

**Geomatik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi ve Coğrafi
Bilgi Sistemi Destekli Tematik Haritaların Oluşturulması:
Biga Yarımadası (Çanakkale) Örneği**

Program Kodu: 3501

Proje No: 112Y336

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU

Araştırmacılar:

Doç. Dr. Özgün AKÇAY

Doç. Dr. Tolga KOMUT

Yrd. Doç. Dr. Ebru ŞENGÜL ULUOCAK

Yrd. Doç. Dr. M. Ali YÜCEL

Yrd. Doç. Dr. Oya ERENOĞLU

Y. Müh. Mustafa BEDİR

Y. Müh. Çağlar AYDIN

MAYIS 2017
ÇANAKKALE

ÖNSÖZ

“Geomatik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Tematik Haritaların Oluşturulması: Biga Yarımadası (Çanakkale) Örneği” isimli ve 112Y336 kodlu bu çalışma TÜBİTAK tarafından 3501 - Ulusal Genç Araştırmacı Kariyer Geliştirme Programı kapsamında gerçekleştirilmiş bir araştırmadır. Projenin başlangıç tarihi 15.04.2013 olup süresi 36 aydır.

Gerçekleştirilmiş olan proje kapsamında, Çanakkale İli Biga Yarımadasında yer alan aktif heyelanlardan bazılarının 2013-2016 yılları arasında geomatik ölçme tekniklerinin yanısıra jeofizik ve jeolojik yöntemlerle incelenmesi, heyelan alanlarındaki bağlı yerdeğişmelerin tespit edilerek yorumlanması yapılması amaçlanmıştır.

Bölgede, aktif heyelanlar üzerine gerçekleştirilmiş bazı jeolojik ve jeofizik çalışmalar olmakla beraber, Jeodezik anlamdaki çalışmalar ilk nitelikte gerçekleştirilmiştir. Biga Yarımadasının kuzeyinde yer alan 5 aktif heyelan ve yakın çevresinde gerçekleştirilen bu çalışma, iki özelliği ile ön plana çıkmaktadır:

- Çalışmada farklı geomatik ölçme yöntemleri yanında jeolojik ve jeofizik tekniklerin de kullanılması,
- Gerçekleştirilen bu ölçmeler yardımıyla heyelan deformasyonlarının belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak tematik harita üretimi.

Bu raporda gelişme raporlarında verilen bilgilerin yanında, projenin başlangıcından bitimine kadar olan tüm gelişmeler anlatılmaktadır. Geomatik, jeolojik ve jeofizik yöntemler yardımıyla gerçekleşen periyodik ölçme, değerlendirme, analiz, yorumlama ve sonuçlar bu raporda sunulmaktadır.

Bu projenin gerçekleşmesinde birçok farklı meslek grubundan uzmanın önemli katkıları olmuştur. Bu çalışmaya sağladıkları katkılardan dolayı; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Özgün AKÇAY’a, Jeofizik Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Tolga KOMUT’a ve Yrd. Doç. Dr. Ebru ŞENGÜL ULUOCAK’a, Eğitim Fakültesi Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalından Yrd. Doç. Dr. Oya ERENOĞLU’na ilgi ve yardımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

“Geomatik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Tematik Haritaların Oluşturulması: Biga Yarımadası (Çanakkale) Örneği” isimli bu proje, TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu tarafından desteklenmiştir. Bu projenin gerçekleşmesi için her türlü maddi desteği sağlayan TÜBİTAK’a, ÇAYDAG Grup Uzmanı Sayın Alper MERT’e ve Mali Kısım İzleyicisi Sayın Zuhal Esra BİLİR KAT’a proje süresince, projenin yürütülmesinde yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Son olarak proje ara ve sonuç raporlarının iyileştirilmesinde ve geliştirilmesinde görüş ve önerileriyle katkı sağlayan Proje Danışmanı/Raportörüne teşekkür ederim.

Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU
Proje Yürütücüsü

Çanakkale, Mayıs 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Heyelanlar	1
1.2 Çalışmanın Amacı	3
1.3 Biga Yarımadası'nın Genel Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri	3
1.4 Heyelan Bölgelerinin Konumları.....	6
1.5 Heyelan Bölgelerinin Jeolojisi ve Petrografisi	7
1.5.1 Ambaroba Bölgesi	7
1.5.2 Adatepe Bölgesi.....	12
1.5.3 Şevketiye Bölgesi	16
1.5.4 Güzelyalı Bölgesi.....	18
1.5.5 İntepe Bölgesi	23
2. JEODEZİK ÇALIŞMALAR	29
2.1 Planlama Çalışmaları	29
2.2 Jeodezik Ağ Tasarım Çalışmaları	30
2.3 İstikşaf ve İnşaat Çalışmaları.....	31
2.4 GPS/GNSS Gözlemleri	34
2.4.1 2013 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası	35
2.4.2 2014 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası.....	42
2.4.3 2015 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası.....	43
2.4.4 2016 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası.....	45
2.5 GPS/GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	47
2.6 GPS/GNSS Verileri ile Deformasyon Analizi	51
2.6.1 MATLAB Tabanlı Deformasyon Analizinde Temel Kurallar.....	51
2.6.2 Periyot Ölçülerinin Dengelenmesi.....	51
2.6.3 Periyot Ölçülerinin Ayrı Ayrı Dengelenmesi	54
2.6.4 Doğrusal Hipotez Testi.....	55
2.6.5 Doğrusal Hipotez Testi (Global Test).....	57
2.6.6 Kapalı (İmplicit) Hipotez Testi Doğrusal	58
2.6.7 Kapalı (İmplicit) Hipotez Testinin Deformasyon Analizine Uygulanması ...	58
2.6.7.1 Ağ Konfigurasyonu Her İki Periyotta Eşlenik Değilse Global Test.....	60

2.6.8	S- Transformasyonu Hareketli Noktaların Belirlenmesi	62
2.7	Deformasyon Analizi Sonuçları	63
3.	JEOFİZİK ÇALIŞMALAR	77
3.1	Kullanılan Yöntemler ve Ölçüm Dizgeleri	78
3.2	Heyelan Alanlarının Jeofizik Ölçmeleri	83
3.2.1	Ambaroba Heyelan Alanı	84
3.2.2	Şevketiye Heyelan Alanı	86
3.2.3	Adatepe Heyelan Alanı	88
3.2.4	Güzelyalı Heyelan Alanı	93
3.2.5	İntepe Heyelan Alanı	97
4.	İHA DESTEKLİ FOTOGRAMETRİK ÇALIŞMALAR	99
4.1	İHA Destekli Fotogrametrik Çalışmalar	99
4.1.1	İHA'ların Geomatik Amaçlı Uygulamaları	99
4.1.2	Kamera Kalibrasyonu	102
4.1.3	Kullanılan İnsansız Hava Aracının Özellikleri	105
4.1.4	Uçuş Planının Yapılması ve İHA Uçuşu ile Veri Toplama	106
4.1.5	Hava Fotoğraflarından Üç Boyutlu Model Üretimi	109
4.2	Üretilmiş Üç Boyutlu Modellerle CBS Destekli Tematik Harita Üretimi	116
4.2.1	Coğrafi Bilgi Sistemleri	116
4.2.2	CBS Yardımıyla Tematik Harita Üretimi ve Modelleme	117
5.	İNTERFEROMETRİK YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (INSAR) TEKNİĞİ İLE HEYELAN MODELLEME	128
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	147
7.	KAYNAKLAR	147
	TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU	154

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1. Türkiye heyelan tehlikesi haritası (T.C. Bayındırlık Bakanlığı, 2016) 1
- Şekil 2. Biga Yarımadası'nın genel jeoloji haritası (Okay ve Satır 2000'den değiştirilmiştir)..... 5
- Şekil 3. Biga Yarımadası'nın aktif fayları (Siyako vd., 1989)..... 6
- Şekil 4. Heyelan bölgelerini gösteren yer bulduru haritası 7
- Şekil 5. Ambaroba köyü ve çevresinin jeoloji haritası 8
- Şekil 6. Ambaroba'da heyelanın gerçekleştiği sedimanter ve volkanik kayaların sınırı 9
- Şekil 7. a) Ambaroba köyü ve çevresinin jeoloji haritası Ambaroba köyü içinde Bayramiç formasyonunun (plb) yakından görünümü (UTM: 433645 D, 4452372 K), b) Bayramiç formasyonunda gözlenen kumtaşı-çakıltaşı ar dalanması (UTM: 433653 D, 4452486 K) 9
- Şekil 8. Bayramiç formasyonunu ait volkanojenik kumtaşı ince kesit görüntüsü (Çift Nikol- Q: Kuvars, F: Feldispat, Plj: Plajoklas, Bio: Biyotit)..... 10
- Şekil 9. Ambaroba heyelanında kayma yüzeyi içinde gözlenen Bayramiç formasyonuna ait çakıl ve blok parçaları (UTM: 433504 D, 4452146 K) 11
- Şekil 10. Adatepe heyelan alanı ve çevresinin jeoloji haritası..... 13
- Şekil 11. Adatepe heyelan alanının uydu görüntüsü ve bölgede gözlenen yüzey hareketleri 14
- Şekil 12. a) Fıçitepe formasyonuna ait iyi çimentolanmamış çakıl taşları (UTM: 484173 D, 4471929 K), b) karbonatlı kumtaşları 15
- Şekil 13. Karbonatlı kumtaşları içinde gözlenen makro fosiller 15
- Şekil 14. Fıçitepe formasyonunu ait fosilli kumtaşları ince kesit görüntüleri (Çift Nikol- Q: Kuvars, L:Kaya kırıntısı, D: Discocyclina sp. fosili, N: Nummulites sp. fosili, A: Assilina sp. fosili)..... 16
- Şekil 15. Şevketiye heyelan alanı ve çevresinin jeoloji haritası 17
- Şekil 16. a) Fıçitepe formasyonuna ait kumtaşı-çakıltaşı ar dalanması, b) İyi çimentolanmamış çakıltaşı birimi (UTM: 488541 D, 4471955 K)..... 18
- Şekil 17. Fıçitepe formasyonunu ait litik kumtaşı ince kesit görüntüleri (Çift Nikol- Q: Kuvars, L: Kaya kırıntısı, Cl: Klorit, Plj: Plajoklas)..... 18
- Şekil 18. Çanakkale formasyonunun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Atabey vd. 2004) 19
- Şekil 19. Güzelyalı beldesi ve çevresinin jeoloji haritası (Potansiyel heyelan sınırı

Yiğitbaş vd., 2005'ten düzenlenmiştir)	19
Şekil 20. a) Güzelyalı heyelan bölgesinde gözlenen Güzelyalı üyesi birimleri. b) Tutturulmamış kumlu seviye içinde gözlenen pekleşmiş kumtaşı tabakaları, c) Çamurtaşları içinde görülen kiltası seviyeleri (UTM: 445338 D, 4434567 K)	20
Şekil 21. a) Çamurtaşları içinde gözlenen kiltası yumruları, b) Güzelyalı üyesine ait oolitli ve fosil kavkılı karbonatlı seviye	21
Şekil 22. Güzelyalı üyesine ait kumtaşlarının ince kesit görüntüsü (Çift Nikol-Q: Kuvars, F: Feldispat, L: Kaya kırıntısı).....	22
Şekil 23. Güzelyalı üyesine ait silttaşlarının ince kesit görüntüsü (Çift Nikol-Q: Kuvars, B: Boşluk).....	22
Şekil 24. Güzelyalı heyelanını etkilediği düşünülen yağmur suyu drenaj menfezi (UTM: 445325 D, 4434504 K).....	23
Şekil 25. Çanakkale viyadüğünün çevresinde gözlenen güncel heyelan hareketleri..	24
Şekil 26. İntepe beldesi ve çevresinin jeoloji haritası	24
Şekil 27. Güzelyalı-İntepe yolunda üzerinde heyelan hareketinin gerçekleştiği Tekkedere üyesine ait iyi çimentolanmamış kumtaşlarının görünümü (UTM: 444317 D, 4431512 K).....	25
Şekil 28. Çanakkale viyadüğünün altında gözlenen İntepe üyesi birimlerine ait bir alandaki ölçülü stratigrafik kesit (UTM: 443674 D, 4430665 K)	27
Şekil 29. Çanakkale viyadüğünün üstünde gözlenen İntepe üyesine ait kumtaşları ve kumlu kireçtaşları (UTM: 443838 D, 4430650 K).....	27
Şekil 30. Tekkedere üyesine ait kumtaşı ince kesit görüntüleri (Çift Nikol-Q: Kuvars, L: Kaya kırıntısı, Cl: Klorit, Ep: Epidot, Zo: Zoisit).....	28
Şekil 31. İntepe üyesine ait kumtaşı ince kesit görüntüsü (Çift Nikol-Q: Kuvars, Mus: Muskovit).....	28
Şekil 32. Heyelan alanlarındaki mikro-deformasyon referans ağ noktalarının yaklaşık konumlarını gösteren Google Earth uydu görüntüsü: (a) Tüm referans noktaları, (b) Ambaroba heyelanı referans noktaları, (c) Adatepe heyelanı referans noktaları, (d) Şevketiye heyelanı referans noktaları, (e) Güzelyalı heyelanı referans noktaları, (f) İntepe heyelanı referans noktaları	32
Şekil 33. Jeodezik ağ geometrisi.....	34

Şekil 34. Ambaroba Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları.....	36
Şekil 35. Adatepe Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları.....	37
Şekil 36. Şevketiye Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları.....	38
Şekil 37. Güzelyalı Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları	39
Şekil 38. İntepe Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları.....	40
Şekil 39. Ambaroba izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı	41
Şekil 40. (a) Adatepe izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı, (b) Şevketiye izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı	42
Şekil 41. Güzelyalı izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı.....	45
Şekil 42. İntepe izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı	47
Şekil 43. Eşlenik ağı geometrisi	60
Şekil 44. Eşlenik olmayan ağı geometrisi.....	60
Şekil 45. Ambaroba heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay ve düşey hız alanları.73	
Şekil 46. Adatepe heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay ve düşey hız alanları... 73	
Şekil 47. Şevketiye heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay ve düşey hız alanları.74	
Şekil 48. Güzelyalı heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay hız alanı.....	74
Şekil 49. Güzelyalı heyelanı 2013-2016 yılları arasında düşey hız alanı.....	75
Şekil 50. İntepe heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay hız alanı.....	75
Şekil 51. İntepe heyelanı 2013-2016 yılları arasında düşey hız alanı.....	76
Şekil 52. DC elektrik öz direnç yönteminde elektrot dizilimi	79
Şekil 53. ARES ölçü aleti kontrol birimi ve donanımı (www.gfinstruments.cz)	79
Şekil 55. Elektrik tomografi ölçü sistemi	80
Şekil 55. MASW yönteminde temel işlem adımları (Dikmen vd., 2010).....	82
Şekil 56. (a) Sismik kayıtçı (www.geometrics.com), (b) Arazide kullanılan sismik alet ve donanımı.....	83
Şekil 57. Ambaroba heyelan alanı, (a) jeofizik ölçü profilleri ve 2B yer elektrik kesitler (b) Profil 1, (c) Profil 5, (d) Profil 6 ve (e) Profil 7.....	84
Şekil 58. Ambaroba heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri (a) Profil 2, (b) Profil 3, (c) Profil 4	85
Şekil 59. Ambaroba heyelan alanı ve elektrik tomografi profili (Profil 1) fotoğrafı.....	85
Şekil 60. Şevketiye heyelan alanı. KD-GB doğrultulu siyah kesikli çizgi P1 öz direnç tomografi profilini göstermektedir. Heyelanın yapısal unsurları beyaz çizgiler ile gösterilmiştir (fotoğraf tarihi: Haziran 2013).....	87

Şekil 61. Şevketiye heyelan alanı (a) jeofizik ölçü profilleri ve profillerden hesaplanan 2B yer elektrik kesitleri; (b) Profil 11 ve (c) Profil 10 (Mart 2015) (d) Profil 10 (Kasım 2015).....	87
Şekil 62. 2B yer elektrik kesitleri Profil 1-9	88
Şekil 63. Adatepe heyelan alanı; (a) jeofizik elektrik öz direnç tomografi ölçü profilleri (b) Profil 8 ve heyelan nedeniyle gelişen yüzey deformasyonları (fotoğraf tarihi: Mart 2015).....	89
Şekil 64. Adatepe heyelan alanı; (a) Profil 3 (b) yüzey gözlemlerine ait fotoğraflar (c) Profil 7	89
Şekil 65. Adatepe heyelan alanı 2B yer elektrik kesitleri (a) Profil 1, (b) Profil 2, (c) Profil 7 ve (d) Profil 10.....	91
Şekil 66 Adatepe heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri (topografik değişim dikkate alınarak perspektif olarak çizilmiştir).....	92
Şekil 67. Adatepe heyelan alanı; Profil 8; (a) 2B yer elektrik kesiti ve (b) sismik kırılma tomografi sonucu elde edilen 2B hız kesiti.....	93
Şekil 68. (a) Güzelyalı heyelan alanı çalışma alanının fotoğrafı (bakış yönü b'de gösterilmiştir), (b) Güzelyalı heyelan alanı jeofizik ölçü profilleri.....	95
Şekil 69. Güzelyalı heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri; Profil 1, 2, 3 4 ve 5	96
Şekil 70. Profil 1 zamansal izleme çalışması; (a) Eylül.2013; aralık=[4,36], (b) Kasım.2014; aralık=[6-38], (c) Eylül.2015; aralık=[4-46] Ohm-m.....	96
Şekil 71. Güzelyalı heyelan alanı, S1 sismik araştırma profili, MASW değerlendirme sonuçları; (a) Frekans-Faz Hızı eğrisi (b) ortama ilişkin hız modeli	97
Şekil 72. Erenköy heyelan alanı, öz direnç tomografi ölçü profilleri.....	98
Şekil 73. Erenköy heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri	98
Şekil 74. Farklı İHA sistemleri ve fotogrametrik değerlendirme modelleri.....	100
Şekil 75. İHA fotogrametrisi iş akış diyagramı	102
Şekil 76. Canon 650D model dijital kamera ile elde edilmiş bir test alanı görüntüsü	103
Şekil 77. Özel hedeflerden oluşan kalibrasyon test alanı	104
Şekil 78. Özel hedeflerden Total Station ile ölçümü.....	104
Şekil 79. Mikrokoopter Okto XL Havadan Görüntüleme.	105
Şekil 80. (a) Ambaroba heyelanı için elde edilen uçuş planı, (b) İHA ile toplanan hava fotoğraflarından birkaç örnek, (c) (+) şeklindeki yer kontrol noktası ölçüm işareti, (d) Yer kontrol noktalarındaki RTK/GNSS ölçümleri, (e)	

