren GNSS ölçüm noktaları.

Nisan 2023-Nisan 2024			
NN	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)
B1	0.00	0.00	0.04
B2	-0.01	0.02	0.08
B3	-0.03	0.01	0.08
B4	0.00	0.01	0.05
B6	-0.08	0.00	0.00
B8	0.00	0.01	0.05
B14	0.01	0.00	0.07
B15	0.01	0.01	0.07
B16	0.00	0.00	0.04
B18	0.00	0.00	0.05
B19	0.01	-0.01	0.05
B20	0.00	-0.01	0.06
B21	-0.03	0.10	0.06
B22	0.01	0.00	0.14
B23	0.02	0.00	0.04
B24	0.01	0.00	0.02



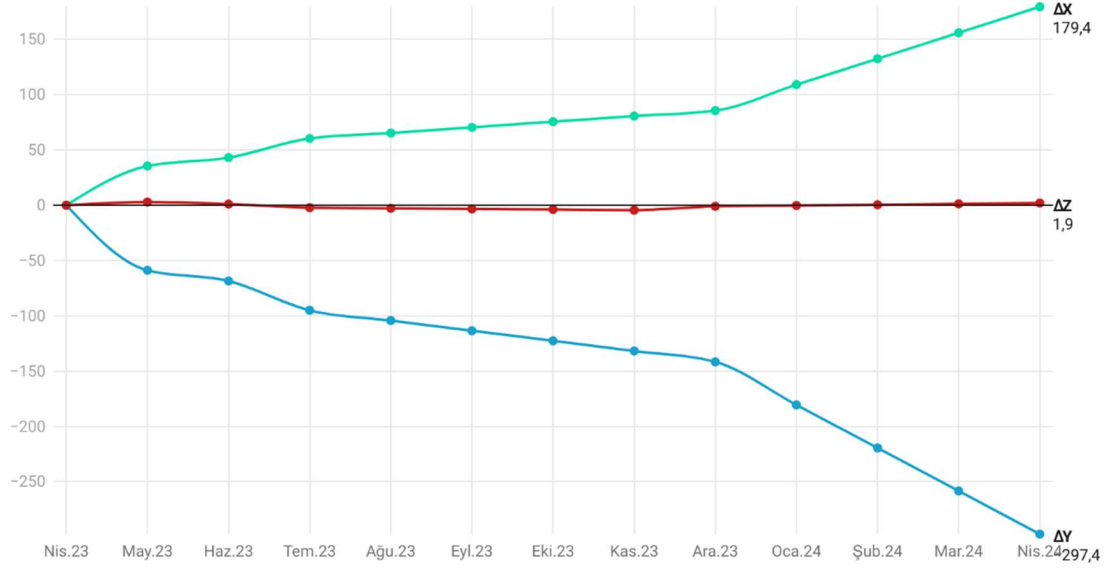
Şekil 5.33 Deformasyon haritası üzerinde GNSS ölçüm noktalarının gösterimi.

Yatay ve düşey yöndeki değişimlerin maksimum olduğu 7,9,10,11,12 ve 26 numaralı ölçüm noktaları üzerinden yorumlama yapılmıştır. 9 numaralı GNSS ölçüm noktası incelendiğinde, noktanın 2,08 m kuzey yönde, 2,67 m batı yönde hareket ettiği ve 1,75 m çöktüğü görülmüştür (Şekil 5.34).



Şekil 5.34 9 no'lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.

10 No'lu Nokta - Deformasyon Grafiği (cm)

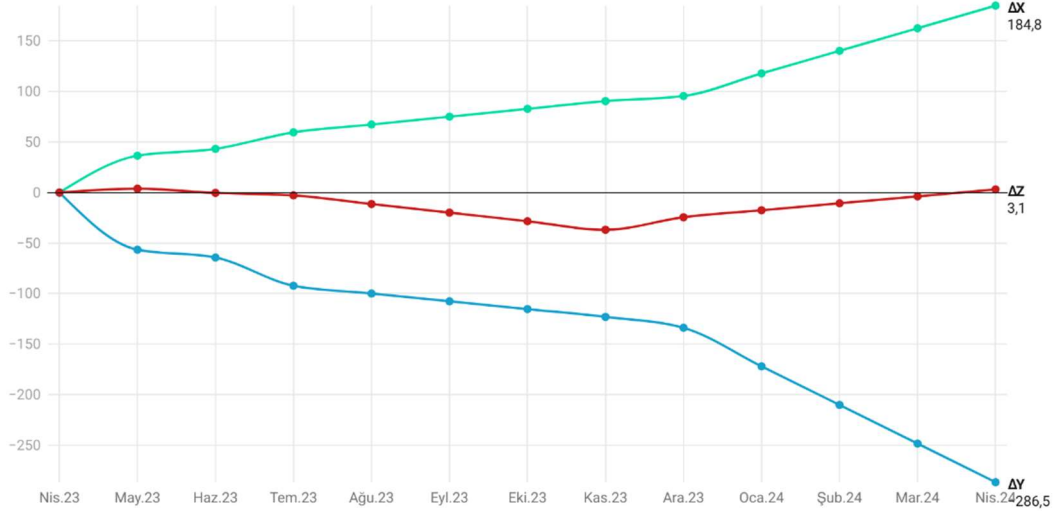


Oluşturan Datawrapper

Şekil 5.35 10 no'lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.

10 numaralı GNSS ölçüm noktasının 1,79 m kuzeye, 2,97 m batıya hareket ettiği ve 0,19 m yükseldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.35). 11 no'lu GNSS ölçüm noktası incelendiğinde, noktanın yatayda 1,84 m kuzeye, 2,86 m batıya hareket ettiği ve 0,31 m yükseldiği tespit edilmiştir (Şekil 5.36).

11 No'lu Nokta - Deformasyon Grafiği (cm)

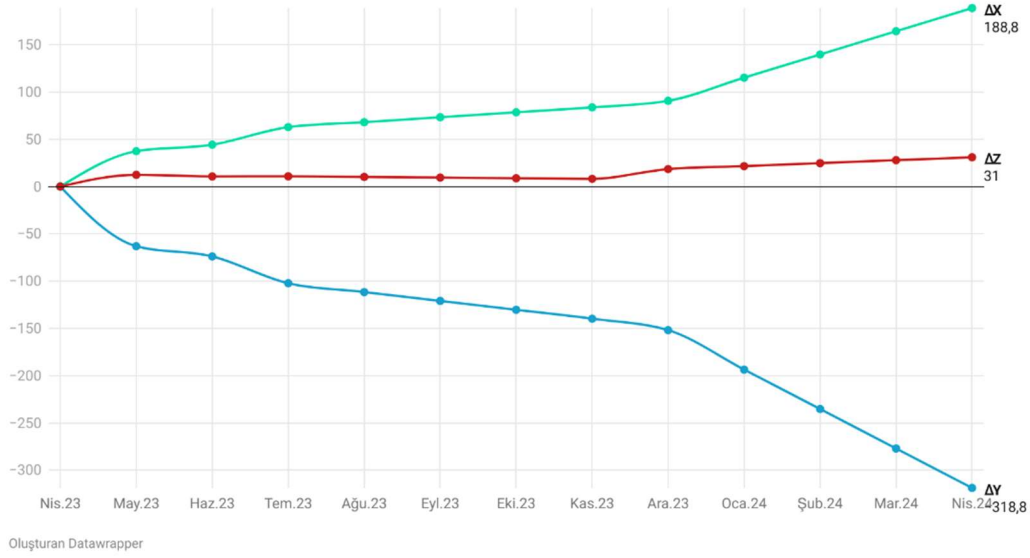


Oluşturan Datawrapper

Şekil 5.36 11 no'lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.

12 no'lu GNSS ölçüm noktasının, 1,88 m kuzey yönde, 3,18m batı yönde hareket ettiği ve 0,31 m yükseldiği görülmüştür (Şekil 5.38).