Yer kontrol noktalarının zemindeki görünümü, (f) Yer kontrol noktalarının fotoğraftaki görünümü.....	108
Şekil 81. Ambaroba heyelanının üç boyutlu modellenmesinde nokta bulutundan türetilen görüntü düzlemleri ve görüntü konileri	111
Şekil 82. Ambaroba heyelanının beyaz nokta bulutu.....	111
Şekil 83. Ambaroba heyelanının tek renk dokusu	111
Şekil 84. Ambaroba heyelanının gerçek renkli üç boyutlu nokta bulutu.....	112
Şekil 85. Ambaroba heyelanının doku giydirilmiş yüzeyi.....	112
Şekil 86. Ambaroba heyelanının 10 cm'lik gridlerle sayısal yükseklik modeli	112
Şekil 87. Ambaroba heyelanının 3D eş yükseklik eğrileri.....	113
Şekil 88. Ambaroba heyelanının eş yükseklik eğrili ortofotosu	113
Şekil 89. Adatepe heyelanı 3D sayısal arazi modeli	114
Şekil 90. Şevketiye heyelanı 3D sayısal arazi modeli.....	114
Şekil 91. İntepe heyelanı 3D sayısal arazi modeli.....	115
Şekil 92. İHA ile üretilen 3D modellerden tematik harita üretimi	117
Şekil 93. Üretilen tematik haritaların farklandırma iş-akış diyagramı.....	118
Şekil 94. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş sayısal yükseklik modeli	119
Şekil 95. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik eğim haritası.....	119
Şekil 96. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik eğrilik modeli	120
Şekil 97. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik eş yükseklik modeli.....	120
Şekil 98. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik TIN modeli	121
Şekil 99. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik bakı modeli.....	121
Şekil 100. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik akış toplama modeli	122
Şekil 101. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik akış yönü modeli.....	122
Şekil 102. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş	

tematik kabartma modeli	123
Şekil 103. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik akış toplama modelleri farkı	124
Şekil 104. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik akış yönü modelleri farkı	124
Şekil 105. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik bakı modelleri farkı.....	125
Şekil 106. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik sayısal yükseklik modelleri farkı	125
Şekil 107. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik eğim modelleri farkı.....	126
Şekil 108. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik eğrilik modelleri farkı.....	126
Şekil 109. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik kabartma modelleri farkı.....	127
Şekil 110. SLC veri yapısında yer alan genlik bandı, faz bandı ve temsili üretilen yoğunluk bandı	128
Şekil 111. Güzelyalı bölgesine ait 17 Eylül 2014 tarihli radar görüntüsünden üretilen arazinin fiziksel yapısı hakkında bilgi veren genlik görüntüsü	129
Şekil 112. Heyelan bölgelerine ait Google Earth uydu görüntüsü ve kullanılan 23 Eylül 2014 tarihli sayısal yükseklik modeli.....	129
Şekil 113. İntepe heyelan bölgesine ait 17 Eylül 2014 ve 25 Şubat 2015 tarihli radar görüntülerinden üretilen karşılıklı kayıtlama yapılmış iki genlik görüntüsü	131
Şekil 114. Adatepe ve Şevketiye bölgelerine ait 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen topoğrafik fazı da içeren interferogram faz.....	132
Şekil 115. Adatepe ve Şevketiye bölgelerine ait 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen topoğrafik etkinin giderildiği sonuç interferogram örneği.....	133
Şekil 116. Ambaroba bölgesine ait ait 23 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen uyumluluk görüntüsü	133
Şekil 117. Adatepe heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri.....	135

Şekil 118. Ambaroba heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri.....	136
Şekil 119. Güzelyalı heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 3 Ocak 2016 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri.....	137
Şekil 120. Şevketiye heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri.....	138
Şekil 121. İntepe heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 3 Ocak 2016 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri.....	139
Şekil 122. Adatepe heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi (Profil 1).....	142
Şekil 123. Adatepe heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi (Profil 2).....	143
Şekil 124. Ambaroba heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi	143
Şekil 125. Güzelyalı heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi	144
Şekil 126. Şevketiye heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi	144
Şekil 127. İntepe heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi	145

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Çalışma bölgelerini sınırlayan enlem ve boylamlar (Datum: WGS-84)	29
Tablo 2. GPS/GNSS Heyelan İzleme Ağları ve Nokta Sayıları.....	35
Tablo 3. GPS/GNSS ölçmelerine ilişkin anahtar parametreler.....	41
Tablo 4. 2013 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler	42
Tablo 5. 2014 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler	43
Tablo 6. 2015 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler	44
Tablo 7. 2016 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler	46
Tablo 8. Ambaroba Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları .	48
Tablo 9. Adatepe Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları	49
Tablo 10. Şevketiye Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları	49
Tablo 11. Güzelyalı Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları .	50
Tablo 12. İntepe Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları	50
Tablo 13. Ambaroba heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri.....	64
Tablo 14. Adatepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri.....	65
Tablo 15. Şevketiye heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri.....	66
Tablo 16. Güzelyalı heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri.....	66
Tablo 17. İntepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri.....	67
Tablo 18. Ambaroba heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri.....	67
Tablo 19. Adatepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri.....	68
Tablo 20. Şevketiye heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri.....	68
Tablo 21. Güzelyalı heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri.....	69
Tablo 22. İntepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri.....	69

Tablo 23. Ambaroba heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri.....	70
Tablo 24. Adatepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri.....	70
Tablo 25. Şevketiye heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri.....	71
Tablo 26. Güzelyalı heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri.....	71
Tablo 27. İntepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri.....	72
Tablo 28. ARES ölçü alet ve donanım özellikleri.....	80
Tablo 29. Geniş açılı kameraların kalibrasyon raporu	105
Tablo 30. Nokta bulutuna ilişkin istatistiksel bilgiler.....	115
Tablo 31. Veri aktarımı tablosu	130
Tablo 32. Interferogram ve uyumluluk tablosu.....	132
Tablo 33. Görüntü çifti arasında hesaplanan değerler.....	133
Tablo 34. Filtrelenmiş interferogram	134
Tablo 35. Korelasyon ve standart sapmaları	140

ÖZET

Projedeki heyelan alanları kuzey-batı Anadolu'da Biga Yarımadasının kıyı kesimleri boyunca kuzeyden güneye doğru Ambaroba, Şevketiye, Adatepe, Güzelyalı ve İntepe bölgeleri içinde yer almaktadır. Bu projede, geomatik, jeofizik ve jeolojik tekniklerine dayalı disiplinler arası bir yaklaşımla Biga Yarımadasındaki farklı özelliklere sahip ve farklı lokasyonlardaki belirtilen aktif heyelanların zamansal olarak izlenmesi, bölgelerdeki rölatif yer değiştirmelerin tespit edilerek yorumlanması ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak tematik deformasyon haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır.

Proje kapsamında Geomatik olarak çalışılan yöntemlerle sonuç ürün olarak güncel üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modelleri, sayısal yükseklik modelleri ve heyelan nedeniyle ortaya çıkan noktasal ve alansal ölçekteki değişimler elde edilmiştir. Jeofizik tomografi ölçümleriyle çalışma alanlarının 2B yer elektrik kesitleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca jeolojik çalışmalar sayesinde heyelan alanlarındaki litolojik birimlerin jeolojik ve yapısal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanında insansız hava aracı destekli dijital fotogrametri tekniği yardımıyla heyelanların anlık üç boyutlu modellenmesi gerçekleştirilmiş ve farklandırma yöntemiyle alansal değişimler belirlenmiştir. Ayrıca Interferometrik SAR görüntüleri ile arazideki yüzey deformasyonlarının ortaya konması hedeflenmiştir. Tematik harita üretimi aşamasında ise coğrafi bilgi sistemi araçları kullanılmıştır.

Deformasyonların izlenmesi amacıyla tesis edilen mikro-jeodezik izleme ağlarında gerçekleştirilen GPS/GNSS ölçmeleri ile yüksek doğruluklu konum bilgisi sağlanmıştır. Dolayısıyla heyelanlardan kaynaklanan noktasal deformasyonlar izlenebilmiştir. İnsansız hava aracı destekli ve yersel fotogrametri yaklaşımı ile üç boyutlu modeller üretilmiş ve heyelanların neden olduğu alansal yüzey deformasyonları belirlenmiştir. Heyelan alanlarındaki yeryüzeyindeki kitle değişimlerinin dönemsel olarak mm düzeyinde belirlenmesinde InSAR yöntemi başarıyla kullanılmıştır. Böylece interferometrik farklandırma tekniğine dayalı olarak heyelanlardan kaynaklanan yeryüzü hareketleri modellenmiştir. Jeolojik olarak ise heyelan alanlarının tümü sedimanter, az pekleşmiş, düşey ve yatay hareketlere duyarlı duyarlı birimlerden oluşmaktadır. Jeofizik yöntemler ile çok boyutlu jeofiziksel görüntülemenin yanı sıra, mevsimsel koşullara bağlı olarak heyelan alanlarına ilişkin zamansal değişimi başarıyla izlenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri sayesinde ise heyelan riskine karşı gerekli tedbirlerin önceden alınmasına katkı sağlayacak tematik haritalar üretilmiştir. Bu çalışma ile aktif heyelanlar hem disiplinler arası yaklaşım ile zamansal olarak izlenmiş, hem de ortaya çıkarılan tematik haritalar ile mekânsal olarak modellenmiştir.

Anahtar Sözcükler:

Heyelan, İzleme, GPS/GNSS, İnsansız hava aracı, jeofizik, elektrik tomografi, InSAR, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Biga Yarımadası.

ABSTRACT

Landslide areas in the project is located in the Ambaroba, Şevketiye, Güzelyalı and İntepe regions along the coast of north-western part of the Biga Peninsula in NW Anatolia. In this project, it is aimed to produce thematic deformation maps based on obtain results, temporal monitoring of the active landslide which has different features and different locations in the Biga Peninsula and interpretation by determining the relative displacement with geomatics, geophysical and geological techniques based on an interdisciplinary approach.

In project scope, the current 3D high-resolution digital terrain models, digital elevation models and point and spatial changes on the scale due to the landslides are obtained as a final product with methods of geomatics. 2D ground electrical sections of the working area with geophysical tomography measurements are interpreted. Also it uncovered geological and structural characteristics of the lithological units in the landslide area due to geological studies. Besides, instant three-dimensional modeling of landslide were conducted and spatial variation were identified by differential method with help of unmanned aerial vehicle-based digital photogrammetry techniques. It also aimed to reveal the surface deformation of the land by Interferometric SAR images. In the production phase of thematic maps, Geographical Information Systems tools are used.

High-precision location information is provided for monitoring the deformation with GPS / GNSS surveying carried out in micro-geodetic monitoring networks. Therefore, point deformation resulted from the landslide could be monitored. Three-dimensional models generated and areal surface deformations is determined caused by landslides with unmanned aerial vehicles supported and terrestrial photogrammetry approach. InSAR method has been used successfully used to periodically determine the mm level that changes in the mass of the Earth's surface in the landslide area. In this way, earth movements caused by landslides could be modeled based on differential interferometric techniques. Geologically, all of the landslide area consists of sedimentary, slight and landslide-sensitive units. Temporal changes depending on seasonal conditions related to landslide areas have been successfully followed by geophysical methods as well as multi-dimensional geophysical imaging. Thematic maps were produced that will contribute to necessary measures against landslide risk with the Geographical Information Systems. In this study, active landslides are monitored temporally with interdisciplinary approach and also modeled spatially with uncovered thematic maps.

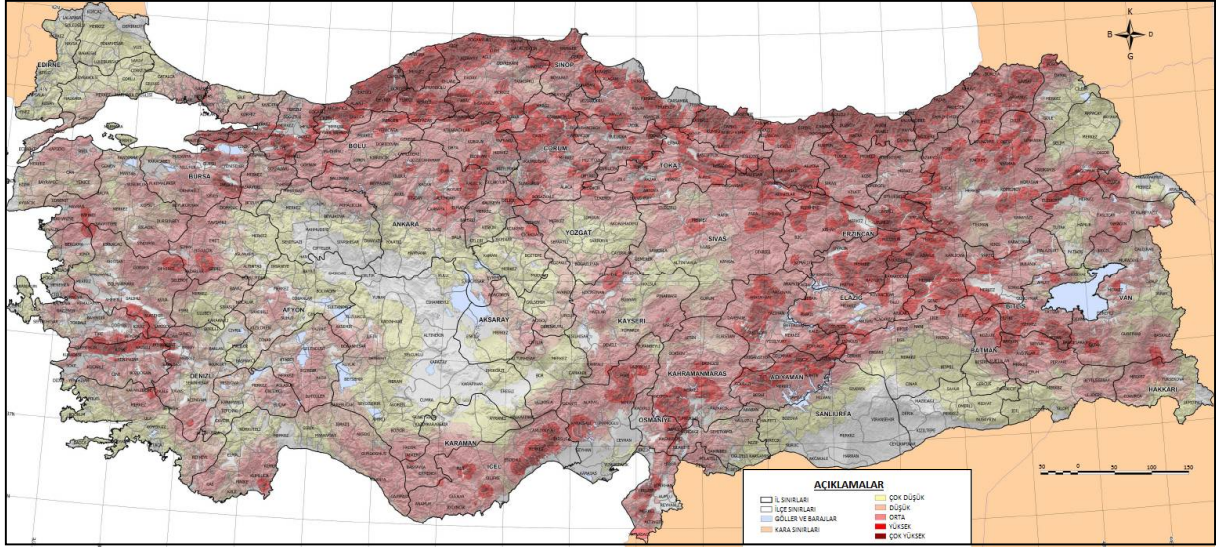
Key Words:

Landslide, Monitoring, GPS/GNSS, Unmanned aerial vehicle, Geophysics, Electric tomography, InSAR, Geographical Information System (GIS), Biga Peninsula.

1. GİRİŞ

1.1 Heyelanlar

Genel olarak, bir yamaçtaki kaya, toprak zeminin veya molozların yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlanan heyelanlar (Cruden, 1991) nedeniyle, dünyada her yıl yaklaşık 600 kişinin yaşamını yitirdiği bilinmektedir (Schuster ve Fleming, 1986). Bunun yanı sıra, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Avusturya, Fransa, İtalya, İsviçre ve Hindistan'da heyelanlardan kaynaklanan yıllık ekonomik kayıpların 1 ile 5 milyar dolar arasında olduğu tahmin edilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de doğal afetler nedeniyle her yıl birçok insan yaşamını kaybetmekte ve önemli düzeyde ekonomik zararlar oluşmaktadır. Dünya geneli için Alcantara-Ayala (2002) tarafından yapılan bir değerlendirmede, heyelanlar dünyanın hemen her bölgesinde karşılaşılan doğal tehlikelerdir.



Şekil 1. Türkiye heyelan tehlikesi haritası (T.C. Bayındırlık Bakanlığı, 2016)

Ülkemizde sel ve heyelan, depremlerden sonra en büyük can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerdir. Bu çalışmanın da temelini oluşturan ve doğal afetlerden biri olan heyelan türü afetler ülkemizde oldukça fazla sayıda tekrarlanmaktadır. Türkiye'de heyelanlar, başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere, İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinde sıkça meydana gelen doğal afet olaylarıdır (Şekil 1). Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün arşivindeki, 1958-2000 yılları arasında, olmuş ve muhtemel heyelan verilen derlenerek hazırlanmış illere göre heyelan tehlikesi haritası aşağıda verilmektedir.

Türkiye'de heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından depremlerden sonra ikinci sırada

yer almaktadırlar. Heyelanlar, can kayıplarının ve ekonomik zararlarının yanı sıra, kentleşmeye zarar vermekte, tarım ve orman alanları ile akarsuların kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Schuster ve Fleming, 1986). Bir bölgede heyelanların oluşabilmesi için hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerden bir veya bir kaç etkin olabilir. Çoğu zaman heyelan zararları, heyelanı tetikleyen en önemli faktörlerden olan deprem ve aşırı yağış süreçleri içerisinde değerlendirilmekte ve bunun sonucu olarak heyelan zararlarının boyutları gerçeğinden daha düşük tahmin edilmektedir (Schuster, 1996). Örneğin, 1994 yılında Kuzeybatı İtalya'daki Piedmon bölgesinde yaşanan aşırı yağışlar ile buna bağlı gelişen heyelanlarda 44 kişi yaşamını yitirmiş, 2000 kişi evsiz kalmış ve 10 milyon doların üzerinde maddi kayıp oluşmuştur (Luino, 1999). Bu kayıpların meydana gelmesindeki temel nedenin kuşkusuz aşırı ve şiddetli yağışlar olmasına karşın, heyelanların da kayıplar üzerinde önemli ölçüde etkisi olmuştur. Gerçekte her iki olaydan kaynaklanan zararların ayırt edilmesi olanaksızdır. Bu nedenle konuyla ilgilenen araştırmacılar, ekonomik zararlarla can kaybına neden olan ve birbirine bağlı olarak gelişen doğa olaylarında genelde kabul ettikleri en önemli olayı, temel neden olarak dikkate almaktadırlar. Heyelanları depremler ile aşırı ve şiddetli yağışlar tetiklediğinden, çoğunlukla heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından ikincil özelliğe sahiptir. Ancak, heyelanlar zaman zaman depremler ve aşırı yağışlar gibi doğal tetikleyici unsurlar olmaksızın da meydana gelebilmektedir. Heyelanlarda zamana bağlı bir artış söz konusudur (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Heyelan tehlikesi özellikle yerleşim bölgelerinde yüksek risklere sebep olmaktadır. Örneğin Türkiye ve Yunanistan'ı bağlayarak güney Avrupa'ya da gazını sağlayacak olan gaz boru hattı 2006 Şubat'ında Karacabey'de bir heyelan nedeniyle hasar görmüştür (Topal ve Akın, 2009). Bu hat Karacabey'den Batı'ya doğru ilerleyip Biga Yarımadasından da geçmektedir. Özellikle yerleşim alanları, ulaşım ve altyapı tesisleri düşünüldüğünde bölgedeki heyelan alanlarında zamansal izleme çalışmaları yapılmalıdır.

Çanakkale; Türkiye'nin kuzeybatısında Anadolu'nun batı uzantılarından biri olan Biga Yarımadası ile Balkan Yarımadasının Doğu Trakya bölgesine bağlanmış Gelibolu Yarımadası toprakları üzerinde bulunmaktadır. Edremit Körfezi'nden başlayarak kuzeydoğudaki Erdek Körfezi'ne doğru çekilen hattın batısında kalan yaklaşık 10 bin km² 'lik bölüme "Biga Yarımadası" denir. Yarımada bu adı, kuzeydoğusunda bulunan Biga ilçesinden almaktadır. Biga Yarımadası'ndaki başlıca morfolojik üniteler ise batı, kuzey ve güneyde irili ufaklı kıyı ovaları ve bunların gerisinde tepelikler, platolar ve iç kesimlerde yüksek dağlık alanlardır. Ancak orta kesimlerde platolar ve dağlık kütleler arasına sıkışmış tektonik depresyonlara sıkça rastlamak mümkündür.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu projenin temel amacı, geomatik tabanlı ölçme yöntemlerinin yanısıra jeolojik ve jeofizik teknikler de kullanılarak heyelan alanlarındaki deformasyonların zamana bağlı olarak üç boyutlu modellenmesidir. Bunun için GPS/GNSS, InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) ve İHA (İnsansız Hava Aracı) gibi ölçme yöntemleri seçilmiştir. GPS/GNSS yönteminde ölçüm noktalarının proje amacına uygun olarak heyelan karakteristiğini yansıtacak şekilde konumlandırılması amacıyla jeofizik ve jeoloji yöntemleri de proje kapsamında kullanılmıştır. Bu durumda, proje üç farklı mesleki disiplin içerdiğinden çok disiplinli bir proje halini almıştır. Bu sayede heyelan alanlarının jeolojik ve litolojik özelliklerinin yanı sıra ortamdaki sıcaklık, basınç, gözeneklilik, geçirgenlik, su doygunluğu ve suyun yer içindeki dağılımı gibi farklı fiziksel özelliklere bağlı olarak zemindeki yeraltı yapıları (zemin tomografisi) ortaya konulmuştur. Böylece proje kapsamında heyelan lokasyonlarındaki zemin yapısının zamana bağlı değişimleri de izlenmiştir.