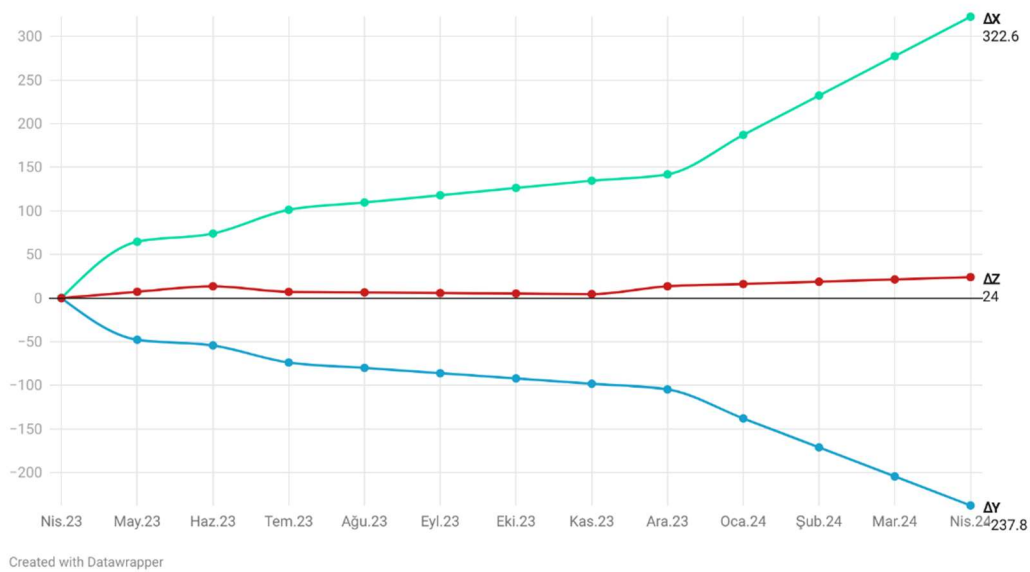
12 No'lu Nokta - Deformasyon Grafiği (cm)



Şekil 5.37 12 no'lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.

26 numaralı GNSS ölçüm noktası incelendiğinde, 3,22 m kuzeye, 2,37 m batıya hareket ettiği ve 0,24 m yükseldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.38).

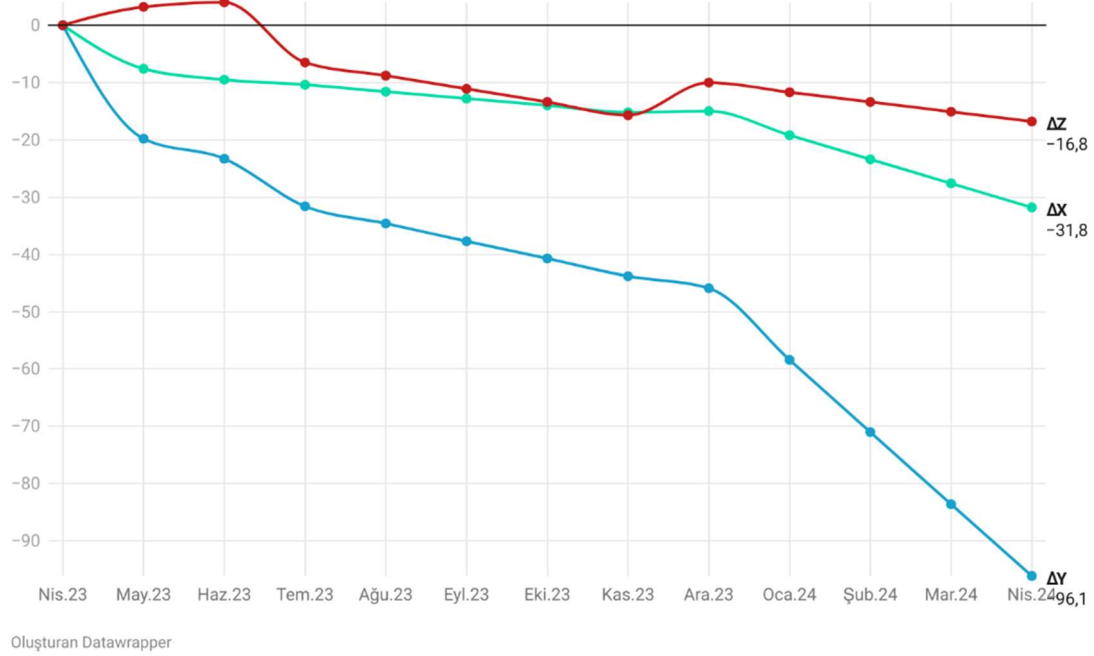
26 No'lu Nokta - Deformasyon Grafiği (cm)



Şekil 5.38 26 no'lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.

7 numaralı noktanın ölçümleri ele alındığında, noktanın 0,31 m güneye, 0,96 m batıya hareket ettiği ve 0,16 m çöktüğü görülmüştür (Şekil 5.39).

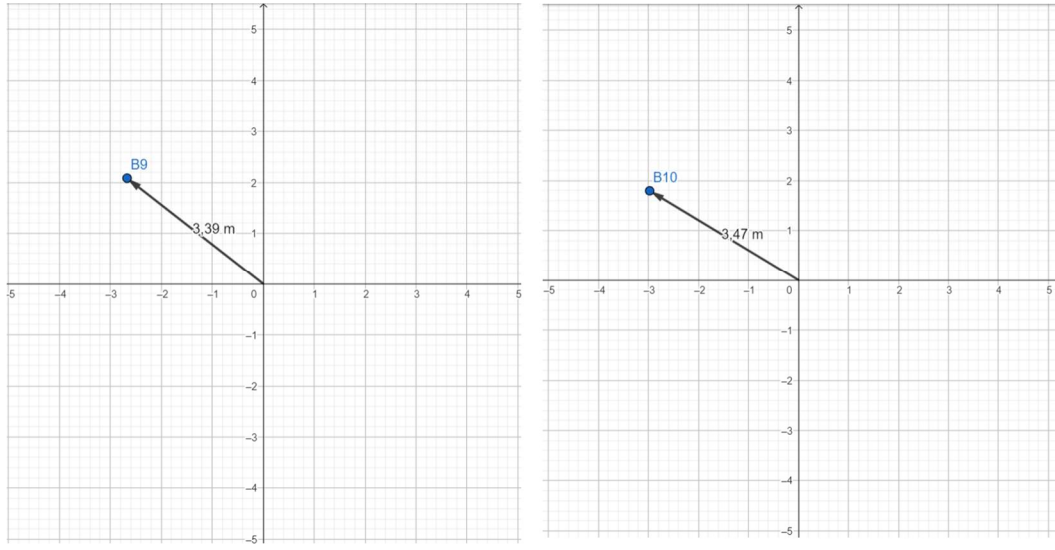
7 No'lu Nokta - Deformasyon Grafiği (cm)



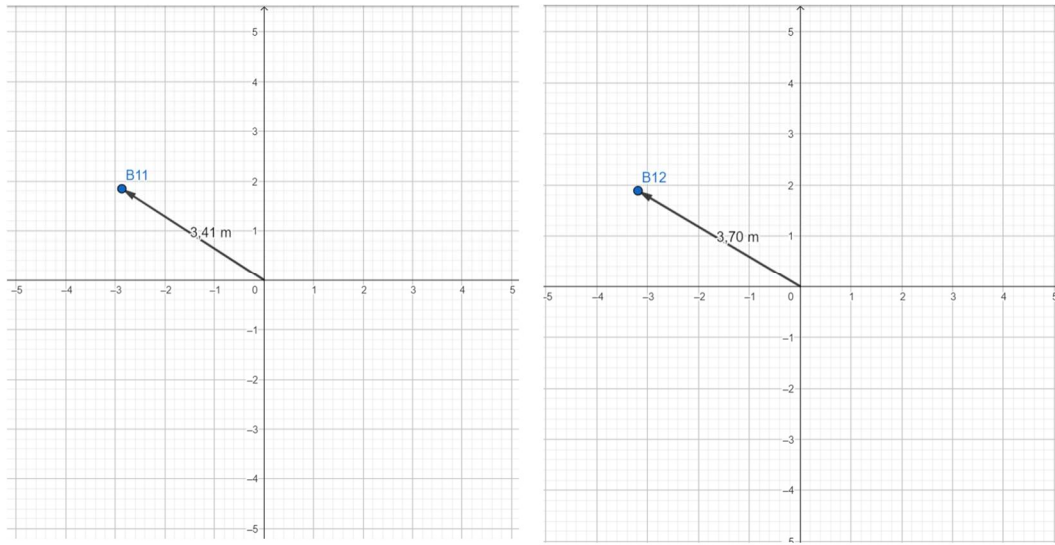
Şekil 5.39 7 no'lu GNSS ölçüm noktasının deformasyon grafiği.