Heyelana duyarlı alanlardaki kentsel ve endüstriyel gelişmeler, ormanların tahrip edilmesi ve iklim değişikliklerinden kaynaklanan bölgesel yağışlardaki artışlar gibi nedenlerle oluşan heyelanların yönünde farklı ölçme yöntemleriyle katkı sağlanan bu projenin diğer bir amacı da sözü edilen mesleki disiplinlerden gelecek sonuçlarla heyelan alanlarına ilişkin tematik harita üretimidir. Böylece proje süresi olan üç yıl boyunca farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar, bilimsel yorumlamalar ve görsel ürünler ile heyelanların karakteristiği zamansal olarak ortaya çıkarılmasa çalışılmıştır. Bu sayede heyelanların mevcut durumu tam olarak ortaya konarak doğal afetlere karşı geleceğe dönük alınacak tedbirler için ülke ekonomisine katkı olarak bir altlık ortaya çıkarılmıştır. Bunun sonucunda Çanakkale’de daha önce bu perspektifle bir arada çalışılmamış 5 farklı aktif heyelan alanı için bilgiler üretilmiştir.

1.3 Biga Yarımadası’nın Genel Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri

Biga Yarımadası’nın jeolojisi, başlıca metamorfik topluluklar, ofiyolitik topluluklar, Neojen havza çökelleri ve Eosen’den başlayıp Pliyosen’e kadar aralıklarla gelişimini sürdürmüş magmatik aktivitenin ürünlerinden oluşur (Şekil 2).

Kuzeybatı Anadolu’da yer alan Biga Yarımadası’nın temelini, farklı yapısal, stratigrafik ve metamorfik özelliklere sahip, kıtasal parçalardan oluşan Sakarya Kuşağı’nın metamorfik kayaları oluşturmaktadır (Okay vd., 1990). Bingöl (1968) tarafından “Kazdağ Grubu” olarak adlandırılan bu temel, Permien öncesi metadümit, metaharzburgit, metagabro, piroksenit, amfibolit, gnays, şist ve mermerlerden oluşmaktadır. Bu yüksek dereceli metamorfik

kayalardan oluşan Kazdağ Grubu KD yönelimli yapısal bir kubbe oluşturur (Bingöl, 1969; Okay vd., 1990; Okay vd., 1996; Duru vd., 2004). Kazdağ grubunu oluşturan yüksek dereceli metamorfik kayalar Kuzeybatı Anadolu'da Karakaya Kompleksi altından bir tektonik pencere olarak yüzeylenirler (Duru vd., 2004).

Biga Yarımadası'nın içinde bulunduğu Sakarya kuşağında geniş yayılım sunan ve deformasyona bağlı olarak karmaşık bir iç yapıya sahip Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi ilk olarak Bingöl vd. (1975) tarafından "Karakaya Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Okay vd. (1990), Karakaya Kompleksi içinde birbirleriyle olan ilişkileri net olarak gözlenmemekle birlikte benzer yaşta fakat değişik havza koşulları ve tektonik ortamları yansıtan dört farklı birim ayırt etmişlerdir. Bu birimler alttan üste doğru Nilüfer birimi, Hodul birimi, Orhanlar grovaki ve Çal birimidir.

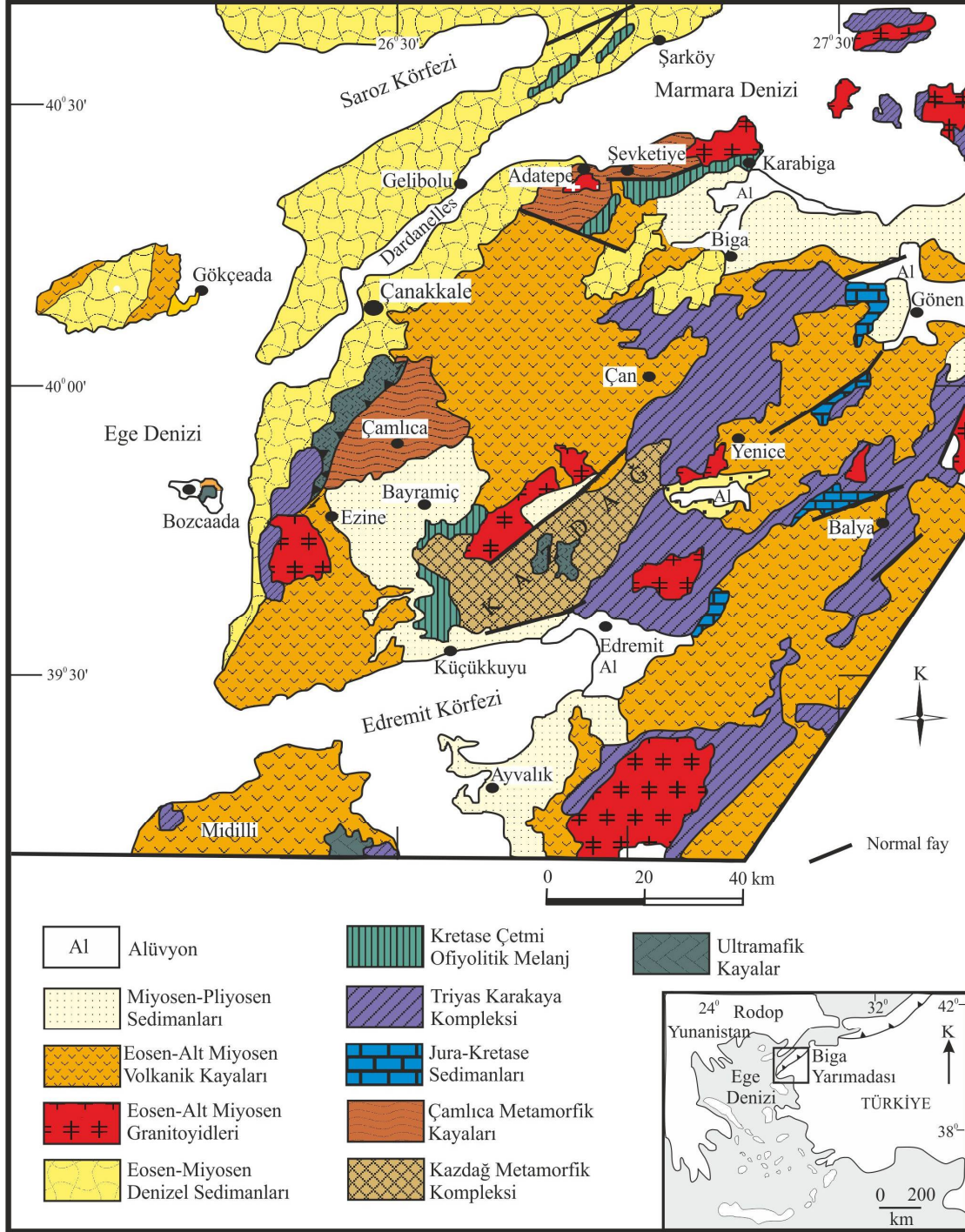
Biga Yarımadası'nda geniş yayılım sunan Üst Kretase yaşlı Çetmi ofiyolitik melanji (Okay vd., 1990), başlıca spilit, grovak, pelajik şeyl, serpantin ve radyolaritlerden oluşan, karmaşık ve düzensiz bir iç yapıya sahip olup, Şengör ve Yılmaz (1981)'in tanımladığı Rodop-Pontid parçasını Sakarya Zonu'ndan ayıran Pontid-içi kenedini temsil eder.

Biga Yarımadası'nda Sakarya kıtası ile Torid-Anatolid platformlarının çarpışmasını takiben ve daha sonra gerilme etkisi altında olmak üzere Eosen'den Pliyosen'e kadar farklı dönemlerde aktif olmuş magmatizmanın plütonik ve volkanik ürünleri bir arada ve yaygın olarak bulunmaktadır. Bu magmatizmanın ürünleri kalkalkalen nitelikli granit, granodiyorit, kuvars diyorit, kuvarslı siyenit ve kuvars monzonitik derinlik kayaçlarının yanı sıra andezit, dasit, riyolit ve asidik tüflerden oluşan volkanik kayaçları içerir (Ercan vd., 1995). Gerilme tektonizması etkisiyle oluşmuş alkalen nitelikli bazaltik kayaçlarda Biga Yarımadası'ndaki volkanizmanın son evrelerinde oluşmuş ürünlerdir (Ercan vd., 1995, Aldanmaz vd., 2006).

Bölgenin Orta Eosen sonrasındaki çökel kayaları, lagüner fasiyeste, Orta-Üst Eosen yaştaki Soğucak Kireçtaşı ile başlar. Soğucak Kireçtaşı'nın çökeliminden sonra havzanın güney şelfi giderek derinleşmiş ve genellikle türbidit karakterli kumtaşları ile şeyl ve marnlardan oluşan Ceylan Formasyonu çökelmiştir. İç kesimlerde Erken-Orta Miyosen'deki volkanizma ile eş zamanlı olarak karasal birimler çökelmiştir. Çan çevresinde Çan Formasyonu olarak isimlendirilen (Siyako vd., 1989) bu karasal birimler bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşur. Miyosen dönemine ait bu çökeller, Oligo-Miyosen'in andezitik volkanitler üzerinde uyumsuzlukla yer alır.

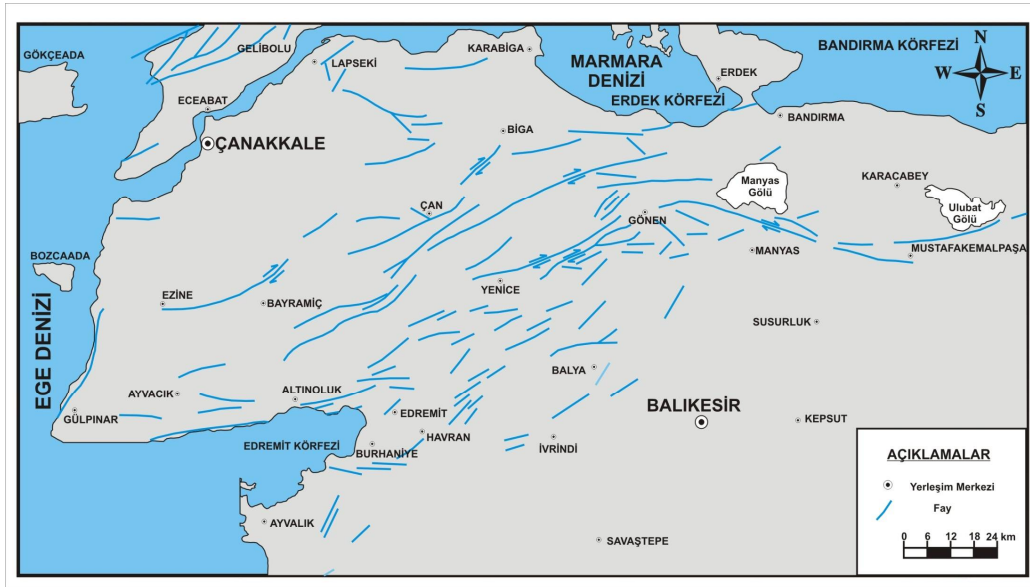
Biga Yarımadası'nda Pliyo-Kuvaterner döneminde Bayramiç Formasyonu olarak adlandırılan (Siyako vd., 1989) çakıltası, kumtaşı ve şeylden oluşan flüviyal sedimanlar ile gölsel

karbonatlar çökelmiştir. Bayramiç Formasyonu, genellikle daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuzdur; yalnızca Çanakkale güneyinde Alçitepe Formasyonu ile geçişli görülmektedir (Siyako vd., 1989). Alçitepe Formasyonu; Gazhanedere ve Kirazlı Formasyonları ile yanal ve düşey geçişli, sığ denizel bir birim olup, kumtaşı, çakıltaşı, şeyl, marn ve bu birim için karakteristik olan oolitik kireçtaşlarından oluşur.



Şekil 2. Biga Yarımadası'nın genel jeoloji haritası (Okay ve Satır 2000'den değiştirilmiştir)

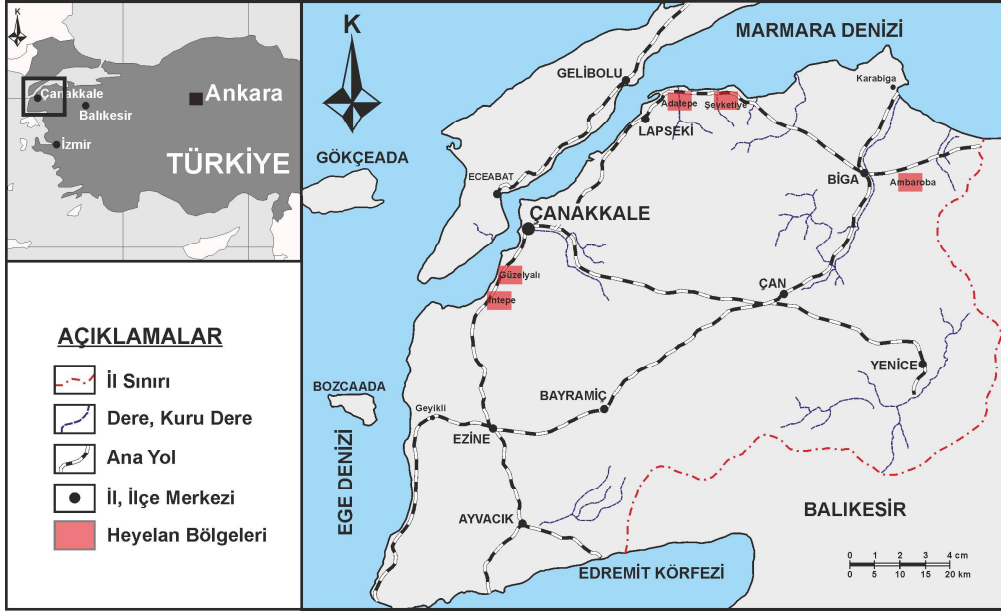
Biga Yarımadası'nın yapısal etkinliği üzerinde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) etkin rol oynamaktadır. KAF Batı Anadolu'da kollara ayrılmaktadır. Kuzeydeki kol Marmara Denizi içerisinde Saros Körfezi'ne, oradan da Ege Denizi'ne uzanır. Ganos Fayı ve denizin içerisindeki Yunanistana kadar uzanan kesimi çok aktiftir. Orta ve güney kollar ise, Güney Marmara Bölgesi ve Biga Yarımadası'nı KD-GB doğrultusunda kat ederek kuzey Ege ve Edremit Körfezi'nden Ege Denizi'ne ulaşır. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun orta ve güney kolları; Biga Yarımadası'nda Etili Fayı, Çan-Biga Fayı, Yenice-Gönen Fayı, Edincik Fayı, Pazarköy-Hamdibey-Kalkım Fayı, Edremit Fayı, Sarıköy-İnova Fayı ve Karabiga Fayı ve bir çok tali fayla temsil edilmektedir. Siyako vd., (1989) hazırladığı haritada aktif olarak gösterilen bu fayların tümü Biga Yarımadası'nın deprem riskini doğrudan etkilemektedirler (Şekil 3). KB Anadolu bölgesi ve özelde Biga Yarımadası, Neotektonik dönemin başlangıcı olan orta-geç Miyosen'den beri KB-GD doğrultulu bir sıkışma rejimi altındadır. Bölge günümüzde de bu sıkışma rejimi altında gelişen çoğunlukla sağ yanal doğrultu atımlı faylar ve bu faylar üzerinde meydana gelen depremler ile şekillenmeye devam etmektedir.



Şekil 3. Biga Yarımadası'nın aktif fayları (Siyako vd., 1989)

1.4 Heyelan Bölgelerinin Konumları

Proje kapsamında ele alınan heyelan bölgeleri, Kuzeybatı Anadolu'da Biga Yarımadası'nın kuzey kesiminde Ambaroba, Şevketiye, Adatepe köylerini, batı kesiminde Güzelyalı ve İntepe beldelerini kapsamaktadır (Şekil 4). Çalışma alanları 1/25.000 ölçekli Çanakkale H16-c4, H17-b1, b2 ve Bandırma H18-c2 paftaları içinde yer alır. Bölgelere ulaşım Çanakkale-Lapseki-Biga ve Çanakkale-Ezine karayolları ile yapılmaktadır.



Şekil 4. Heyelan bölgelerini gösteren yer bulduru haritası

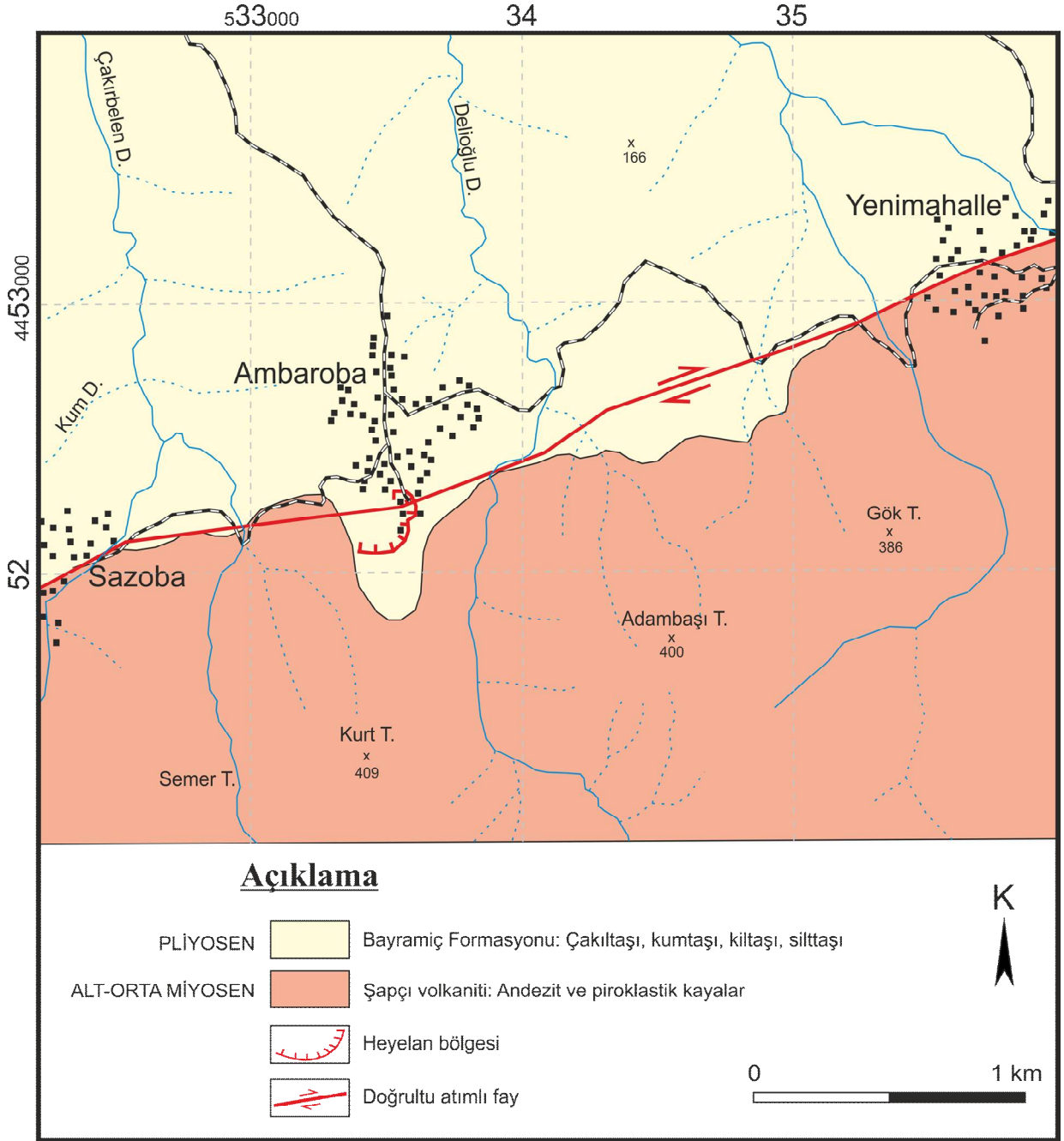
1.5 Heyelan Bölgelerinin Jeolojisi ve Petrografisi

1.5.1 Ambaroba Bölgesi

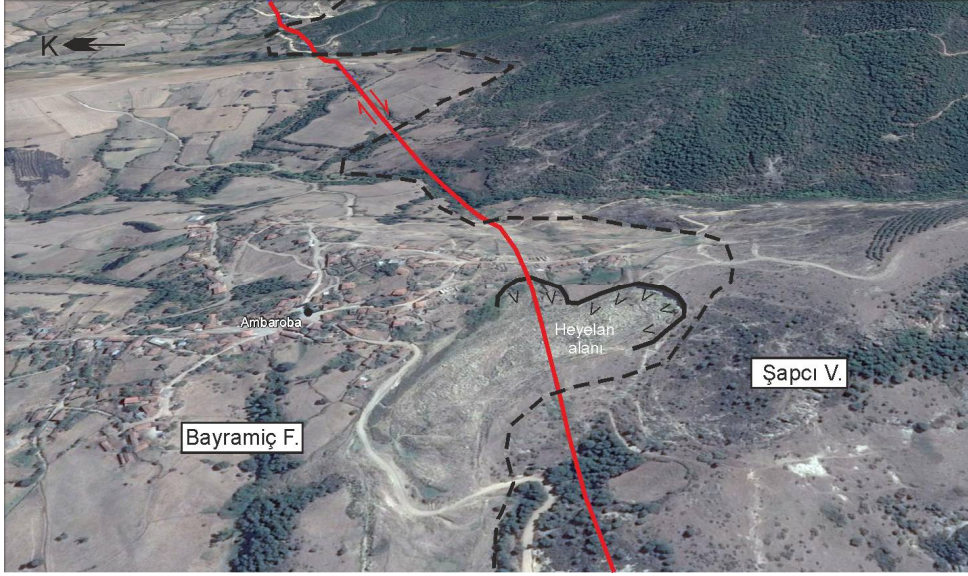
Ambaroba Heyelanı, Çanakkale ilinin Biga ilçesine bağlı Ambaroba Köyü çevresinde oluşmuştur. Bölgede halen devam etmekte olan heyelan hareketleri 1992-2006 yılları arasında önemli ölçüde etkili olup köy içindeki bazı hanelerin yıkımına neden olmuştur. Drenaj ağı, iklim ve yağış gibi faktörler kütle hareketlerinde etkili olabilmektedir. Ancak, alan jeolojik ve jeomorfolojik açıdan değerlendirildiğinde heyelanı tetikleyici litolojik ve aktif tektonik faktörler önemli ölçüde dikkati çekmiştir.

Ambaroba heyelan bölgesinde gerçekleştirilen jeolojik incelemeler, Miyosen döneminde etkinlik göstermiş andezit volkanizmasının ürünü olan Şapçı volkanitleri (Dönmez vd., 2005) ile Pliyosen döneminde çökelmiş Bayramiç Formasyonu'na (Siyako vd., 1989) ait kaya birimlerinin varlığına işaret eder (Şekil 5). Yüksek alanlarda görülen volkanitler oldukça sağlam ve kompakt bir yapıya sahiptirler. Dolayısıyla bu alanlarda herhangi bir heyelan akması beklenmez. Bölgedeki, heyelan hareketlerinin Bayramiç Formasyonu'na ait sedimanter çökeller içinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 6). Bayramiç formasyonunun bölgedeki yüzlekleri incelendiğinde, genellikle sarımsı, bej renklere kumtaşı ve konglomera litolojileri geniş alanda izlenir. Kumtaşları sarımsı, kirli sarı, gri renklere görülür ve çok iyi çimentolanmamışlardır. Görülen mostralarında net bir tabakalanma sunmazlar. Ancak

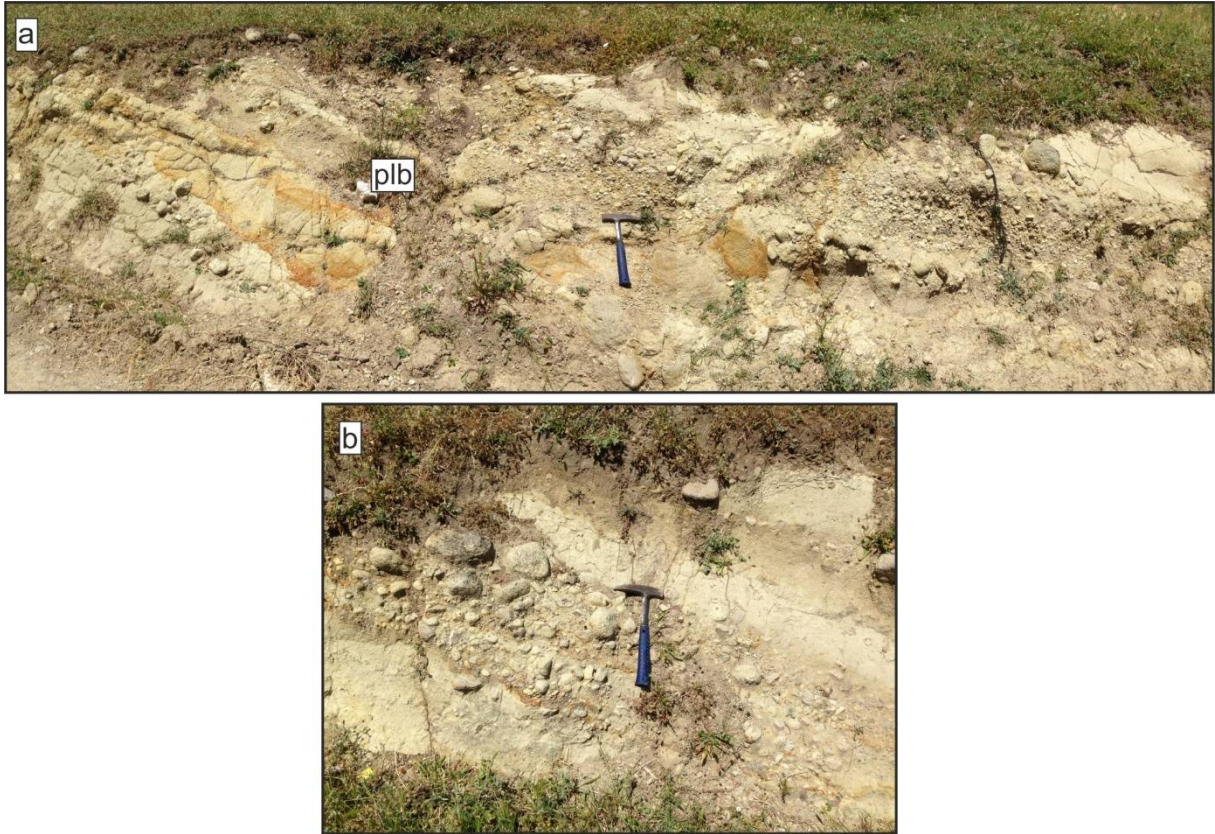
konglomeralar ile olan düzenli aralanmasının gözlemlendiği bir alanda K45B/14KD'ya doğru yönelimli oldukları görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 5. Ambaroba köyü ve çevresinin jeoloji haritası

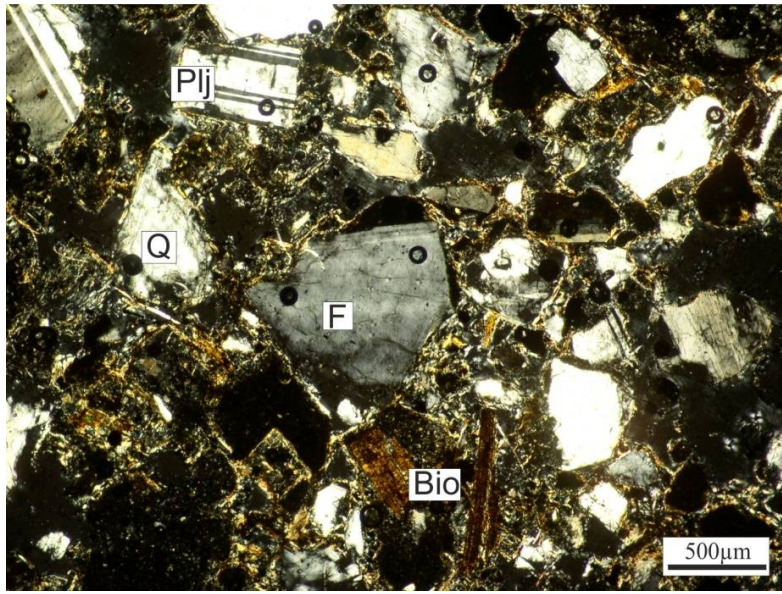


Şekil 6. Ambaroba'da heyelanın gerçekleştiği sedimanter ve volkanik kayaların sınırı



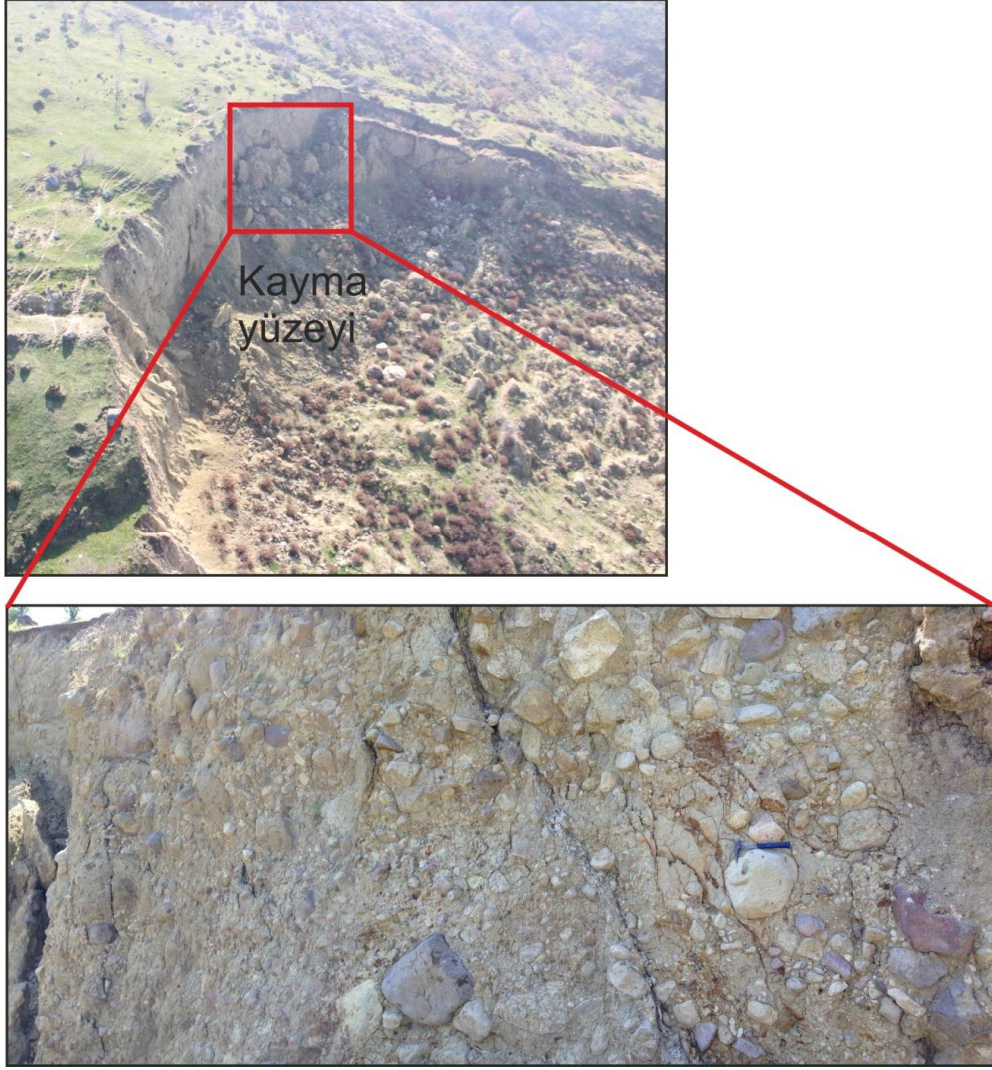
Şekil 7. a) Ambaroba köyü ve çevresinin jeoloji haritası Ambaroba köyü içinde Bayramiç formasyonunun (plb) yakından görünümü (UTM: 433645 D, 4452372 K), b) Bayramiç formasyonunda gözlenen kumtaşı-çakıltaşı ardalanması (UTM: 433653 D, 4452486 K)

Bayramiç Formasyonu'na ait kumtaşlarındaki petrografik incelemelerde çoğunlukla orta-iri taneli kuvars ve plajyoklas minerallerine rastlanılmaktadır. Bu minerallerin dışında daha nadir olarak alkali feldispat ve biyotit mineralleri göze çarpar (Şekil 8). Kuvars mineralleri öz şekilsiz ve iri taneler olarak bulunur. Plajyoklas mineralleri yarı özşekilli ve polisentetik ikizlidirler. Alkali feldispat mineralleri gri renkli girişim renkleri ve belli belirsiz dilinim izleri ile kuvars mineralinden ayırtedilebilirler. Mika mineralleri olarak muskovitler daha çok mikro kristaller şeklinde yer alırken, bölgedeki volkanik kaynaklardan gelen biyotit mineralleri orta taneli ve çubuksu şekillerde gözlenirler. Sarımsı kavre rengi girişim renkleri, yüksek rölyefleri ve kahve rengi tonlarındaki pleokroizmaları ile diğer minerallerden kolaylıkla ayırt edilebilirler.



Şekil 8. Bayramiç formasyonunu ait volkanojenik kumtaşı ince kesit görüntüsü (Çift Nikol- Q: Kuvars, F: Feldispat, Plj: Plajyoklas, Bio: Biyotit)

Köyün içinde ve çevresinde konglomeralarla beraber kumtaşlarına sık rastlanılır. Ancak heyelanın gerçekleştiği köyün güneyinde kalan alanda kumtaşları neredeyse yoktur, çakıl boyutlarınının 1-50 cm arasında değiştiği bloklu konglomeratik seviyeye geçilir. Konglomeralar, çok iyi pekleşmemiş kumlu ve çakıllı çimento ile tutturulmuştur (Şekil 9). Çok net görülmeyen konglomeraların konumları DB/15K'yi göstermektedir. Çakıl ve bloklardan derlenen numunelerde bunların çoğunlukla çevredeki volkanik kayaç parçalarını temsil ettikleri görülmüştür. Farklı renklerde ve büyüklüklerdeki bloklar oldukça dağınık ve hemen kopabilen özelliğe sahiplerdir. Dolayısıyla Ambaroba köyünün güneyinde gözlenen bu konglomeratik birim, mevsimsel yağışın etkisiyle kolaylıkla hareket edebilmektedir. Bu hareketin devamlılığı ise muhtemelen bölgedeki çok dayanımlı volkanik kayaçlar ile Bayramiç formasyonunun sınırına kadar devam edecektir.



Şekil 9. Ambaroba heyelanında kayma yüzeyi içinde gözlenen Bayramiç formasyonuna ait çakıl ve blok parçaları (UTM: 433504 D, 4452146 K)

Ambaroba köyündeki heyelan alanı Türkiye diri fay haritasında belirtilmiş Biga fayına ya da MTA yenilenmiş diri fay haritalarında Sinekçi ismiyle anılan faya yakın bir konumda bulunmaktadır. Bu çalışma ile heyelan alanı çevresinde yapılan diri faylara dair araştırmalar neticesinde, bitki örtüsü dokusundaki çizgisellikler, yamaçlarda bulunan eğim kırıklıkları ve bilhassa ötelenmiş dere yatakları dikkate alınmıştır ve heyelan bölgesi çevresindeki Biga fay hattı iyi bir şekilde belirlenmiş olup önceki haritalar revize edilmiştir. Gerek Sazoba gerekse Ambaroba civarındaki iki derenin yatağı bu fayla sağ yanal olarak yaklaşık 200 m atıma uğramış vaziyettedir. Ambaroba ile Yenimahalle arasında bulunan bu derelerden biri olan Delioğlu deresindeki atım dar bir zonda gelişmiş olup çok belirgindir (Şekil 5). Bu atım bölgeleri, yamaçlardaki eğim kırıklıkları ile aynı hattı takip ediyor olup hat genel olarak hafifçe sağa bükülme yapısı sunarak heyelan bölgesinin içinden geçer. Fay geometrisi ve atım yönü