Heyelan bölgesindeki yüzey değişimlerinin yatay eksenlerdeki deformasyon hızını ve yönünü hesaplamak için 7, 9, 10, 11, 12 ve 26 numaralı GNSS noktalarının yatay eksenlerdeki farklarından yararlanarak vektör büyüklüğü ve yönü hesaplanmıştır. 9 ve 10 numaralı noktalar incelendiğinde, x eksenlerindeki değerlerin pozitif, y eksenlerindeki değerlerin negatif yönlü olması vektör yönünün kuzeybatı olduğunu göstermektedir. Bununla beraber vektör büyüklükleri dahil edildiğinde, 9 noktasının 3,39 m kuzeybatı, 10 noktasının 3,47 m kuzeybatı yönünde hareket ettiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.40).

11 ve 12 numaralı noktalar incelendiğinde, x eksenlerinin pozitif, y eksenlerinin ise negatif olması kuzeybatı yönünde bir hareketin olduğunu, vektör büyüklükleri dahil edildiğinde ise 11 noktasının 3,41 m kuzeybatı, 12 noktasının 3,70 m kuzeybatı yönünde hareket ettiği sonucu çıkarılmıştır (Şekil 5.41).

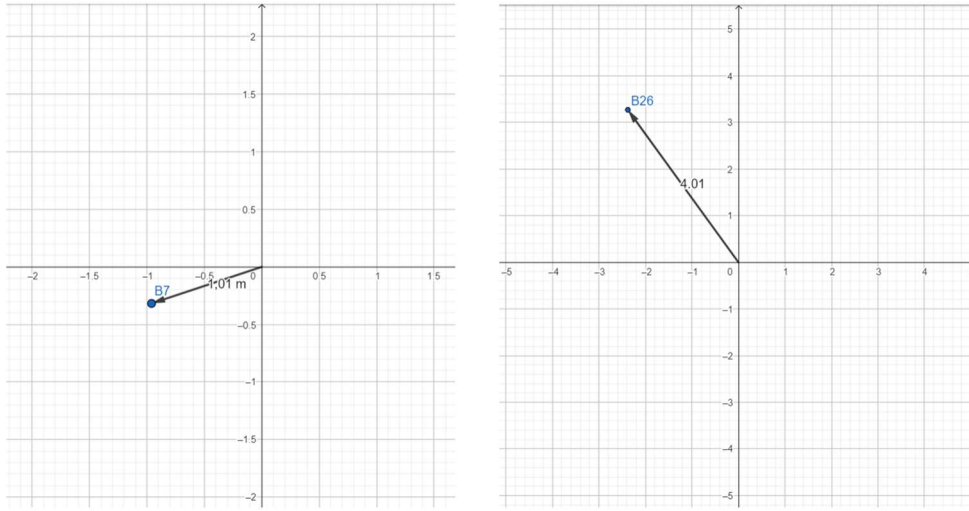


Şekil 5.40 9 ve 10 numaralı noktaların vektör büyüklüğü ve yönü.



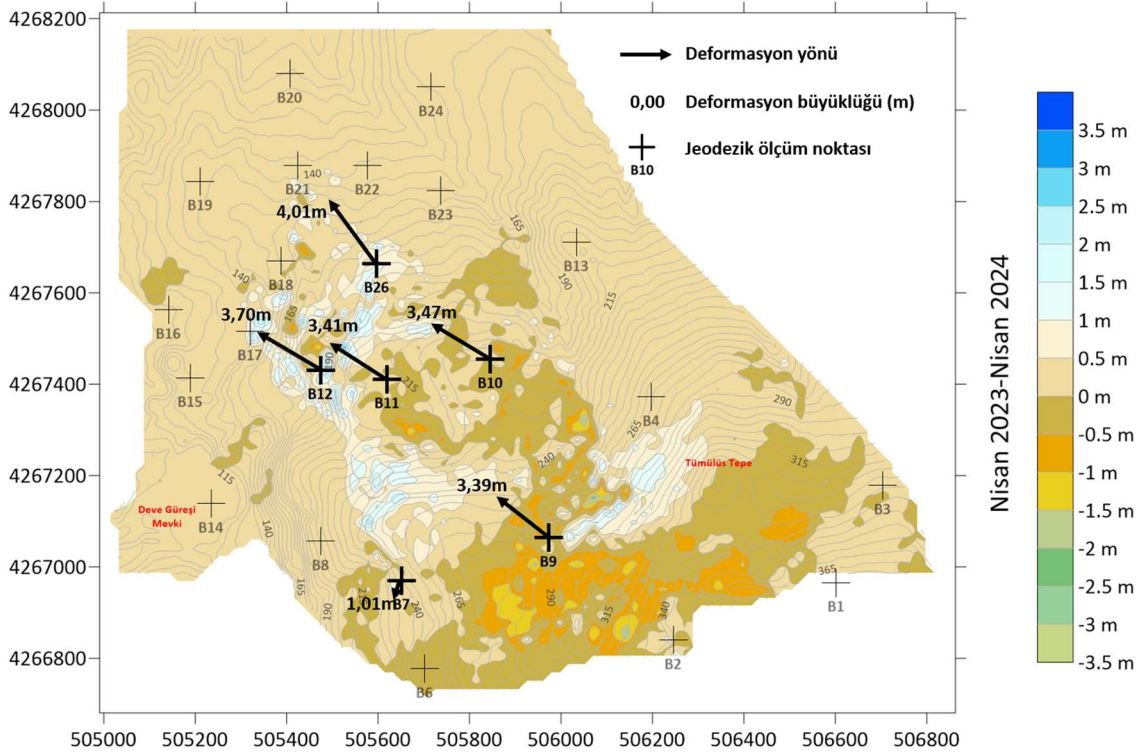
Şekil 5.41 11 ve 12 numaralı noktaların vektör büyüklüğü ve yönü.

7 ve 26 numaralı noktalar değerlendirildiğinde, 7 noktasının vektör yönünün 26 noktasından ve Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de gösterilen diğer noktalardan farklı olduğu görülmektedir. x ve y eksenlerinin negatif olması güneybatı yönünde bir hareketin olduğunu, 26 noktasında ise x ekseninin pozitif, y ekseninin negatif olması kuzeybatı yönünde bir hareketin olduğunu göstermektedir. Vektör yönleri dahil edildiğinde 7 noktasının 1,01 m güneybatı/batı, 26 noktasının 4,01 m kuzeybatı yönünde hareket ettiği tespiti edilmiştir (Şekil 5.42).



Şekil 5.42 7 ve 26 numaralı noktaların vektör büyüklüğü ve yönü.

Vektör yön ve büyüklükleri Nisan 2023-Nisan 2024 dönemine ait deformasyon haritası üzerinde gösterildiğinde, bölgede kuzeybatı yönünde bir yatay hareketin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Sadece B7 noktası güneybatı/batı yönlü bir hareket gerçekleştirmektedir. Düşey yönde gerçekleşen hareketlerin alansal olarak yine kuzeybatı yönünde büyüme gösterdiği ilişkilendirilmiştir (Şekil 5.43).



Şekil 5.43 GNSS ölçüm noktalarının vektör yönlerinin deformasyon haritası üzerinde gösterimi.

Çizelge 5.6 Deformasyon haritaları ile GNSS deformasyon ölçümlerinin düşey farkları.

Deformasyon Haritaları ile GNSS Deformasyon Ölçümü Farkları (cm)						
	Nisan-Mayıs 2023	Nisan- Haziran 2023	Nisan- Temmuz 2023	Nisan- Kasım 2023	Nisan- Aralık 2023	Nisan2023 Nisan2024
B2	6.0	28.8	30.3	13.6	15.5	16.5
B3	8.1	10.8	8.2	9.4	3.4	15.6
B4	19.1	18.8	15.8	30.5	25.4	12.8
B6	10.4	3.0	-14.2	-6.3	-17.6	-7.3
B7	5.8	8.2	-0.5	3.7	2.0	24.4
B8	12.0	12.6	18.6	19.2	12.7	15.2
B9	74.7	65.1	13.9	35.3	20.1	123.8
B10	0.5	14.0	13.6	9.7	16.0	187.7
B11	8.1	26.8	19.2	42.9	34.5	19.6
B12	1.5	17.5	21.5	31.8	27.5	74.2
B13	8.8	0.6	4.1			
B14	2.7	17.6	10.2	12.2	9.9	8.9
B15	6.1	11.5	7.9	6.0	0.9	15.2
B16	-3.1	17.2	6.6	5.5	5.3	15.9
B17	-3.3	5.5	1.1			
B18	15.0	9.5	4.7	5.7	0.2	15.4
B19	-0.1	5.9	2.7	4.1	1.9	17.5
B20	1.4	19.8	18.9	11.1	0.9	19.9
B21	-3.6	0.2	2.2	-0.7	4.4	16.2
B22	-0.2	7.0	12.5	11.0	11.8	21.2
B23	14.4	7.8	9.5	12.4	8.4	26.9
B24	22.7	4.9	21.3	19.0	9.0	7.9
B26	28.8	52.5	63.2	25.1	60.4	93.8

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamındaki çalışma, aktif bir heyelan bölgesinin İHA ve GNSS sistemleriyle yüzey değişimlerinin izlenmesi amacıyla yapılmıştır. Söz konusu çalışma bölgesi İzmir İli Çiğli İlçesi'ne bağlı Harmandalı Mahallesi Mevkii'nde, İzmir Körfezi'nin kuzeyinde ve Çiğli İlçesi'nin kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Zemin yapısı sebebiyle heyelana duyarlı olan bölgede, 30 Ekim 2020 tarihinde Sisam Adası'nda gerçekleşen ve İzmir'de de etkisi görülen Mw:6.9 büyüklüğünde ki deprem heyelan hareketini tetiklemiş ve yüzey değişimleri hız kazanmıştır. Deprem öncesi ve sonrasında birçok yersel çalışma yapılmış fakat bu çalışmalar deformasyonun fazla olması nedeniyle süreklilik gösterememiştir.

Geçmiş çalışmalar sonucunda bölgedeki yüzey değişimlerinin 528 258,77 m²'lik (52 ha) büyük bir alana sahip olması ve daha büyük alanları etkisi altına alma durumunun bulunması, nokta bazlı yapılacak yersel çalışmaya ek olarak fotogrametrik yöntemlerle de desteklemek gerektiği uygun görülmüştür. Bu yüzden GNSS sisteminin yanında, İHA sistemlerinin büyük alanlarda hızlı şekilde yüzey modeli üretme imkânı sağlaması, heyelan aktivitesinin izlenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada kullanılmasının en önemli etkeni olmuştur. Bu kapsamda İHA sistemleri kullanılarak üretilen üç boyutlu yüzey modelleri değerlendirilerek düşey yönde (yükselme, alçalma) gerçekleşen deformasyonların alansal büyüklükleri analiz edilmiştir. GNSS ölçümleri ile elde edilen veriler kullanılarak yatay yönde (x, y eksenleri) gerçekleşen deformasyonların analizi yapılmıştır. Aynı zamanda GNSS verileri ile deformasyonun yönü ve hızı hakkında bilgi elde edilmiştir.

İlk aşamada heyelan etkisinin görüldüğü ve büyüme ihtimalinin olduğu bölgeler göz önünde bulundurularak 301 ha alana sahip bir çalışma alanı belirlenmiştir. Çalışma alanında atık depolama tesisi bulunduğu ve aktif olarak depolama yapıldığı için bu bölge çalışma alanından çıkartılmış ve heyelan aktivitesi takip edilmiştir. Başka bir kapsamda, heyelanın depolama sahasına etkisi ya da depolama sahasının heyelana etkisi gibi, yapılacak muhtemel çalışmalara envanter olması amacıyla depolama alanı uçuş alanından çıkartılmamıştır. Sonuç olarak 301 ha uçuş alanı, 181 ha çalışma alanı belirlenmiştir. Uçuş periyotlarının, veri yoğunluğu ve işleme süresi ele alındığında, aylık olarak

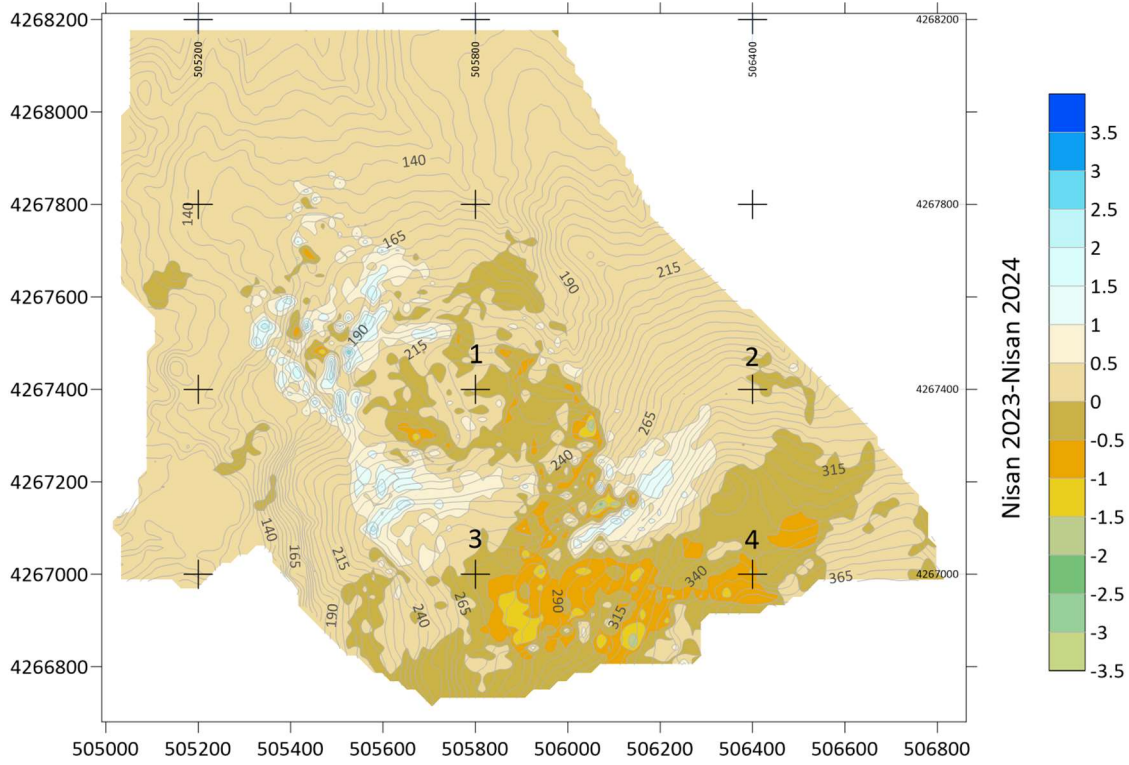
yapılması uygun görülmüştür. Uçuşlar ile GNSS ölçümleri arasında zaman farkı olmaması için aynı gün içerisinde ölçüm yapılması planlanmıştır.

Hazırlanan plan doğrultusunda uçuş planı hazırlanmış ve çalışma hassasiyetinin artırılması amacıyla uçuş alanına toplamda 20 adet YKN, GNSS ölçümleri için çalışma alanına 24 adet GNSS ölçüm noktası tesis edilmiştir. Bu noktaların ölçümlerinin tamamında CORS-RTK sistemi kullanılmıştır. Çizelge 5.1’de gösterildiği üzere 2023 yılı Ağustos ayı ve 2024 yılı Ocak, Şubat, Mart aylarında fotogrametrik uçuş, 2023 yılı Ağustos, Eylül, Ekim ve 2024 yılı Ocak, Şubat, Mart aylarında GNSS ölçümleri yapılamamıştır. Gerçekleştirilen İHA uçuşları sonrasında elde edilen görüntüler 3D Survey Yazılımı’nda değerlendirilerek dengeleme işlemi yapılmıştır. Dengeleme işlemi sonucunda ortofoto ve SYM, sonrasında ise Global Mapper Yazılımı kullanılarak SAM üretilmiştir. Elde edilen SAM üzerinden 2m nokta aralığında yükseklik gridleri oluşturulmuş ve bu gridler Golden Software Surfer Yazılımı’nda değerlendirilerek eğri yüzeyleri oluşturulmuştur. Her bir uçuş periyotlarından elde edilen bu eğri yüzeyleri kullanılarak deformasyon ve mevsimsel değişim haritaları üretilmiştir. Heyelan bölgesinde ki 12 aylık periyotta gerçekleşen düşey yönlü hareketlerin, alansal analizi için deformasyon haritaları, mevsimler değişimlerin analizi için mevsimsel değişim haritaları hazırlanmıştır.

Deformasyon haritalarının hazırlanması aşamasında, 2023 yılı Nisan ayına ait eğri yüzeyi referans kabul edilip, ardından gelen her bir periyodun eğri yüzeyinden bu referans yüzeyi çıkartılarak Şekil 5.18’de gösterildiği gibi eğri yüzeyleri oluşturulmuştur. Benzer yöntem kullanılarak Şekil 5.21’de gösterildiği gibi mevsimsel değişim haritaları üretilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda; Nisan-Mayıs 2023, Nisan-Haziran 2023, Nisan-Temmuz 2023, Nisan-Kasım 2023, Nisan-Aralık 2023 ve Nisan 2023-Nisan 2024 dönemlerine ait deformasyon haritaları, Nisan-Eylül 2023, Eylül-Aralık 2023 ve Aralık 2023-Nisan 2024 dönemlerine ait mevsimsel değişim haritaları üretilmiştir.