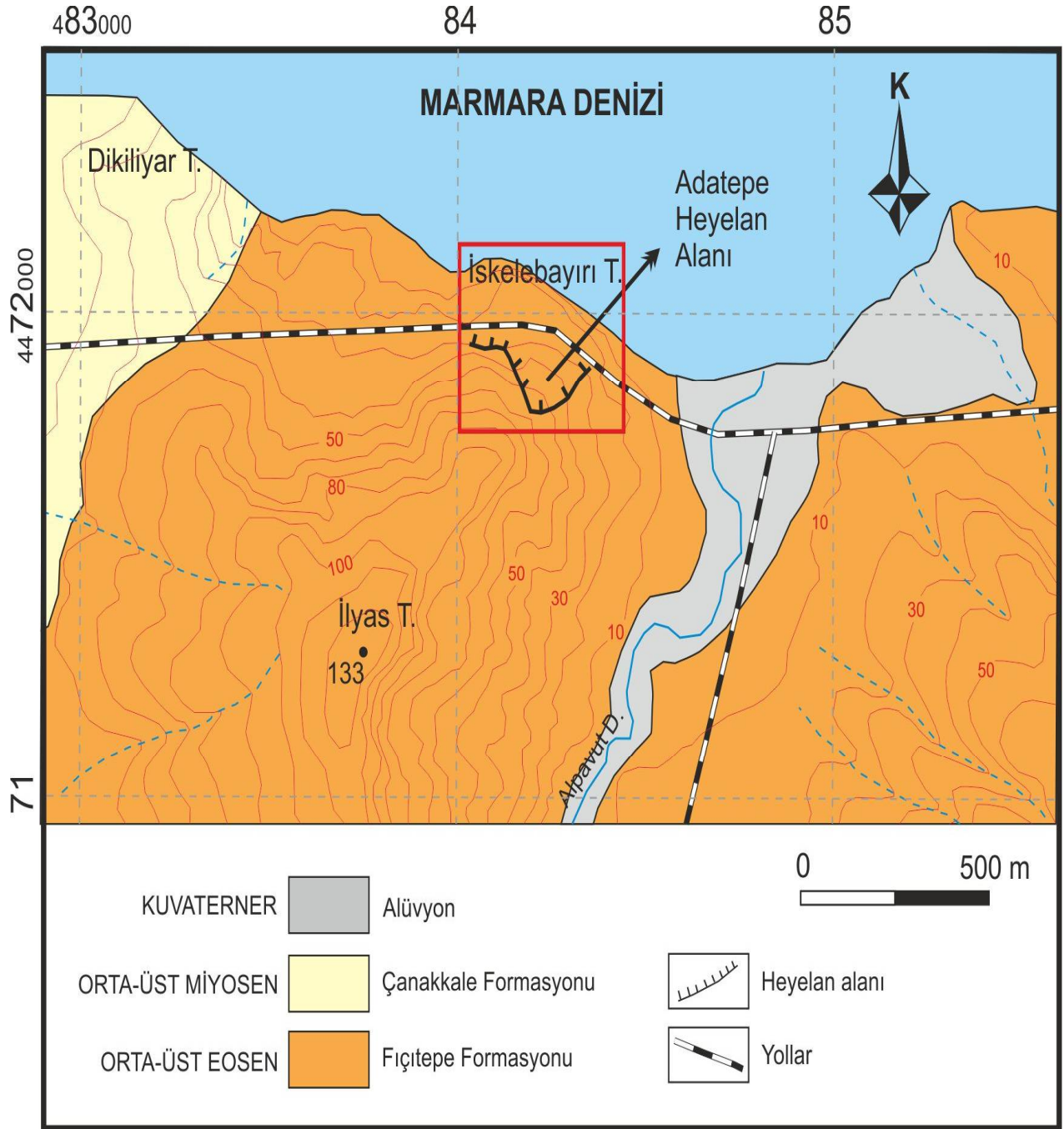
arasındaki ilişkiden ötürü sağ yanal fay üzerinde sağa bükülme bölgelerinde yerel olarak genişleme rejimi görülür. Ayrıca heyelanın bulunduğu yamacın derelerle sınırlandırılmış yamaca dik sırtı faya dik bir şekilde uzanmakta olup bunun Sazoba'ya bakan kısmının ucu fay tarafından kepenklendiği için yamaç büyük ölçüde duraysız heyelan gelişimine elverişli duruma gelmiş bulunmaktadır. Bölgenin sağ yanal atımlı fayın sağa büküldüğü alanda olmasından dolayı genişlemeli bir rejim içerisinde bulunması da göz önünde bulundurulduğunda heyelanın gelişimine etki eden önemli yerel aktif tektonik faktörlerin yer aldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca ana heyelana eşlik eden ve bunun eksenini hemen hemen dik bir şekilde kesen yan bir heyelan eksenini bahsi geçen delillerle sabitlenmiş fay hattının tam üzerinde bulunmaktadır. Bu tâlî heyelanın fay zonunun gevşek yapısı ile ilgili olarak fay hattı boyunca geliştiği düşünülmüştür. İncelediğimiz hat geometrik bir kesintiye uğramadan uzandığından dolayı, yaklaşık 20 km civarında uzunluğa sahip bir segmanı temsil ediyor olabilir. Çalışmamızda Obalar segmanı olarak isimlendirilen bu muhtemel segmanın, yalnız başına yenilmesi halinde, hat üzerinde "ağır" derecede sarsıntı ve "orta" ölçüde hasar yapabilme potansiyeline sahip olduğu rahatlıkla önerilebilir. Heyelanın gelecekte karşı karşıya bulunabileceği bu şiddette bir sarsıntıda önemli ölçüde etkileneceği açıktır. Konglomeratik yamaç molozu özelliğindeki litolojinin faya yakınlığı duraysızlığı arttırıcı diğer önemli faktörlerdendir. Çünkü faylara yakınlık kayaçlarda parçalanmaya neden olup yamaçların duraysızlığa daha da duyarlı bir hale dönüşmesine sebep olabilmektedir.

Bu hat üzerinde son heyelan hareketi döneminde ve modern zamanda deprem oluşmamış ayrıca tarihsel dönem depremi de bilinmemektedir. Hattın üzerine düşen GPS/GNSS hızları yılda birkaç milimetre mertebesinde olup (Straub vd., 1997; Reilinger vd., 2006) bu hız nazarı itibara alındığında deprem tekrarlama aralığı bin yıllar mertebesinde olabilir.

1.5.2 Adatepe Bölgesi

Biga Yarımadası'nın kuzeyinde yer alan Adatepe bölgesinde yaygın olarak Eosen sedimanları görülmektedir (Şekil 10). Eosen birimleri, ilk defa Gelibolu Yarımadası'nda, Sfondrini (1961) tarafından Fıçitepe birimi olarak tanımlanmış; daha sonra Biga Yarımadası'ndaki yüzlekleri için Siyako vd. (1989) ise Fıçitepe formasyonu olarak isimlendirmişlerdir.

Fıçitepe formasyonu olarak adlandırılan bu sedimanlara ait kumtaşı ve çakıltaşı birimlerinde yaklaşık 6-7 yıllık bir zaman sürecinde oldukça fazla kayma hareketlerinin olduğu görülmektedir (Şekil 11). Günümüzde de bu kaymaların metre mertebesine kadar ulaştığını söylemek mümkündür.



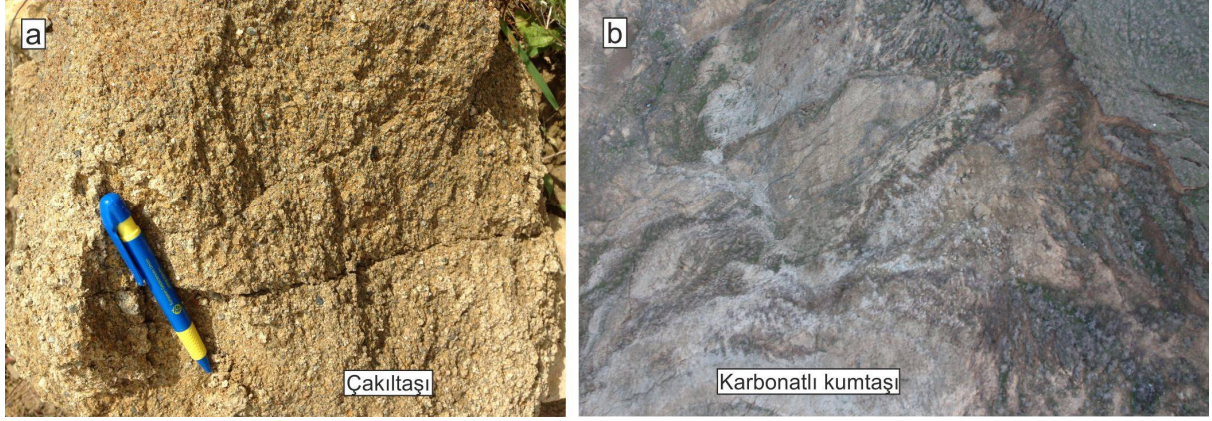
Şekil 10. Adatepe heyelan alanı ve çevresinin jeoloji haritası



Şekil 11. Adatepe heyelan alanının uydu görüntüsü ve bölgede gözlenen yüzey hareketleri

Kayma hareketlerinin görüldüğü alanda Fıçitepe formasyonuna ait birimlerin, çoğunlukla mikalı kumtaşı, çakıl taşı ve fosilli karbonatlı kumtaşlarından oluştuğu görülmüştür. Sarımsı-kahve renkli kumtaşlarında bol miktarda mika minerallerinden muskovit göze çarpar. Orta taneli, iyi pekleşmiş ve masif görünümündedir. Kumtaşları içinde gri renkli karbonatlı kumlu kireçtaşı seviyelerini de görmek mümkündür. Mikalı kumtaşları çakıltaşları ile ardalanmalı olarak gözlenir. Çakıltaşları sarımsı kahve renkli, iyi çimentolanmamış, kolaylıkla dağılabilen, bol çatlaklı bir özellik sunarlar (Şekil 12a). Çakıl boyları 2-15 mm arasında değişiklik gösterir. Çakıltaşı kumtaşı ardalanmasının üstünde açık gri renkli oldukça dağılgan özellik gösteren,

ince-orta taneli karbonatlı kumtaşları yer alır (Şekil 12b). Bu kumtaşları içinde bol miktarda makro fosile rastlanılmıştır (Şekil 13). *Globularia (Globularia) vapincana* (d'Orbigny) olarak tanımlanan makro fosiller bu birim için Orta Eosen yaşını yansıtmaktadırlar.



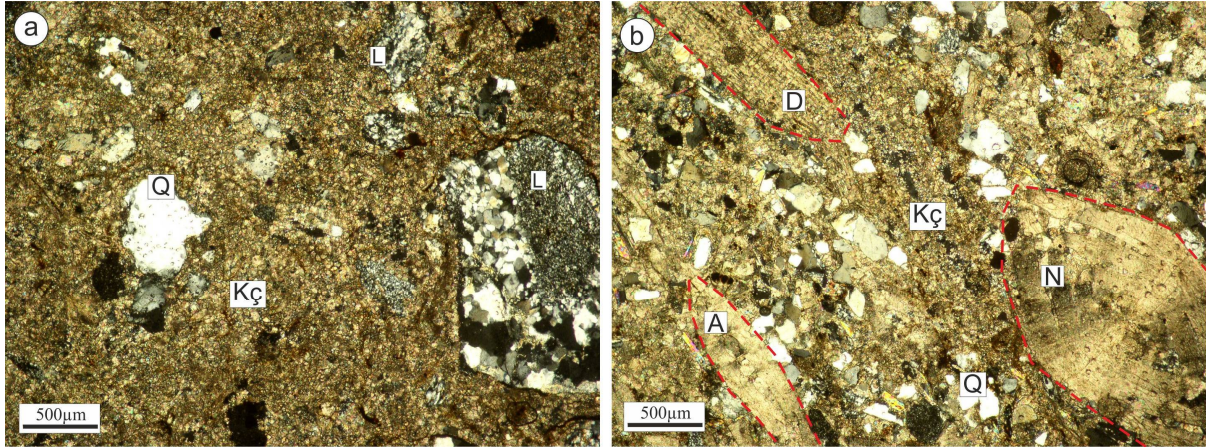
Şekil 12. a) Fıçitepe formasyonuna ait iyi çimentolanmamış çakıl taşları (UTM: 484173 D, 4471929 K), b) karbonatlı kumtaşları



Şekil 13. Karbonatlı kumtaşları içinde gözlenen makro fosiller

Bölgedeki çakıl taşlarının iyi çimentolanmamış ve kolay dağılabilen özelliğinden dolayı ince kesitleri elde edilememiştir. Kumtaşlarında gerçekleştirilen petrografik çalışmalarda, ana bileşenin orta taneli kuvars minerallerinden oluştuğunu söylemek mümkündür (Şekil 14a). Ayrıca çok sayıdaki mikro kuvars minerallerinin bir arada yer aldığı kaya kırıntıları da litik malzemeyi oluşturmaktadır. Mika minerallerinden muskovitler, levhamsı ve çubuksu şekillerden ziyade pulcuklar şeklinde mikro kristal olarak kumtaşları içinde yayılmışlardır. Elde edilen incekesitlerin hemen hemen tamamında Eosen dönemini yansıtan mikro fosillere rastlanılmıştır. Bu fosiller Operculina sp., Nummulites sp., Assilina sp. ve Discocyclina sp. olarak tanımlanmıştır (Şekil 14b). Kalsit bu kayalar içinde sparitik çimentoyu ve karbonatlı

kaya kırıntılarını temsil etmektedir.



Şekil 14. Fıçitepe formasyonunu ait fosilli kumtaşları ince kesit görüntüleri (Çift Nikol-Q: Kuvars, L:Kaya kırıntısı, D: Discocyclus sp. fosili, N: Nummulites sp. fosili, A: Assilina sp. fosili)

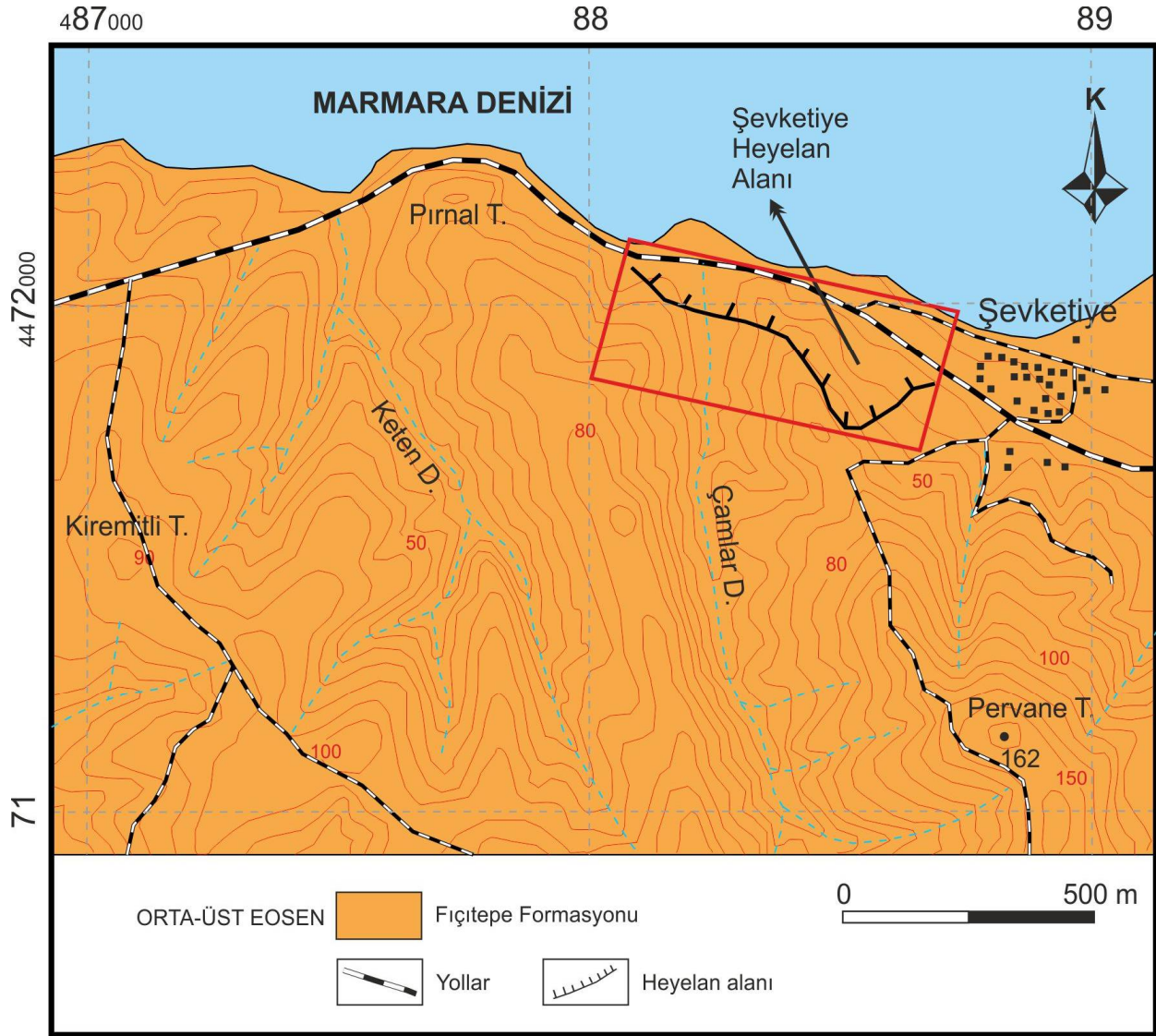
1.5.3 Şevketiye Bölgesi

Şevketiye bölgesindeki kayma hareketleri Adatepe bölgesinde olduğu gibi Fıçitepe formasyonuna ait sarımsı kahve renkli kumtaşı ve çakıltaşı birimleri üzerinde oluşmaktadır (Şekil 15). Bu iki heyelan bölgesi arasındaki mesafe yaklaşık 6-7 km dir. Bu mesafe içerisinde kumtaşlarının litolojisinde belirli bir değişiklik gözlenmemektedir.

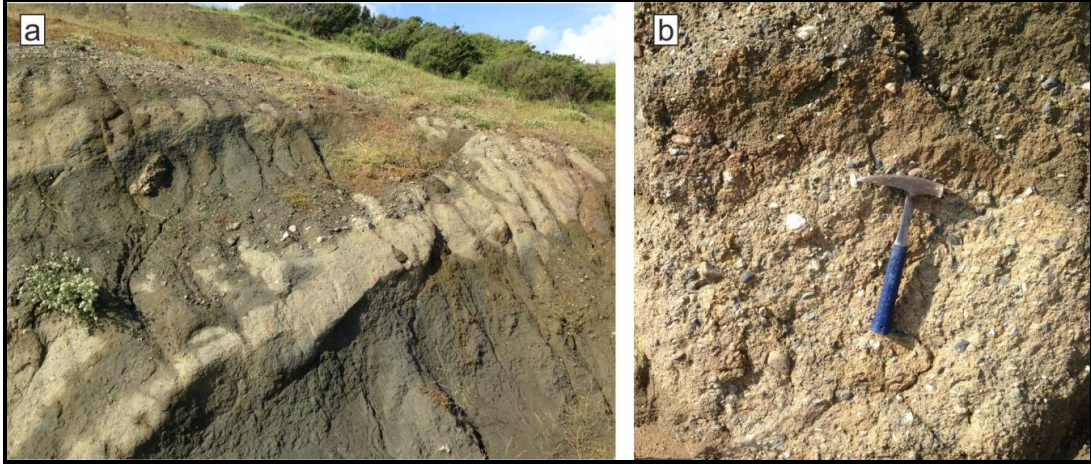
Kumtaşları masif ve iyi çimentolanmıştır. Çakıltaşı ise kumtaşlarına nazaran dayanımsız, pekleşmemiş gri-bej renklerde görülürler. Kumtaşı ve çakıltaşı birimleri ardanmalı olarak gözlenir (Şekil 16a). Çakılların boyutları Adatepe bölgesindekilere göre daha büyüktür ve 1-15 cm aralığında değişmektedir (Şekil 16b). İncelenen bazı büyük çakıl örneklerinin çoğunlukla kuvars ve volkanik parçaları temsil ettiği görülmüştür. Heyelan alanındaki birim üzerinde çok net bir tabaka düzlenimine rastlanılamamıştır. Ancak belirli bir dizilime sahip kumtaşı ve çakıltaşı ardanmasının gözlemlendiği bir alandan K75B/52KD yönünde doğrultu ölçülmüştür.

Kumtaşları ve çakıl taşlarının ardanmalı olarak yer aldığı bölgede dayanımsız, pekleşmemiş çakıl taşlarından ince kesit elde edilememiştir. Kumtaşlarında gerçekleştirilen incekesit çalışmalarında da Adatepe'deki fosilli kumtaşlarından ziyade bölgede daha çok volkanojenik ve litik malzemeli kumtaşları oldukları belirlenmiştir (Şekil 17). Minerallerin ince kesitte tayini ile kayacı oluşturan başlıca bileşenlerin orta taneli kuvarslar ve kaya kırıntılarında oluştuğunu söylemek mümkündür. Bunların yanısıra ufak kristaller halinde muskovit ve klorit mineralleri yer alır. Ayrıca bazı kesitlerde plajyoklas kristallerine

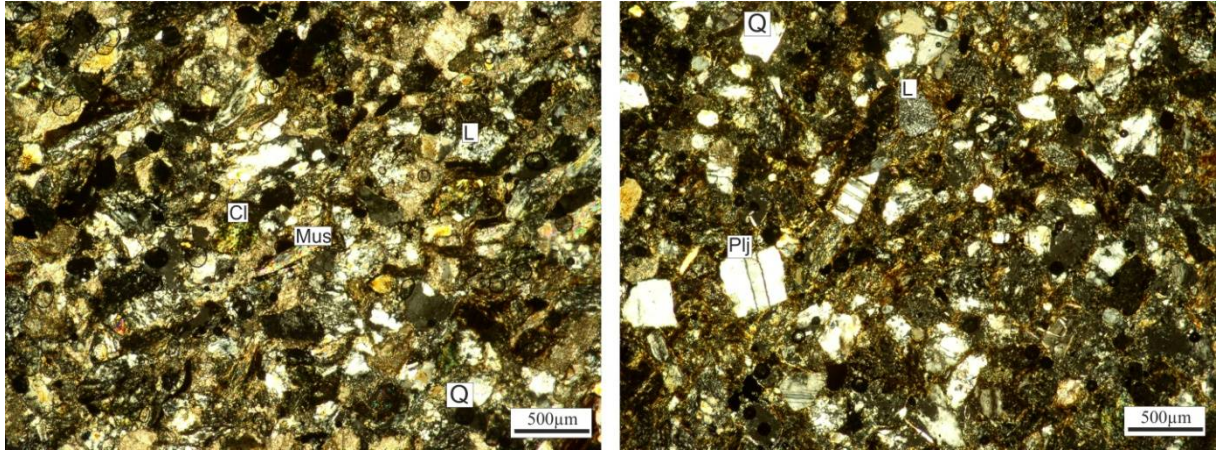
rastlanılmıştır. Plajoklas mineralleri genellikle köşeli taneler şeklinde görülür. Polisentetik ikizlenmeleri ile diğer minerallerden kolaylıkla ayırtedilebilirler. Plajoklasların varlığı muhemelen çevresindeki volkanik kayalardan sağlandığından kayaya volkanojenik bir köken katmıştır. Kaya kırıntılarının ise mikrit boyutundaki kalsit minerallerinden oluşmuş karbonat parçalarından ve mikro kuvarslardan oluştuğu görülmüştür. Kayacın çimentosu karbonattan oluşur.



Şekil 15. Şevketiye heyelan alanı ve çevresinin jeoloji haritası



Şekil 16. a) Fıçitepe formasyonuna ait kumtaşı-çakıltaşı ardalı, b) İyi çimentolanmamış çakıltaşı birimi (UTM: 488541 D, 4471955 K)



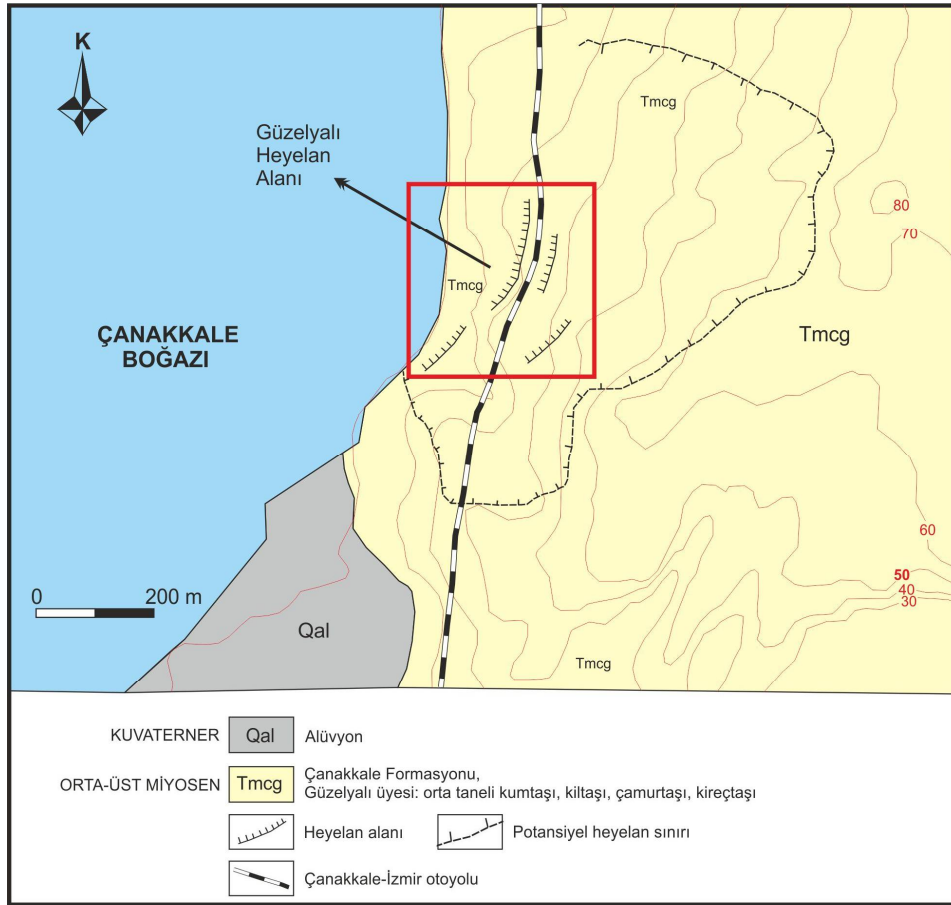
Şekil 17. Fıçitepe formasyonunu ait litik kumtaşı ince kesit görüntüleri (Çift Nikol- Q: Kuvars, L: Kaya kırıntısı, Cl: Klorit, Plj: Plajiyoklas)

1.5.4 Güzelyalı Bölgesi

Güzelyalı heyelan alanı, Çanakkale boğazı güney kıyısında, Güzelyalı köyü sınırları içinde yer alır. Güzelyalı ve çevresinde, denizel çökellerden oluşan Çanakkale formasyonuna (Şentürk ve Karaköse, 1987) ait birimler yüzeyler. Çanakkale formasyonu Saltık (1974)'ün Gelibolu formasyonu, Gazhanedere, Kirazlı ve Alçitepe formasyonuna karşılık gelir. Genel litolojisini çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı, marn, kalkaranit ve oolilik kireçtaşları oluşturur. Atabey vd. (2004) tarafından kıyı, lagün, gel-git kanalı gibi ortamlarda çökelen Çanakkale formasyonu, Güzelyalı üyesi, İntepe üyesi ve Tekkedere üyesi olmak üzere üç üye olarak tanımlanmıştır (Şekil 18).

SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
Neojen	Üst Miyosen	ÇANAKKALE	Tekkedere	75-90		Alüvyon (çakıl, kum silt toprak) <i>Uyumsuzluk</i>
			Güzelyalı	60-90		LAGÜN Fosilli, kavkı parçalı çamurtaşı, kumtaşı konglomera, lenticüler tabakalı kumtaşı, fosilli kalkarenit SET ADASI, OOID DÜZLÜĞÜ Kumtaşı, kalkarenit, mam, silttaşı, matralı, kavkı parçalı kireçtaşı, ooidli, stromatolitli kireçtaşı KIYI YÜZÜ PLAJ Ripilli, düzlemsel paralel, düzlemsel çapraz ve tekne türü çapraz katmanlı kumtaşı. HCS
			Kuvaterner	3-10		

Şekil 18. Çanakkale formasyonunun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Atabey vd. 2004)



Şekil 19. Güzelyalı beldesi ve çevresinin jeoloji haritası (Potansiyel heyelan sınırı Yiğitbaş vd., 2005'ten düzenlenmiştir)

Çalışma alanlarından biri olan Güzelyalı heyelan bölgesinde Çanakkale formasyonunun Güzelyalı üyesine ait birimler yüzeylemektedir. Bölgede incelenen Güzelyalı üyesi, egemen olarak orta taneli kumtaşı, daha az oranda çamurtaşı, kiltası ve alt seviyelerinde karbonatlı birimlerden oluşmaktadır (Şekil 19).

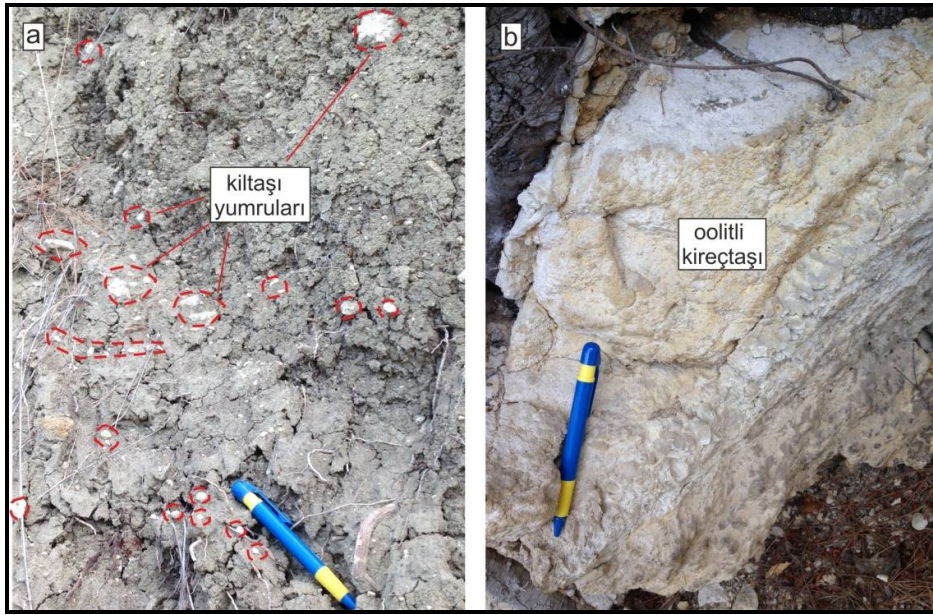
Heyelanın başladığı Çanakkale-İzmir ana yolu üzerinde sarı-bej renkli orta taneli tutturulmamış, gevşek kumtaşları yaygın mostrayı oluşturmaktadır ve genellikle masif görünüm sunarlar (Şekil 20a). Bunun yanı sıra gevşek kumlu birimlerin aralarında kalınlıkları 1-8 cm arasında değişen pekleşmiş, iyi çimentolu kumtaşı tabakaları mevcuttur (Şekil 20b). Bu kumtaşlarından ölçülen tabakalar K70B/19KD konuma sahiptir. Ayrıca bu kumtaşlarını irili ufaklı bloklar halinde gevşek malzemenin içinde dağılmış olarak görmek de mümkündür. Gevşek kumlu malzemenin olduğu bölgelerde bol miktarda çatlak yüzeyleri oluşmuştur. En ufak bir temasta kum taneleri hemen dağılma özelliği taşımaktadır. Kumlu seviyenin alt kesiminde gri renkli çamurtaşları yer alır ve bu çamurtaşları içinde ince kiltası bantları bulunmaktadır (Şekil 20c).



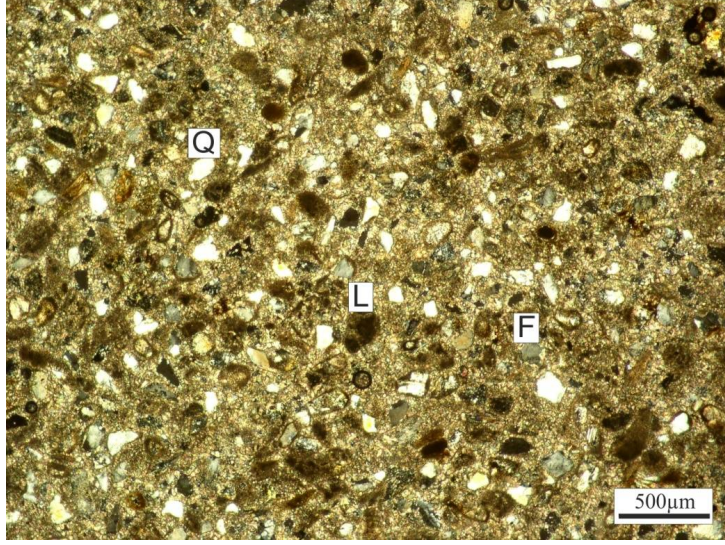
Şekil 20. a) Güzelyalı heyelan bölgesinde gözlenen Güzelyalı üyesi birimleri. b) Tutturulmamış kumlu seviye içinde gözlenen pekleşmiş kumtaşı tabakaları, c) Çamurtaşları içinde görülen kiltası seviyeleri (UTM: 445338 D, 4434567 K)

Bölgedeki Güzelyalı üyesinin daha alt kotlarında gri renkli çamurtaşları içinde büyüklükleri 1-7 cm arasında değişen, beyaz renkli bol miktarda kıltaşı yumruları yer alır (Şekil 21a). Kıltaşları bünyelerinde su tutma özelliklerinden dolayı heyelan oluşmasında etkili bir yer tutar. Heyelan sahası içerisinde yüzlek veren bu killer bölgede su ile tepkime içerisinde. Heyelan alanında gözlenen Güzelyalı üyesinin en alt seviyeleri ise karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Bu karbonatlar fosil kavrıklı ve oolitic kireçtaşlarını içerir (Şekil 21b).

Güzelyalı üyesine ait kumtaşlarında, klastik malzemeyi oluşturan kaya kırıntıları ve mineraller ince kesitte incelendiklerinde bunların çoğunlukla küçük kristalli kuvars minerallerinden ve nadir olarak da feldispat minerallerinden oluştuğu saptanmıştır (Şekil 22). Bunların yanı sıra kaya kırıntılarının mikrit boyutundaki kalsit minerallerinden oluşmuş karbonat parçalarından oluştuğu görülmüştür. Kumtaşlarını oluşturan bileşenler eş boyutludur ve taneli dokuyu oluştururlar. Kuvars mineralleri özşekilsiz ve 1.dizi girişim renkleri ile kolaylıkla ayırt edilmektedir. Feldispatlar ise gri renkli girişim renkleri ve orta dereceli rölyefleri ile kuvarstan ayrılmaktadırlar. Kumtaşlarına ait makro örnekler HCl asit ile tepkimeye girerek köpürürler. İncekesitlerde bu tepkimeyi gerçekleştiren sparitik kalsit mineralleri kayacın çimentosu görevini üstlenmektedir.

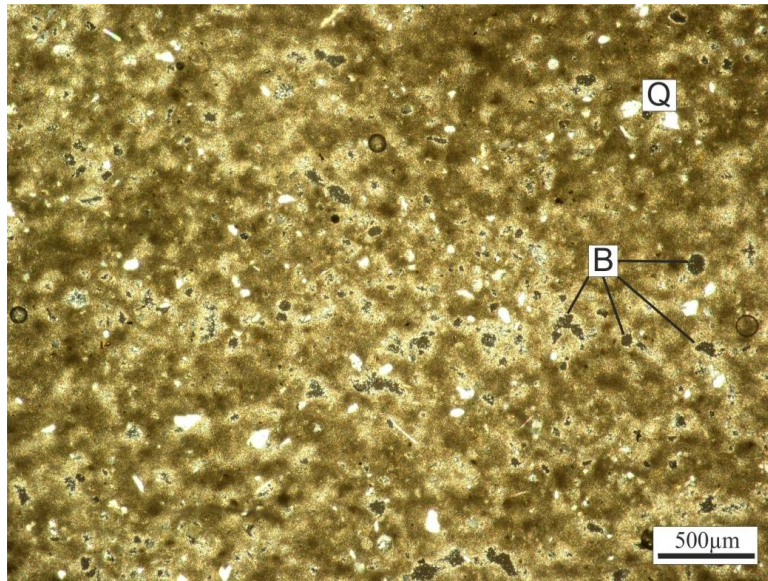


Şekil 21. a) Çamurtaşları içinde gözlenen kıltaşı yumruları, b) Güzelyalı üyesine ait oolitic ve fosil kavrıklı karbonatlı seviye



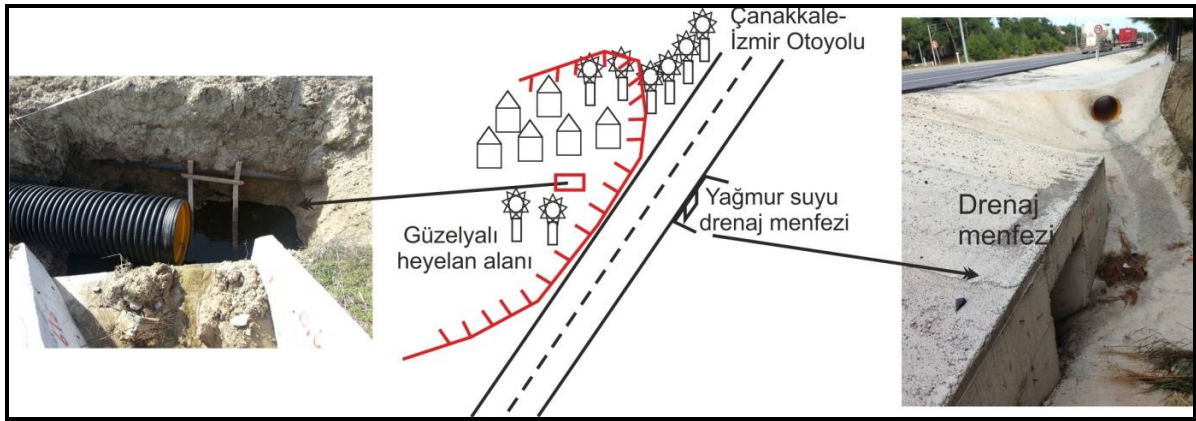
Şekil 22. Güzelyalı üyesine ait kumtaşlarının ince kesit görüntüsü (Çift Nikol-Q: Kuvars, F: Feldispat, L: Kaya kırıntısı)

Heyelan bölgesinde gözlenen silttaşları, kumtaşları ile yer yer araldanmalı olarak gözlenir. İnce kesitlerindeki incelemelerinde silttaşlarında mikro kristalli kuvars minerallerinin varlığı söz konusudur (Şekil 23). Kuvars taneleri hemen hemen eş boyutludur. Kayacın çimentosu ise mikrit boyutunda koyu renkli görülen kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Ayrıca kayaç içinde ufak boşlukların varlığı dikkat çekmektedir. Kayadaki bu boşluk miktarı kayacın bünyesine aldığı su miktarı ile doğru orantılıdır. Bu durumda su ile aşırı doymuş bu tür kayalar bünyelerinde tuttıkları suyun ağırlı ile hareket etme eğilimi sergilerler.



Şekil 23. Güzelyalı üyesine ait silttaşlarının ince kesit görüntüsü (Çift Nikol-Q: Kuvars, B: Boşluk)

Güzelyalı'da çalışma alanındaki kütle hareketlerinin gerçekleşmesinde jeolojik birimler ve topografya faktörlerinin yanı sıra çevresel bazı faktörlerinde rol aldığı göze çarpmaktadır. Örneğin; Çanakkale-İzmir Otoyolu'nun üst tarafında bulunan yağmur sularının aktarılması için kullanılan drenaj menfezinin, yolun karşı tarafında öncelikle bir çukur içine akıtıldığı ve buradan bir kanal sistemiyle denize ulaştırıldığı görülmektedir (Şekil 24). Jeolojik birimlerin gerek dayanımsız durumları gerekse içindeki kiltaşlarının suyu tutma özellikleri ve özellikle bu alanda toprağı etkileyen suyun ağırlığı bölgedeki kütle hareketinin ağırlığını artırmakta ve yağışların etkili olduğu dönemlerde toprak üzerindeki ağırlığın daha da artmasıyla kütle hareketini gerçekleştirmektedir.