Dönemlere ait deformasyon haritaları ele alındığında düşey yönlü değişimlerde, alansal büyümeler tespit edilmiş ve 12 aylık periyodun tamamlanmasıyla bu büyümeler net olarak gözlemlenmiştir. Son periyota ait Nisan 2023-Nisan 2024 dönemi deformasyon

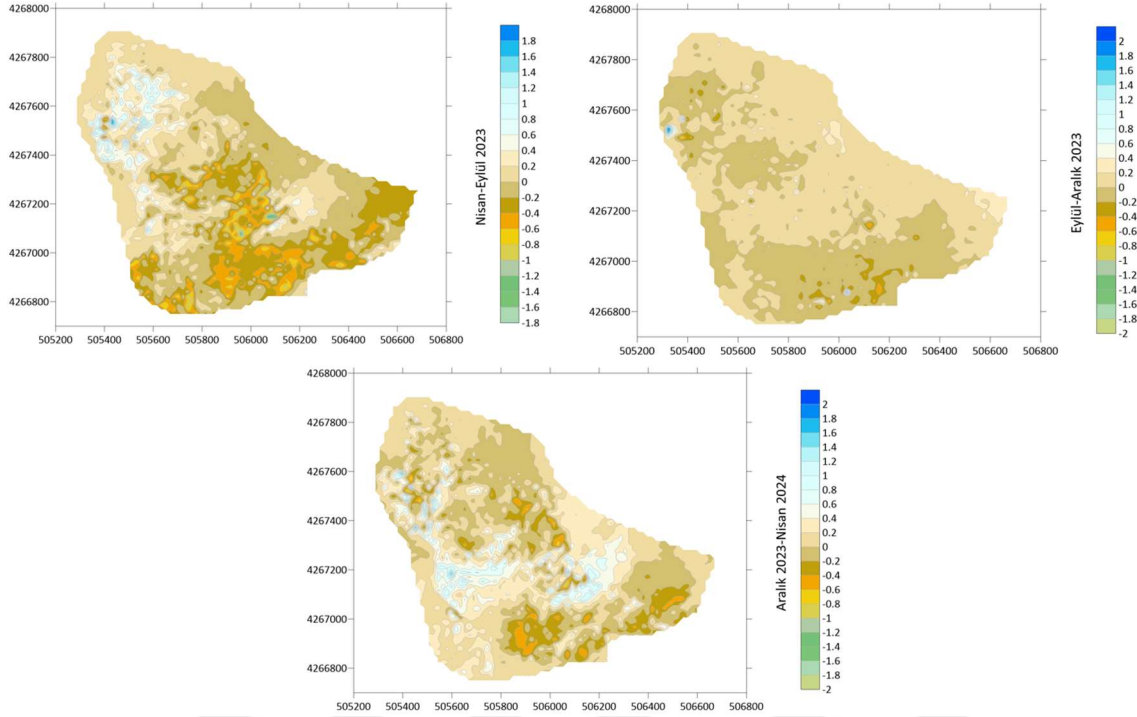
haritası ele alındığında, çökme hareketlerinin daha çok bölgenin güneyinde yoğunlaştığı, doğu ve kuzey yönünde ise alansal büyüme eğiliminde olduğu görülmüştür. Bunun neticesinde alçalma hareketi sergileyen kütlelerin eğim yönü boyunca akması sonucunda kuzeybatı/batı ve bölgenin gerisinden kuzeydoğu istikametine doğru alansal büyüme hareketi sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Son periyota ait Nisan 2023-Nisan 2024 dönemi deformasyon haritası.

Mevsimsel deformasyonların analizi için yüzey değişimlerinin yoğun olduğu heyelan bölgesinde üretilen mevsimsel değişim haritaları incelenmiştir. Şekil 6.2’de görüldüğü üzere Eylül-Aralık 2023 aylarındaki deformasyon miktarları en az seviyededir. Yağış miktarı, sulama ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak yer altı su seviyelerindeki değişimin en yüksek olduğu dönemler olan Nisan-Eylül 2023 ve Aralık 2023-Nisan 2024 aylarında yüzey değişimlerinde artış görülmektedir. Mevsimsel değişim haritaları yüzey deformasyonlarının periyotları hakkında bilgi vermiş olsa da ölçümlerin mevsim dönemlerinde yapılmamış olmasından dolayı mevsimsel döngüler ile ilişkilendirilememiştir. Bu süreçteki en temel faktörün deformasyonların homojen

olmaması olarak görülmüştür. Ayrıca yer altı su seviyelerinin yoğun heyelanlar sebebiyle ölçülememesi bu konudaki bir başka neden olarak değerlendirilebilir.



Şekil 6.2 Periyotlar arasında 3 ayrı döneme ait mevsimsel değişim haritaları.

Bölgeye tesis edilen GNSS ölçüm noktalarından elde edilen veriler değerlendirilmeden önce ölçümlerde standart sapma değerleri kontrol edilmiş ve Çizelge 5.3'te detaylandırılmıştır. Değerler incelendiğinde sapmaların yatayda (x, y ekseninde) 0,025 m'nin, düşeyde ise 0,024 m'nin altında olduğu görülmüştür. GNSS verileri ilk olarak ortofoto ve SYM ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan GNSS noktaları ortofoto üzerinde işaretlenmiş ve SYM üzerinden kot değeri atanmıştır. Bu değerler CORS-RTK ölçüm verileri ile karşılaştırılmış ve Çizelge 5.4'te detaylandırılmıştır. Değerlendirme sonucunda x, y eksenlerindeki maksimum fark ± 8 cm, z ekseninde ise maksimum fark ± 19 cm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen farkların kabul edilebilir doğrulukta olduğu görülmüştür.

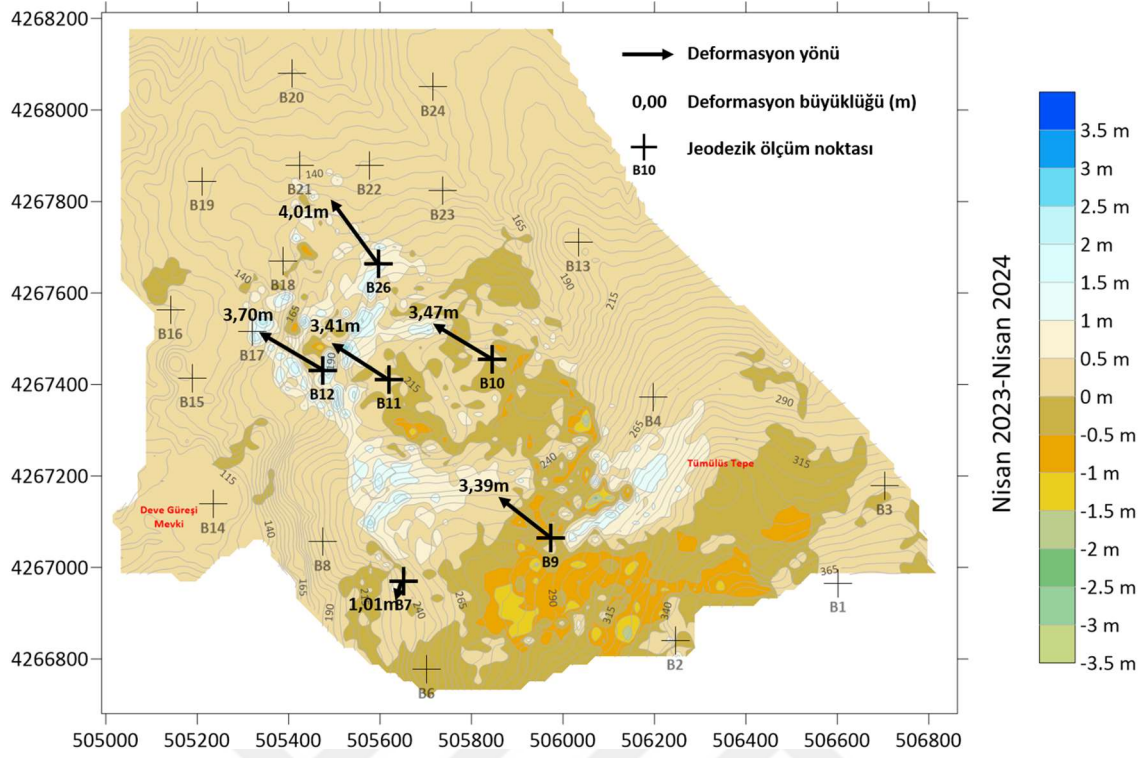
GNSS ölçüm noktalarının deformasyon sonuçları ile İHA kullanılarak elde edilen deformasyon haritaları karşılaştırılmıştır. Genel anlamda yatay yöndeki deformasyonların her iki veride de benzer olmasına karşın düşey yönde (yükselme,

alçalma) gerçekleşen deformasyon büyüklüklerinde farklılık görülmektedir. Çizelge 5.6'da detaylandırılan farkların kabul edilebilir bir doğrulukta olmadığı görülmüştür. Bu farklılığın temel sebepleri, bölgedeki deformasyonun homojen olmaması, uçuş dönemlerindeki mevsim farklarının ve bitki örtüsündeki değişimlerin SAM yüzeylerini etkilemesi olarak tespit edilmiştir.

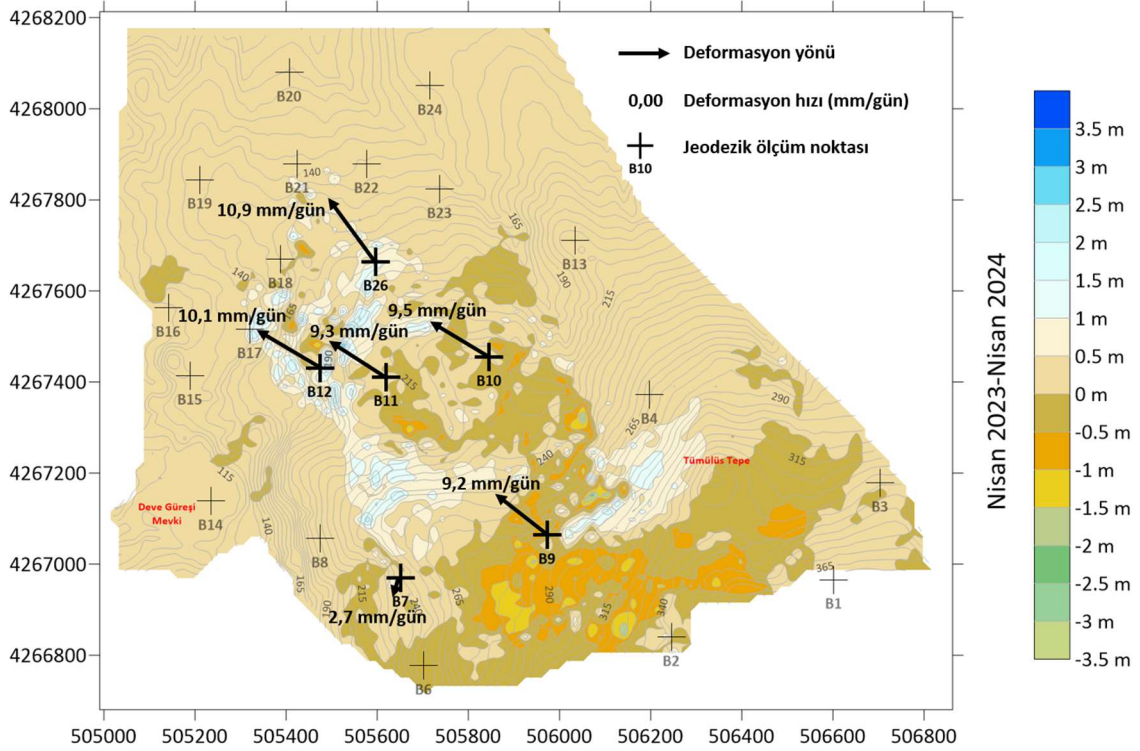
Yüzey modellerinde yapılan çalışmanın benzeri GNSS ölçümleri içinde yapılmıştır. Periyotlar arasındaki farklar hesaplanarak Şekil 5.23'te gösterildiği gibi deformasyon grafikleri oluşturulmuştur. Grafikler incelendiğinde yatay ve düşey farklar 14 adet noktada ± 10 cm aralığında, iki adet noktada ise ± 15 cm aralığında olduğu Çizelge 5.5'te gösterilmiştir. Bu noktalarda ki değişimin diğer noktalara göre minimum olmasından dolayı analize dahil edilmemiştir. Ek olarak 13 ve 17 numaralı noktaların ölçümleri tamamlanamadığı için dahil edilmemiştir. Yatay ve düşey yöndeki değişimlerin maksimum olduğu 7,9,10,11,12 ve 26 numaralı ölçüm noktaları kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme aşamasında ilk olarak bu noktaların vektör büyüklüğü ve yönü hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda 9 noktasının 3,39m kuzeybatı, 10 noktasının 3,47m kuzeybatı, 11 noktasının 3,41m kuzeybatı, 12 noktasının 3,70m kuzeybatı, 26 noktasının 4,01m kuzeybatı ve 7 noktasının 1,01m güneybatı/batı, yönünde hareket ettiği tespit edilmiştir.

Vektör yön ve büyüklükleri Nisan 2023-Nisan 2024 dönemine ait deformasyon haritası ile karşılaştırıldığında, düşey yönde gerçekleşen hareketlerin alansal büyüme yönleri ile yataydaki vektör yönlerinin benzer bir hareket sergilediği görülmektedir. Düşey yönlü hareketler genel olarak çökmelerin olduğu bölgelerden eğim yönünde, kabarma hareketi eğilimi göstererek büyümektedir (Şekil 6.3).

2023 yılının Nisan ayı ile 2024 yılının Nisan ayı arasında ki 365 günlük periyot farkı ve jeodezik ölçüm sonuçlarından elde edilen vektör büyüklükleri kullanılarak deformasyon hızları hesaplanmıştır. Sonuç veride bölge genelinde ortalama 9,8 mm/gün kuzeybatı istikametine doğru bir hareket gerçekleşmektedir. Yalnızca B7 noktasında 2,7 mm/gün güneybatı/batı yönünde bir hareket mevcuttur (Şekil 6.4).



Şekil 6.3 12 aylık periyottaki deformasyon büyüklükleri ve yönleri.



Şekil 6.4 365 günlük periyottaki deformasyon hızları.

Çalışma kapsamında, yüzey değişimlerinin izlenmesinde deformasyon haritalarının üretilmesi düşey yöndeki alansal büyümenin tespit edilebilmesini mümkün kılmıştır. İHA kullanımı, daha büyük bir alanda harita üretimini sağlamış ve böylece meydana gelen deformasyonların hangi yönlerde ilerlediğini göstermiştir. Yatay yönde gerçekleşen yüzey hareketlerinin tespiti ise GNSS ölçümleri ile mümkün olmuştur. GNSS ölçümlerinden elde edilen hareket yönleri ile deformasyon haritalarından elde edilen alansal büyüme yönlerinin uyumu, her iki sistemin entegre bir şekilde çalışabileceğini göstermiştir.

Uygulama süresi boyunca yapılan çalışmalarda yaşanan zorluklar değerlendirildiğinde, heyelanın aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde ulaşım ve güvenlik nedeniyle GNSS sistemleri yerine İHA Sistemleri'nin kullanılması hem çalışma hızını ve güvenliğini hem de hassasiyeti artıracaktır. Aynı zamanda periyotlarda mevsim geçişlerinin olması, bitki örtüsünde değişimlere neden olmuştur. Bu değişimler ise beraberinde değerlendirme aşamasında ilave bir süreç yaratmıştır. Bu yüzden bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde LiDAR sistemleriyle çalışılmasının daha kolay bir veri işleme aşaması olmasını sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Abdikan S, 2007, SAR Görüntülerinden Üretilen İnterferometrik ve Stereo Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalitesinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, İstanbul.
- Akabalı O A, 2002, Stereo Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinden Otomatik Sayısal Yükseklik Modeli Üretilmesi ve Doğruluğunun Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107s, İstanbul.
- Alptekin A, Yakar M, 2020, Heyelan Bölgesinin İHA Kullanarak Modellenmesi, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2, 17-21.
- Anonim, 2009, Basılı Heyelan Haritaları, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Anonim, 2018, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Anonim, 2023, 2022 Yılı Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Risk Belirleme ve Önlem Daire Başkanlığı.
- Anonim, 2023, İllere Ait Mevsim Normalleri (1992-2020) Resmi İstatistikleri, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Anonim, 2023, Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif, T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2023, Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı İstasyon Haritası, T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü.
- Anonim, 2024, Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü, .C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Anonim, 2024, Number of earthquakes in Turkey from 1990 to 2023, About The Center

Of Disaster Philanthropy.