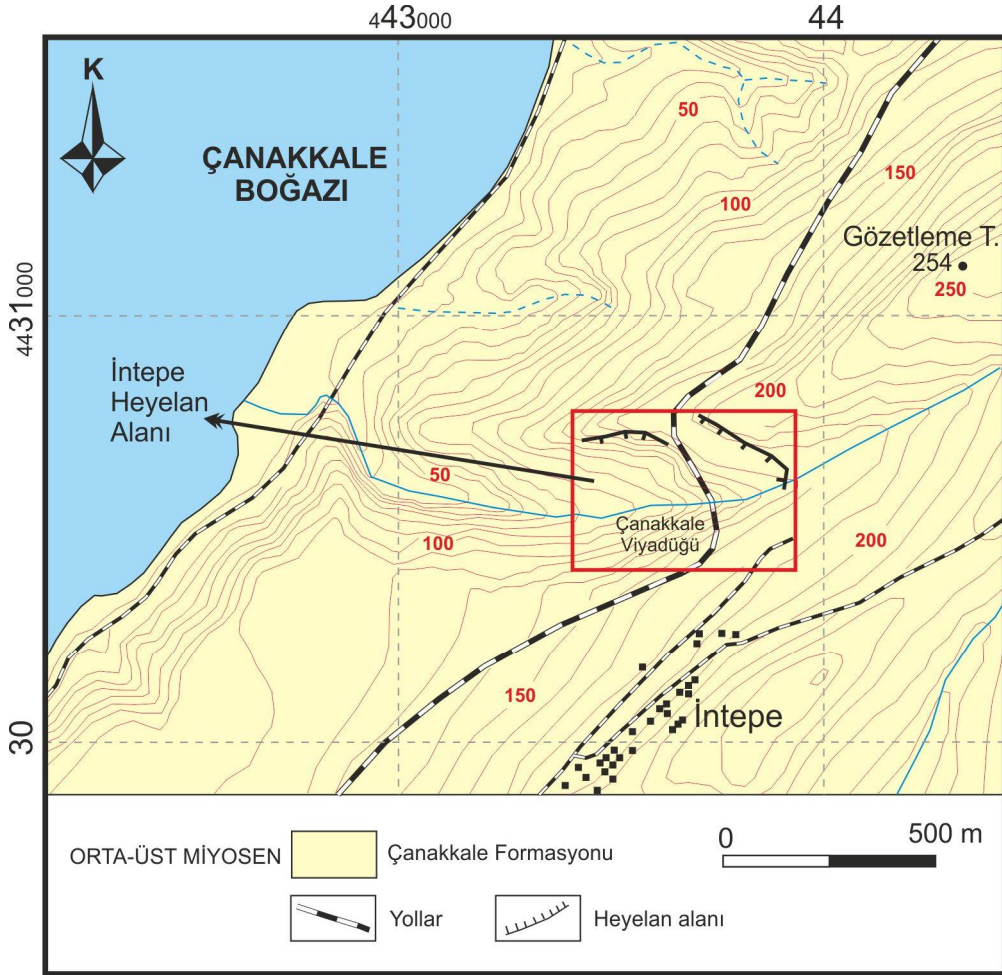
Şekil 24. Güzelyalı heyelanını etkilediği düşünülen yağmur suyu drenaj menfezi (UTM: 445325 D, 4434504 K).

1.5.5 İntepe Bölgesi

İntepe bölgesinde kayma hareketleri çoğunlukla Çanakkale viyadüğünün çevresinde gerçekleşmektedir (Şekil 25). Bölgedeki birimler, Taner (1997) tarafından kumtaşı ve kumlu kireçtaşı birimi Gelibolu formasyonunun İntepe üyesi, Şentürk ve Karaköse (1987) tarafından Çanakkale formasyonunun Çamrakdere üyesi olarak adlandırılmıştır. Atabey vd. (2004) ise kumtaşı, kalkaranit, marn, kiltası ile temsil edilen kaya birimini Çanakkale formasyonunun İntepe üyesi olarak tanımlamıştır. Ayrıca İntepe üyesinin altta Güzelyalı üyesine ait kumtaşları ve üstüne gelen Tekkedere üyesinin kumtaşı, kalkaranitleri ile yanal ve düşey yönde geçişli olduklarını belirtmişlerdir. İntepe bölgesindeki heyelan hareketleri Çanakkale formasyonuna ait Tekkedere ve İntepe üyelerinin birimleri üzerinde gerçekleşmektedir (Şekil 26). Proje kapsamında bu birimlerin Çanakkale-İzmir otoyolu üzerindeki mostraların yanı sıra viyadüğün alt ve üst kesiminde bulunan litolojiler incelenmiştir.



Şekil 25. Çanakkale viyadüğünün çevresinde gözlenen güncel heyelan hareketleri



Şekil 26. İntepe beldesi ve çevresinin jeoloji haritası

Güzelyalı-İntepe yolu üzerinde Çanakkale formasyonunun Tekkedere üyesine ait yaygın kumtaşı litolojileri yer alır. Kumtaşları sarımsı kahve renkli olup, düzlemsel paralel katmanlı ve çapaz katmanlı olarak gözlenmektedir. Katmanlanmanın görülmediği diğer alanlarda masif, iyi çimentolanmamış, dağınık bir özellik sunarlar (Şekil 27). Yer yer bol miktarda fosil ve kırılmış kavkı parçası içeren kumtaşları, çamurtaşları ile ardalanmalı olarak görülürler. Genelde fosil ve kavkı parçalarınca zengin kalkarenitler ise, ince tabakalı olarak kumtaşlarının aralarında yer alır.

Yıllardır heyelan hareketlerinin aralıklarla gerçekleştiği Çanakkale viyadüğünün alt bölümünde gözlenen litolojilerde (Şekil 28) yoğun kumtaşı ve çamurtaşı birimleri göze çarpar. Kumtaşları sarı-kahve renkli, gevşek, iyi çimentolanmamış kum boyutundaki malzemeden oluşmaktadır. Bu seviyenin üzerinde aynı renkli, daha iyi çimentolanmış kumtaşı tabakaları bulunmaktadır. Bu tabakalardan elde edilen pusula ölçümlerinde K65B/9KD konumlu oldukları saptanmıştır. Kumtaşları üzerinde belirli bir bölümde üste doğru çakıl boyutlarının büyüdüğü, gevşek, dokunulduğunda kolayca dağılabilen konglomeratik bir seviye bulunmaktadır. Bu seviyeden itibaren ise yoğun çamurtaşlarınca egemen kalın bir istif gelir. Genellikle gri, yer yer sarı renkli olan çamurtaşları, içerisinde bol fosil ve kırılmış fosil kavkuları barındırmaktadır. Ayrıca çamurtaşları içinde genelde birkaç mm-cm kalınlıkta tabakalı kumtaşları yer almaktadır. Çamurtaşlarının üzerinde ise beyaz renkli ince kilitaşı tabakaları yer alır.



Şekil 27. Güzelyalı-İntepe yolunda üzerinde heyelan hareketinin gerçekleştiği Tekkedere üyesine ait iyi çimentolanmamış kumtaşlarının görünümü (UTM: 444317 D, 4431512 K)

Viyadüğünün üst bölümüne geçildiğinde tekrardan kumtaşlarınca yaygın ve kumlu kireçtaşlarının gözlendiği litolojilere (Şekil 29) geçilir. Sarı renkli görülen kumtaşları, tutturulmamış, gevşek malzemedendir yapıdır. Gevşek kumtaşları arasında ara ara iyi çimentolu kumtaşı ve kumlu kireçtaşı tabakaları yer almaktadır. Kumtaşları genellikle fosilli ve kırılmış fosil kavkılarını içermektedir.

Her iki bölgedeki kayma hareketlerinin yoğun görüldüğü kumtaşlarında gerçekleştirilen petrografik çalışmalarda, kumtaşlarının daha çok orta taneli oldukları ve kuvars, feldispat, muskovit, kaya kırıntıları ve ağır mineral olarak da epidot ve zoisit minerallerini içerdikleri saptanmıştır (Şekil 30, Şekil 31).

Kumtaşlarının ana mineral bileşimini gri, beyaz birefrejans rengine sahip, dalgalı sönmeli, öz şekilsiz mikro kristalen kuvars mineralleri oluşturmaktadır. Litik malzemeler (kaya kırıntıları) içinde bulunan birden çok mineral toplulukları ile kolaylıkla tanınırlar. Feldispatlarda özşekilsiz mikro kristaller halinde gri girişim renkleri ve orta rölyefleri ile ayırt edilebilirler. Muskovitler, İntepe üyesi kumtaşlarında kuvarstan sonra yaygın minerali oluştururlar. Sarı, yeşil, mavi ve pembe gibi canlı girişim renklerine sahiptirler ve ince, yapraksı veya levhamsı kristaller şeklinde uzanırlar. Tek yöndeki dilinim izleri belirgindir ve pleokroizma göstermezler. Kloritler ikincil olarak gelişmişlerdir. Dilinim izleri çok net olarak görülmesi de ışınsal yapıları, yeşil renkli girişim rengi ve açık yeşil tonlarındaki pleokroizmaları tanınmasını kolaylaştırır. Kumtaşlarının bünyesinde bulunan diğer önemli bir mineral ise kalsittir. Kalsitler, krem-bej renkli, özşekilsiz ve çift yöndeki belli belirsiz dilinim izleri ile gözlenen, çoğunlukla spartik karbonat çimentosunu oluşturan ve yer yer de karbonat kayalarını temsil eden litik parçalar olarak görülmektedir.

Kumtaşlarında ağır mineral olarak yer alan epidotlar sarı, yeşil, mavi, pembe renkli küçük kristaller halinde bulunurlar. Bu mikro kristallerde dilinim izlerine çok rastlanılmamıştır. Diğer minerallerden girişim renkleri ve yüksek rölyefiyle kolaylıkla ayırtedilebilirler. Zoisit ise tipik beyaz, mavi, sarı girişim renkleri ve yüksek rölyefleri ile kolaylıkla ayırt edilirler. Kayaç içinde ikincil olarak gelişen bu mineraller, öz şekilsizdirler.

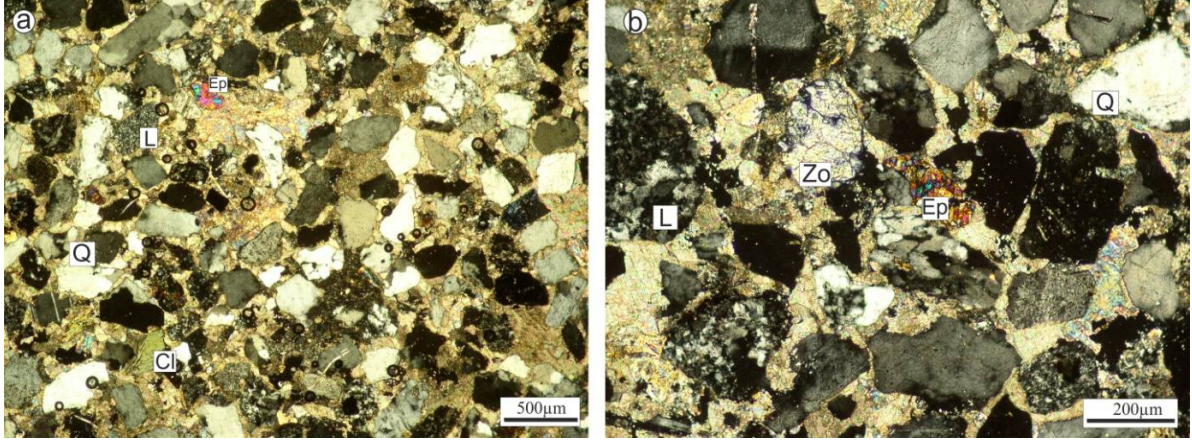


Kalınlık (cm)	LİTOLOJİ
15	Beyaz renkli kilitaşı
10	Pekleşmiş kumtaşı tabakası
50	Sarı renkli çamurtaşı
50	Gri renkli çamurtaşı
150	Gri renkli, bol fosil kavkılı çamurtaşı
50	Gri-sarı renkli çamurtaşı
10	Tutturulmamış, gevşek kumlu seviye
10	İri çakıllı, gevşek konglomera
15	Kumtaşı
15	Küçük çakıllı, gevşek konglomera
15	Kumtaşı
25	Çok küçük çakıllı, gevşek konglomera
7	Kumtaşı
15	Kumtaşı
15	Kumtaşı
5	Kumtaşı
5	Kumtaşı
10	Kumtaşı
50	Tutturulmamış, gevşek kumlu seviye
15	Kumtaşı
ölçeksiz en alt seviye	Sarı-kahve renkli tutturulmamış, gevşek kumlu seviye

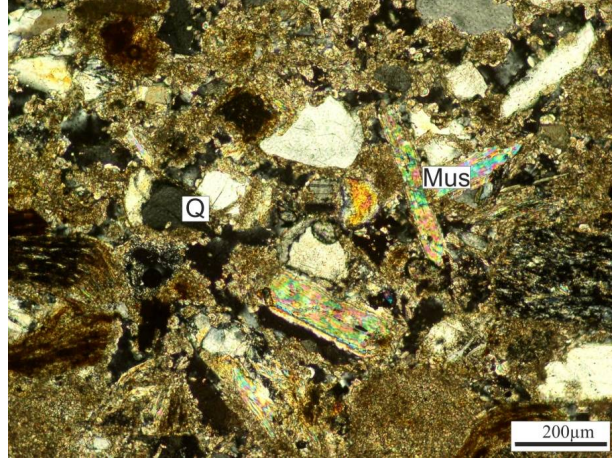
Şekil 28. Çanakkale viyadüğünün altında gözlenen İntepe üyesi birimlerine ait bir alandaki ölçülü stratigrafik kesit (UTM: 443674 D, 4430665 K)



Şekil 29. Çanakkale viyadüğünün üstünde gözlenen İntepe üyesine ait kumtaşları ve kumlu kireçtaşları (UTM: 443838 D, 4430650 K)



Şekil 30. Tekedere üyesine ait kumtaşı ince kesit görüntüleri (Çift Nikol-Q: Kuvars, L: Kaya kırıntısı, Cl: Klorit, Ep: Epidot, Zo: Zoisit)



Şekil 31. İntepe üyesine ait kumtaşı ince kesit görüntüsü (Çift Nikol-Q: Kuvars, Mus: Muskovit)

2. JEODEZİK ÇALIŞMALAR

Heyelan izleme çalışmalarında deformasyonların jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde genellikle yerel mikro-jeodezik ağlar tesis edilmektedir. Diğer bir ifadeyle deformasyona konu olan heyelan alanı belirli sayıdaki jeodezik nokta ile çevrelenmektedir. Tesis edilecek jeodezik noktaların sayısı heyelan alanının büyüklüğüne ve beklenen deformasyon miktarına bağlıdır. Bu aşamada heyelan deformasyonlarının izlenmesinde jeodezinin yanısıra jeoloji ve jeofizik disiplinlerinden de katkısı alınmıştır. Çalışma alanları olarak seçilecek bölgelerin sınırlanmış oldukları doğu boylamları ile kuzey enlemleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Çalışma bölgelerini sınırlayan enlem ve boylamlar (Datum: WGS-84)

Heyelan Adı/Mevkii	Enlem (Kuzey)		Boylam (Doğu)	
	Üst	Alt	Sol	Sağ
Ambaroba	40° 13' 10"	40° 13' 03"	27° 23' 23"	27° 23' 39"
Adatepe	40° 23' 46"	40° 23' 40"	26° 48' 46"	26° 48' 55"
Şevketiye	40° 23' 49"	40° 23' 44"	26° 51' 47"	26° 51' 54"
Güzelyalı	40° 03' 32"	40° 03' 22"	26° 21' 25"	26° 21' 30"
İntepe	40° 01' 16"	40° 01' 17"	26° 20' 16"	26° 20' 35"

Çalışma bölgelerinde kurulmuş olan mikro-jeodezik ağlarda bölgedeki heyelan hareketlerini belirlemek amacıyla jeodezik GPS/GNSS ölçme metodu ile gözlemler yapılmıştır.

2.1 Planlama Çalışmaları

GPS/GNSS tekniğine dayalı jeodezik deformasyon analizi; sağlıklı, sürekli olarak ve belirli periyotlarla gerçekleştirilen ölçmelere dayanmaktadır. Aktif heyelan alanlarındaki yüzey deformasyonlarını en iyi biçimde yansıtabilecek şekilde ve uygun geometriye sahip jeodezik ağların planlanması ve tesisi gerekmektedir. Bu kapsamda planlama aşamasında öncelikle Çanakkale Valiliği İl Özel İdaresi, Karayolları Genel Müdürlüğü 142. Şube Şefliği (Çanakkale), Çanakkale Belediyesi, Çanakkale AFAD İl Müdürlüğü gibi kurumların yanısıra bölgede çalışan bazı harita bürolarından alınan destek ve bilgiler sonucunda oluşan veri tabanı değerlendirilmiş ve ağın tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ağ tasarımında girdi olarak değerlendirilen parametreler; yerel kaynaklardan elde edilen veri, topografik ve ekonomik durumlar, donanım ve heyelan yapısı olarak sıralanabilir. Tasarımın çıktıları ise jeodezik ağı oluşturan jeodezik noktaların sayısı, noktaların konumları, ölçme ve değerlendirme yöntemleri olarak şekillenmektedir. Son yirmi yılda GPS/GNSS tekniğinin de yaygınlaşması

ile korelasyonlu olarak gelişen deformasyon belirleme çalışmaları, bu deformasyonların belirlenmesinde optimizasyon işleminin önemini de gözler önüne sermiştir. Jeodezik ağların tasarımı dört adımda ifade edilebilir. Bu adımlardan ilki sıfır derece tasarım olarak adlandırılan ve ağın en uygun referans sistemini tanımlayan adımdır. İkincisi ise birinci derece tasarım olarak adlandırılan ağın en uygun geometrik şeklinin ve nokta sayılarının belirlendiği aşamadır. İkinci ve üçüncü derece tasarım ise sırasıyla, ağda gerçekleştirilen ölçmelerin ağırlıklarının belirlendiği, ulaşılmak istenen presizyonun irdelendiği ikinci derece ve mevcut bir ağın presizyon yönünden iyileştirilmesi ve ağırlıklandırılması yönünde ek ölçme planlarının da dahil edildiği üçüncü derece adımlardan oluşmaktadır. Heyelan deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan jeodezik ağlarda nokta sayısı heyelan yüzeyin güncel durumu ve zeminin tomografik yapısı gibi parametrelerle yakından ilişkilidir.

2.2 Jeodezik Ağ Tasarım Çalışmaları

Bilindiği gibi jeodezinin temel amacı, yeryuvarının geometrik ve fiziksel şeklinin belirlenmesidir (Vanicek ve Krakiwsky 1986, Aksoy ve Güneş 1990). Bu amaca yönelik olarak tüm yeryuvarı veya bir kısmı jeodezik ağ noktalarının üç boyutlu koordinatları ile tanımlanır.