- Aslan G, 2019, Türkiye'nin Kuzey-Batı Bölgesindeki Yüzey Deformasyonlarının Yüksek Çözünürlüklü İnsar Verileri Yardımı ile Gözlenmesi: Asismik Slip ve Çöküntü Olguları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 128s, İstanbul.
- Atma Ö, 2022, Uzundere (Karabağlar-İzmir), İslam (Saimbeyli-Adana) ve İslam (Feke-Adana) Yerleşim Birimlerindeki Heyelanların Jeolojik ve Jeofizik Yöntemlerle Tespiti ve Korelasyonu, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 329s, Adana.
- Avşar M, 1997, İzmir Metropolitan Alanındaki Heyelanların Genel Değerlendirmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İzmir.
- Aykan M, 1998, İzmir-Uzundere Peker Mahallesiindeki Heyelan İncelemesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İzmir.
- Balal O, 2013, Probabilistic Seismic Hazard Assessment For Earthquake Induced Landslides, Of Middle East Technical University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, M.Sc. Thesis, 61p, Ankara.
- Bazarnik M, 2018, Slope Stability Monitoring In Open Pit Mines. International Conference on Applied Geophysics, International Conference on Applied Geophysics, August 4, Poland.
- Bitek D, Erenoğlu C R, Erenoğlu O, 2023, Sentinel Görüntüleri Kullanılarak Heyelanların Modellenmesi: 2020 Gjerdrum (Norveç) Heyelan Örneği, Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 10, 67-77.
- Bozkuş H B, 2019, Bolvadin Fayındaki Yüzey Deformasyonlarının Yer Altı Suları İle İlişkisinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 49s, Afyonkarahisar.

- Canaslan Ç F, 2010, InSAR Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Konya Örneği, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Konya.
- Canaslan Ç F, 2016, Farklı Yeryüzü Özelliklerinde İleri Insar Teknikleri Kullanılarak Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 187s, Konya.
- Canıberk M, Sesli F A, Çetin C, 2016, Üç Boyutlu Hareket Analizinde Sayısal Fotogrametrik Yöntemlerin Gerçek Zamanlı Olarak Kullanılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4, 195-202.
- Cansız Y, 2013, Ağ-Rtk Uygulamalarında Uydu Yükseklik Açısı Ve Epok Sayısının Konum Duyarlılığına Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 206s, İstanbul.
- Cezayirlioğlu C, 2023, Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Lojistik Regresyon Yöntemi ile Kıyı Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Ayancık-Gerze Arası (Sinop), Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 43s, Eskişehir.
- Cruden D M, 2014, Landslide Types and Processes, National Research Council Transportation Research Board, Board No: 247:36-75, 5.
- Çağlar N, Kırtel O, Vural İ, Sümer Y, Sarıbiyık A, 2020, 30 Ekim 2020 Mw 6.6 Ege Denizi Seferihisar (İzmir) Depremi İnceleme ve Değerlendirme Raporu, 27.
- Çalışkan K, 2021, Bolvadin/Afyonkarahisar Kent Merkezinde Meydana Gelen Düşey Deformasyon Hızlarının Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Afyon.
- Çan T, Duman T, Olgun Ş. Çörekçioğlu Ş, Karakaya Gülmez, F. Elmacı H, 2013, Türkiye Heyelan Veri Tabanı, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11-13 Kasım, Ankara.

- Çevikbaş G, 2020, Uzaktan Algılama ve Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Yüzey Deformasyonlarının Yerleşim Alanlarına Olan Etkisinin Değerlendirilmesi; Zonguldak/ Kozlu Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Isparta.
- Çiçek E, 2023, Olay Sonrası Heyelanların Haritalanmasında Değişim Saptama Yaklaşımlarının Performanslarının Test Edilmesi, Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, Gümüşhane.
- Çınar O, 2019, Yapay Açıklıklı Radar Ve Gps/Gnss Verileri ile Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Modellenmesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Çanakkale.
- Çömert R, 2018, İnsansız Hava Aracı Verilerinden Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı İle Sığ Heyelanların Tespiti, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 121s, Eskişehir.
- DeGarmo M, 2004, Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace, Project No: 02044111-06, 98.
- Delikanlı M, 2010, Coğrafi Bilgi Sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) Bölgesinin Heyelan Duyarlılık İncelemesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s, Konya.
- Demirel M, 2015, Koyulhisar (Sivas) Heyelanının Jeolojik Özellikleri ve GPS/PS-InSAR Yöntemleri ile İzlenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Sivas.
- Demirel Y, 2021, Optik Uydu Görüntüleri Yardımıyla Heyelan Alanlarında Meydana Gelen Kütle Hareketlerinin İncelenmesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46s, Sivas.
- Doğruluk M, 2013, Sayısal Arazi Modellerinin Karayolu Projelerindeki Hacim Hesaplamalarına Etkisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 115s, Konya.

- Dönmez E, Tiryakioğlu İ, 2018, Gediz Fayı Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Gözlemleri ile İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18, 1110-1117.
- Eisenbeiss H, 2009, UAV Photogrammetry, Germany University of Technology Dresden, Ph.D. Thesis, 203p, Dresden.
- Eker R, 2018, Heyelan Ve Kar Kaynaklı Doğal Afetlerin İzlenmesi Ve Haritalanmasında Modern Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanılması, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 222s, Düzce.
- Ekinci F, 2011, Sayısal Arazi Modelleri ile Hacim Hesaplarında Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin ve Parametrelerin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, İstanbul.
- Erdoğan A, 2016, Şeritvari Haritaların İnsansız Hava Araçları İle Üretimi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 48s, Konya.
- Erener A, 2009, An Approach For Landslide Risk Assesment By Using Geographic Information Systems (Gis) And Remote Sensing (Rs), Applied Sciences of Middle East Technical University, Ph.D. Thesis, 414p, Ankara.
- Eshbayev İ, 2022, 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ Depremi (Mw=6.8) Yüzey Deformasyonları ve Deprem Odak Bölgesinin Jeolojik Yapısıyla İlişkisi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s, İstanbul.
- Ferretti A, Prati C M, Rocca F, 2001, Permanent Scatterers in SAR Interferometry, IEEE Transactions, 39, 8-20.
- Fidan S, 2019, Türkiye'deki Ölüme Sebep Olan Heyelanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, İstanbul.
- Gökçeoğlu C, 1993, Mengen (Bolu) Yöresi Heyelan Araştırılması ve Potansiyel Risk

Alanlarının Uzaktan Algılama Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 159s, Ankara.

Gökçeoğlu C, 2022, Harmandalı Katı Atık Depolama Sahası Stabilité Sorunlarıyla İlgili Teknik Değerlendirme Raporu, 11s.

Guzetti F, Mondini A C, Cardinali M, Fiorucci F, Santangelo M, Chang K T, 2012, Landslide inventory maps: New tools for an old problem, Earth-Science Reviews, 112, 42-66.

Günçe H B, 2019, Batı Antalya Heyelanlarının Sar İnterferometrisi ile İncelenmesi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47s, Antalya.

Güngördü D, 2018, Farklı Gps/Gnss Parametrelerinin Heyelan İzlemede Konumlamaya Etkisi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, Çanakkale.

Hanssen R, Feijt A, 1997, A First Quantitative Evaluation of Atmospheric Effects on SAR Interferometry, Delft Universtiy of Technology, Delft Institute for Earth Oriented Space Research, 277.

Hasdemir M, 2023, İnsansız Hava Aracı Görüntüleri ile Tarihi Yapıların Üç Boyutlu Modellenmesinde Fotogrametri Yazılımların Karşılaştırılması Ve Doğruluk Analizi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, Kocaeli.

İmamoğlu M, 2021, Yeryüzü Hareketlerinin Sentetik Açıklı Radar İnterferometrisi ve Hidroloji Verileriyle Analizi: Afyon-Akşehir Ve Küçük Menderes Grabeni Örnekleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 77s, İstanbul.

İnal C, Gündüz A M, Bülbül S, 2014, Klasik Rtk Ve Ağ-Rtk Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2, 19-30.

- Kahraman K M, 2015, Kinematik Ölçü Yöntemlerinden Klasik-RTK ile Ağ-RTK (CORS-TR) Yönteminin Konum Doğruluğu Açısından Test Edilmesi: Sayısal İşletme Projelerinde Uygulanmaları, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, 88s, Diyarbakır.
- Kaplan E D, Hegarty C J, 2017, Understanding GPS/GNSS Principles And Applications- Third Edition, Artech House, 993p, London.
- Kara B C, 2018, İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi ile Alansal Deformasyonların İzlenebilirliğinin Araştırılması, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, Sivas.
- Karabulut F, 2017, Yerkabuğu Deformasyonlarının GNSS Ölçüleri ile Kestirimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, İstanbul.
- Karakaya M, 2023, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Heyelan Duyarlılık Analizi: Hakkâri-Yüksekova Örneği, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Konya.
- Kahveci M, 2009, Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri, Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 100, 13-20.
- Kahveci M, 2014, Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)'nin Hassas Tarımda Kullanımı ve Sağladığı Katkılar, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 35-48.
- Karslıoğlu A, Alkayış M H, Onur M İ, 2021, Sentinel-1 Uydusu İle Deprem Kaynaklı Yüzey Çökme Analizi: Sivrice-Doğanyol-Pütürge Örneği, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 510-521.
- Kaygusuz Ç, 2021, Sarıgöl'de Meydana Gelen Yüzey Deformasyonlarının Jeodezik Yöntemlerle İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Afyon.
- Kayhan H, 2021, İzmir Metropolitan Alanının Heyelan Hassasiyet Haritalaması, Dokuz

- Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 154s, İzmir.
- Kazancı E, 2014, Statik TUSAGA - Aktif Ölçüleri Yardımı İle Heyelanların İzlenmesi – Gümüşhane İmam Hatip Lisesi Heyelan Örneği, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Gümüşhane.
- Köse D D, 2018, Heyelan Duyarlılık Haritalarının Geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Programlarıyla İncelenmesi: Koyulhisar Örneği, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Sivas.
- Kutluca A K, 2001, Potential Natural Hazard Areas In İzmir Built-Up Zone Case Study: Altındağ Landslide Areas, İzmir Institute of Technology, City and Regional Planning, M.Sc. Thesis, 173p, İzmir.
- Küçükönder M, 2012, Heyelanlarla İlişkili Arazi Değişimlerinin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 143s, Adana.
- Kürümüş A T, 2022, Deprem Sırasında Oluşan Heyelandan Dolayı Baraj Haznelerinde Meydana Gelen Yüzey Dalgalarının Sayısal Benzetimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Eskişehir.
- Massonnet D, Feigl K L, 1998, Radar Interferometry And Its Application To Changes In The Earth's Surface, Reviews Of Geophysics, 36, 441-689.
- Mekik Ç, Arslanoğlu M, 2003, Gerçek Zamanlı Kinematik Gps Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir Örnek Uygulama, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 549-558.
- Moses D N, 2017, Earthquake Induced Landslides, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, M.Sc. Thesis, 164, İzmir.
- Muratoğlu B, 2009, Monitoring Bülbülderesi And Bakacak Landslides With Photogrammetric Techniques, Applied Sciences Of Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, M.Sc. Thesis,

87p, Ankara.

Naiboğlu D F, 2021, Yapay Açıklıklı Radar Sar Tekniği Kullanılarak Depremlerin Heyelanlar Üzerinde Tetikleme Etkisinin Modellenmesi: Çanakkale Örneği, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Çanakkale.

Ocakoğlu N, Demirbağ E, Kuşçu İ, 2005, İzmir Körfezi ve Çevresinin Sualtı Aktif Fayları ve Depremselliği, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 23-40.

Okalp K, 2013, In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy In Geological Engineering, Applied Sciences Of Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis, 362p, Ankara.

Okan N, 2003, Heyelan Geliyorum Der, Mavi Gezegen Yer Bilim Dergisi, 2003, 14-17.

Özçelik A, 2021, Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve İnsansız Hava Araçlarının Heyelan Duyarlılık Çalışmalarında Kullanımının Değerlendirilmesi (Çankırı Örneği), Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 40s, Çankırı.

Özdoğan M V, 2015, Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler İle Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 166s, İzmir.

Özsoy O Y, 2019, Heyelan Hareketlerinin DİnSAR ve LiDAR Yöntemleri İle Belirlenmesi ve İzlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, İzmir.

Öztürk K, 2002, Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, 35-50.

Pakkan B, Ermiş M, 2010, İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle

- Çoklu Hedeflere Planlanması, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4, 77-84.
- Progeo Proje Müh. Müş. San. Ve Tic. Ltd. Şti., 2023, İzmir İli, Çiğli İlçesi, Harmandalı Mahallesi Sınırları İçerisinde Yer Alan Çöp Deponi Alanı Kapsamında Yapılan Zemin Etüt Veri, 40.
- Sarı M, 2016, Heyelan Alanlarının Fotogrametrik Yöntemle İzlenmesinde Yazılım Çözümleri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Çanakkale.
- Schenk T, 2005, Introduction to Photogrammetry, ID: GS400.02, 40.
- Seki M, Tiryakioğlu İ, Uysal M, 2017, Farklı Veri Toplama Yöntemleriyle Yapılan Hacim Hesaplamalarının Karşılaştırılması, Geomatik Dergisi, 2, s. 106-111.
- Sertabipoğlu Z, 2016, InSAR Kullanılarak Açık Ocak Şev Hareketlerinin izlenmesi ve Şev Duraylılık Analizi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, İstanbul.
- Seyrek E, 2020, Yeni Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Ege Bölgesi İçin Değerlendirilmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9, 414-423.
- Şahin E Ş, 2017, Özellik Seçimi Algoritmaları Kullanılarak Heyelanda Etkili Faktörlerin Belirlenmesi Ve Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s, İstanbul.
- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS Ölçüleri ile Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 157s, İstanbul.
- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 2022, 30 Ekim 2020 Tarihinde Meydana Gelen İzmir Depremi Raporu, 22s.
- Toprak A S, 2014, Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları ile Mühendislik

Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 164s, Konya.

Tracy K, George R B, McKeen D, Vakharia N, Pink A, 2012, Effectiveness and Safety of the Levitan FPS Scope for Tracheal Intubation Under General Anesthesia with a Simulated Difficult Airway, Reports Of Orginal Investigations, 59, 743-750.

Uçarlı A C, İlçi V, Par K, Peker A U, 2022, Otonom Araçlarda Çoklu GNSS Uydu Sistemleri Kullanımının Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11, 672-680.

Uyanık O, Ekin N, Coşkun O, 2021, Zemin ve Deprem Parametrelerinden İvme Azalım İlişkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 23, 575-593.

Üstün A Ç, 2023, Ankara Büyükşehir Belediyesi Gerçek Zamanlı Sabit GNSS Ağının Doğruluk ve Performans Analizi Üzerine Araştırma, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Entitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Konya.

Yalçın M, 2019, Bolvadin Fayı Yüzey Deformasyonlarının Hassas Nivelman Ölçüleri ile İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Afyon.

Yanalak M, 1997, Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 109s, İstanbul.

Yazıcı B V, 2019, Daimi Yansıtıcı InSAR (PSInSAR) Tekniği İle Heyelanların Tespit Edilmesi ve İzlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Trabzon.

Yenice E, 2023, 30 Ekim 2020 (Mw=6.9) Sisam Depremi Sonrası İzmir Bölgesi Kadastral Nokta Koordinat Değişimlerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, Afyon.

- Yerli B, Softa M, Sözbilir H, 2021, Gümüldür Fayının Morfometrik ve Kinematik Analizi ve Batı Anadolu'daki Sismotektonik Anlamı, Türkiye Jeoloji Bülteni, 64, 349-382.
- Yılmaz M, Uysal M, Yılmaz İ, 2015, Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart, Ankara.
- Yiğit A Y, Ulvi A, 2020, İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği, Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2, 46-54.
- Yozgatlı H H, 2016, TUSAGA AKTİF Sistemi, Sistemin Harita Sektöründeki Yeri ve Önemi, Sistemin Sürdürülebilirliği Açısından Alınacak Tedbir ve Önlemler, 86s.
- Zeybek M, 2013, Heyelanların İzlenmesinde GNSS ve Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Birlikte Kullanılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s, Konya.
- Zeybek M, 2017, Yüksek Çözünürlüklü Topoğrafik Veriler Yardımıyla Heyelanların İzlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 169s, Konya.
- Zirek İ, 2018, İHA Destekli Heyelan Aktivitesi İzleme: Uygulamalar ve Açık Konular, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Çanakkale.