Proje kapsamında jeolojik ve jeofizik çalışmalardan elde edilen sonuçların da dikkate alındığı bir GPS/GNSS heyelan izleme ağı tesisi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla üç kademeli bir ağ tasarlanmıştır. İlk kademe olarak heyelan alanını merkez alan temel kareler ağı, ikinci kademe olarak heyelan alanının yakınına ve tüm çevreyi kapsayacak bir kareler ağı ve son olarak heyelan alanları dışında birden fazla (en az iki) sabit nokta tesis edilmesi planlanmaktaydı. Ancak heyelan gibi alanı içinde homojen olmayan davranışlar sergileyen bir doğa olayının modellenmesinde kareler ağı uygulamasının yanı sıra bu ağların tasarımında jeodezik şekil, ağırlık ve doğruluk optimizasyonları kullanılarak en uygun (optimum) ağ tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bir yersel referans sisteminin (terrestrial reference system) gerçekleştirilmesi veya bir bölgedeki yer kabuğunun hareketlerinin belirlenmesi gibi farklı amaçlar için jeodezik ağlar kurulabilir. Bu ağlardan beklenen duyarlılık, güvenilirlik ölçütleri ve maliyet sınırı amaca göre değişkenlik gösterir (Demirel 2005). Bu nedenle, bir jeodezik ağ tesis edilmeden önce bu beklentilerin hangi durumlarda sağlanacağını belirlemek gerekir. Jeodezik ağların beklentilerine yönelik en uygun çözümün araştırılmasına jeodezik ağların optimizasyonu adı verilir. Bunun için, belirlenen amaç fonksiyonları kullanılır. Tesis edilecek ağın değişik tasarımlarından amaç fonksiyonunu sağlayan durum belirlenir.

Tasarım parametrelerine göre 4 farklı optimizasyon türü geliştirilmiştir. 0.derece optimizasyon amaç fonksiyonunun belirlenmesi için en uygun datumun belirlenmesi problemi, 1. derece optimizasyon en uygun yaklaşık koordinatların belirlenmesi, başka bir ifadeyle, şekil problemi, 3. derece optimizasyon jeodezik ağıın seçilen amaç fonksiyonunu sağlayacak şekilde iyileştirilmesi ve geliştirilmesidir. 2. Derece optimizasyon ise ağıın datumunun, geometrik yapısının ve gerçekleştirilecek ölçülerin duyarlılıklarının bilindiği durumda amaç fonksiyonunun gerçekleştirilmesi için en uygun ağırlıkların belirlenmesi işlemidir. Bu nedenle ağırlık optimizasyonu olarak da adlandırılır. (Demirel 2005). Jeodezik ağıların optimizasyonu ile ilgili daha detaylı bilgiler önceki gelişme raporlarında ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Projenin GPS/GNSS nokta planlama adımları aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir:

- Aktif heyelanların izlenmesi amacıyla uygun olarak GPS/GNSS noktalarının tesisini sağlamak amacıyla, proje bölgesinin önceki dönemlere ilişkin uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları irdelenmiştir. Jeofizik ve jeoloji konusunda uzman araştırmacılarında yer aldığı bu çalışma ile bölgelerdeki farklı litolojik birimleri varlığı tespit edilmiştir. Bu birimlerin heyelan çekincesi ortaya çıkarma potansiyelleri de nokta sayısı ve konumlarının tespit edilmesinde kullanılmıştır.
- Belirlenen heyelan kırık ve çatlaklarının sınırladığı kütle hareketlerini izleyebilmek için kurulması öngörülmüş olan GPS/GNSS noktaları için hava fotoğrafları kullanılarak en uygun bölgelerin belirlenmesine çalışılmıştır.
- Proje kapsamında, heyelan izleme amacıyla ölçülmesi planlanan GPS/GNSS noktasının optimum sayıda olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda belirtilen optimizasyon stratejileri kullanılarak mikro-jeodezik izleme ağıının tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca obje noktalarının yanısıra heyelan alanlarındaki kitle hareketlerinden etkilenmeyecek şekilde her bölge için ikişer referans noktası düşünülmüştür.
- GPS/GNSS obje izleme ve referans noktalarının, zorlanmadan ulaşılabilir yerlerde olmalarına özellikle dikkat edilmiştir.

2.3 İstikşaf ve İnşaat Çalışmaları

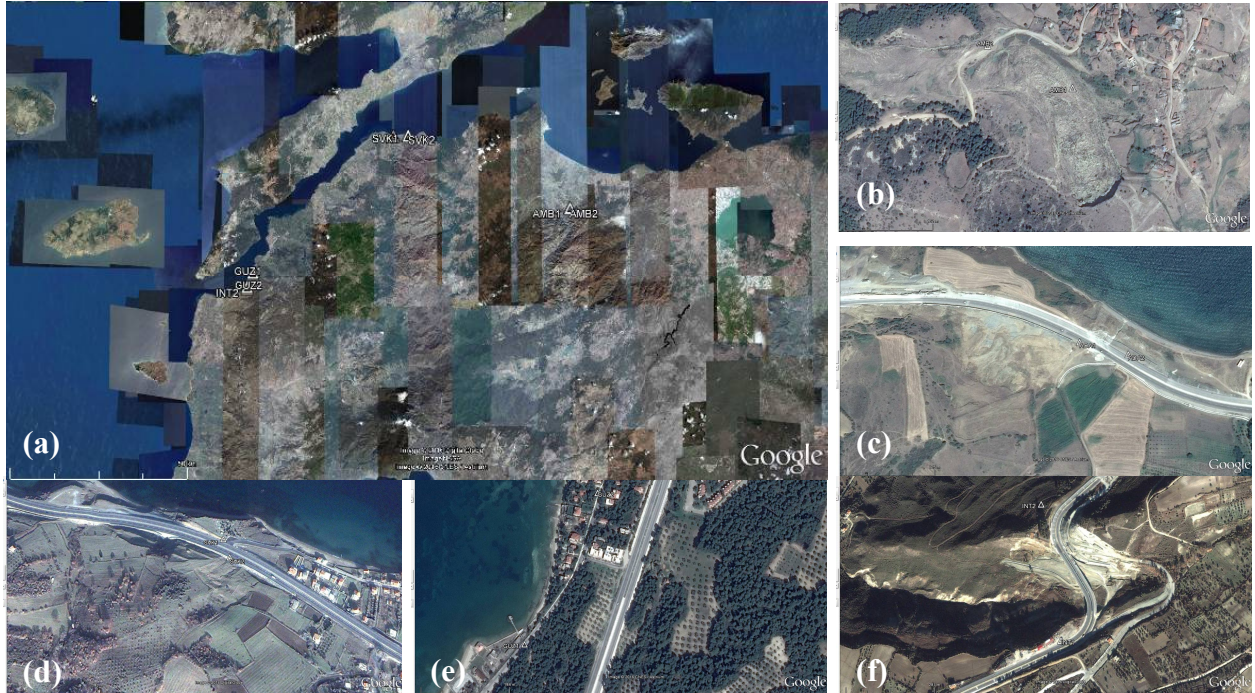
Ölçmelere başlamadan önce heyelan bölgelerinde istikşaf çalışması yapılmış ve mevcut personel, arazi ve teçhizat göz önüne alınarak planlama yapılmıştır. Öncelikle heyelan alanlarındaki olası çökme hareketlerinden etkilenmeyecek şekilde proje kapsamında ölçülmek üzere her bölge için ikişer tane olmak üzere toplam $2 \times 5 = 10$ adet jeodezik GPS/GNSS noktası tesis edilmiştir (Şekil 32). Referans nokta tesislerinde mevsimsel şartlardan etkilenmemesi için özel olarak imal ettirilmiş 316 seri paslanmaz krom ve nikel

malzeme kullanılmıştır. Genel olarak kaya üzerine matkap yardımıyla konumlandırılan referans noktalarında ayrıca hızlı kuruyan, hazır beton karışımı epoksi malzeme kullanılmıştır. Referans nokta isimleri, 4 karakterli kısaltmaları, koordinatları ve kısa yer tarifleri aşağıda verilmektedir.

AMBAROBA-1 (AMB1) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 13' 07.93"K / Boylam 27° 23' 33.42"D)

AMBAROBA-2 (AMB2) - Nokta, Ambaroba Heyelan alanının yaklaşık 200 metre kuzeyinde yer almakta olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 13' 10.22"K / Boylam 27° 23' 27.36"D)

ADATEPE-1 (ADA1) - Nokta, Adatepe Heyelan alanının kuzeyindeki karayolunun alt sınırında yer almakta olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 23' 44.87"K / Boylam 26° 48' 56.31"D)



Şekil 32. Heyelan alanlarındaki mikro-deformasyon referans ağ noktalarının yaklaşık konumlarını gösteren Google Earth uydu görüntüsü: (a) Tüm referans noktaları, (b) Ambaroba heyelanı referans noktaları, (c) Adatepe heyelanı referans noktaları, (d) Şevketiye heyelanı referans noktaları, (e) Güzelyalı heyelanı referans noktaları, (f) İntepe heyelanı referans noktaları

ADATEPE-2 (ADA2) - Nokta, Adatepe Heyelan alanının kuzeyindeki karayolunun üst sınırında yer almakta olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 23' 43.68"K / Boylam 26° 48' 59.46"D)

ŞEVKETİYE-1 (SVK1) – Şevketiye Heyelan alanının kuzeyinde yer alan Çanakkale-Bursa karayolunun alt sınırında yer almakta olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 23' 48.58"K / Boylam 26° 51' 51.50"D)

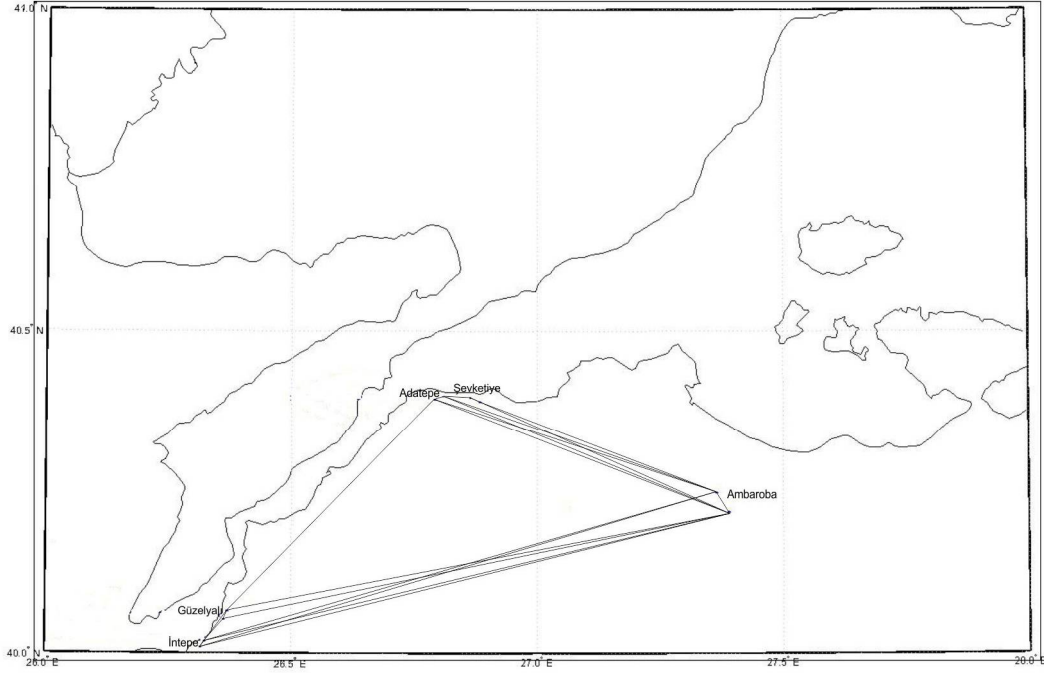
ŞEVKETİYE-2 (SVK2) - Şevketiye Heyelan alanının kuzeyinde yer alan Çanakkale-Bursa karayolunun yanındaki mezarlık yakınında yer almakta olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 23' 47.42"K / Boylam 26° 51' 52.04"D)

GÜZELYALI-1 (GUZ1) - Güzelyalı Heyelanının batısındaki Güzelyalı Beldesine giden yol üzerinde yer almaktadır. Nokta heyelan alanının güneyinde olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 03' 22.49"K / Boylam 26° 21' 21.37"D)

GÜZELYALI-2 (GUZ2) - Güzelyalı Heyelanının batısındaki Güzelyalı Beldesine giden yol üzerinde yer almaktadır. Nokta heyelan alanının kuzeyinde olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 03' 32.67"K / Boylam 26° 21' 26.22"D)

İNTEPE-1 (INT1) – Nokta İntepe Heyelan bölgesi üzerinde yer alan Çanakkale Viyadüğünün Çanakkale-İzmir istikametinde çıkışında yer almaktadır. Nokta heyelan alanının güneyinde olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 01' 14.87"K / Boylam 26° 20' 24.15"D)

İNTEPE-2 (INT2) - Nokta İntepe Heyelan bölgesi üzerinde yer alan Çanakkale Viyadüğünün Çanakkale-İzmir istikametinde girişinde yer almaktadır. Nokta heyelan alanının kuzeyinde olup kaya üzerindedir. (Jeodezik konum bilgileri: Enlem: 40° 01' 27.35"K / Boylam 26° 20' 20.63"D). Ayrıca mikro-jeodezik referans ağının geometrisi Şekil 32'de verilmektedir. Belirtilen bu ağ noktalarında her ölçme döneminde elde edilen statik GPS/GNSS verileri kendi içerisinde değerlendirilerek referans ağ noktalarının koordinatları elde edilmiştir.



Şekil 33. Jeodezik ağ geometrisi

2.4 GPS/GNSS Gözlemleri

Heyelan riski potansiyeli mevcut olan bölgelerde oluşan heyelanların zamansal ve mekânsal olarak izlenmesi için proje kapsamında kullanılan yöntemlerden birisi de GPS/GNSS yöntemidir. GPS/GNSS yöntemi klasik yersel ölçme yöntemlerine göre birçok faydasının yanı sıra getirdiği doğruluk değerleri sayesinde pek çok deformasyon projesinde de araç olarak kullanılmaktadır. Heyelanların izlenmesi projesinde öncelikle proje kapsamında detaylı olarak yapılan jeolojik ve jeofiziksel çalışmalar sonucunda çalışma noktasına yakın ve sağlam zeminde noktalar tesis edilerek çalışma bölgelerine hizmet sunacak 10 noktalı bir jeodezik referans ağı oluşturulmuştur. Buna ilave olarak sırasıyla Şevketiye, Adatepe, Ambaroba, Güzelyalı ve İntepe Heyelan alanlarında da jeolojik ve jeofiziksel çalışmalar ve yapılan jeodezik ağ optimizasyonu çalışmaları sonucunda 5 farklı deformasyon izleme ağı oluşturulmuştur. Tablo 2'de bu heyelan ağlarında tesis edilen mikro-deformasyon ağlarının izleme noktası sayıları verilmektedir. Ambaroba, Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İntepe Heyelan alanlarında tesis edilen mikro-jeodezik GPS/GNSS ağları sırasıyla Şekil 34, Şekil 35, Şekil 36, Şekil 37 ve Şekil 38'de verilmektedir. Heyelan alanlarına tesis edilen diğer mikro-jeodezik izleme ağları deformasyon analizi bölümünde sunulmuştur.

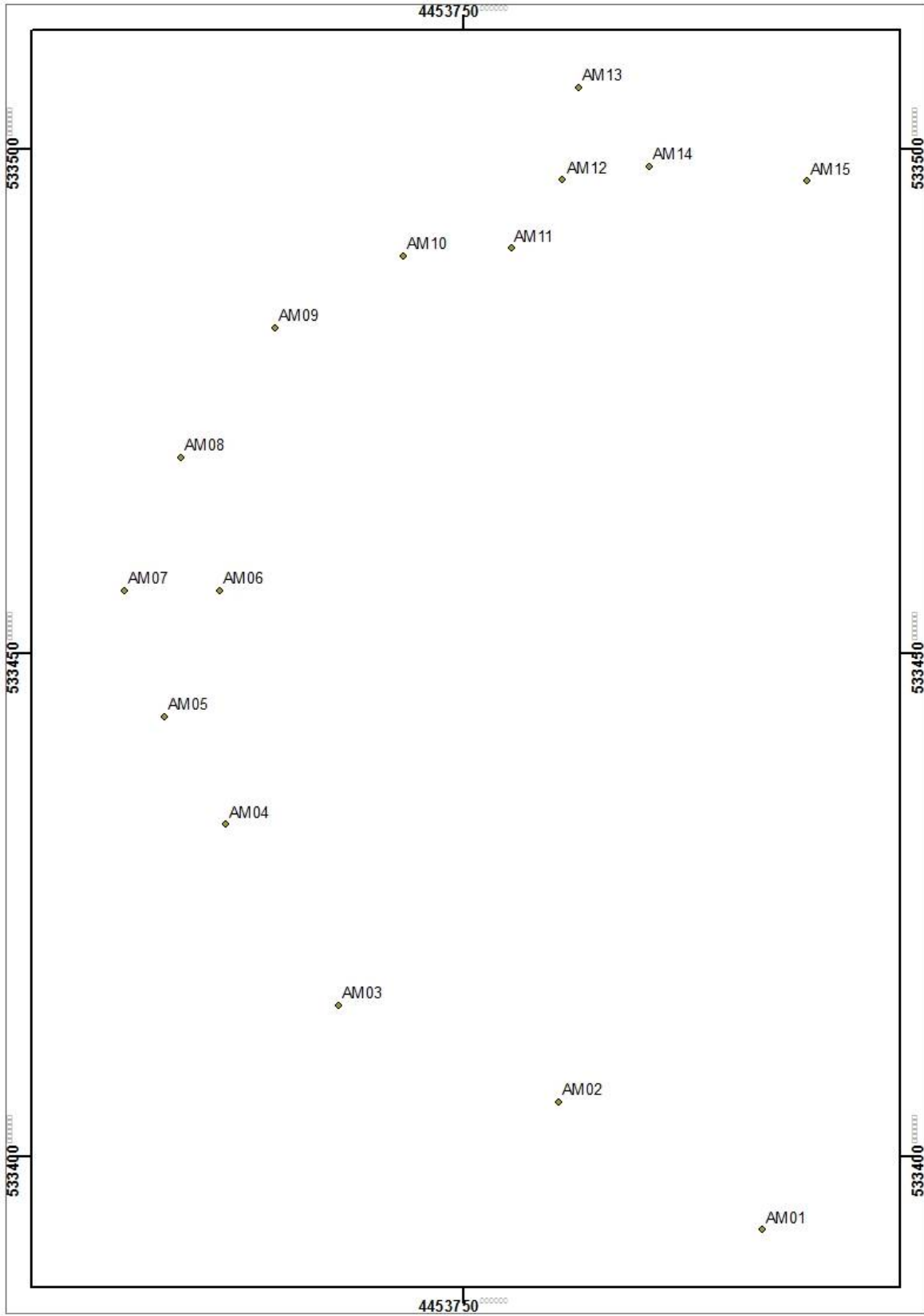
Tablo 2. GPS/GNSS Heyelan İzleme Ağları ve Nokta Sayıları

Heyelan Adı/Mevkii	İzleme Ağı Nokta Sayısı
Ambaroba	15
Adatepe	21
Şevketiye	19
Güzelyalı	14
İntepe	13

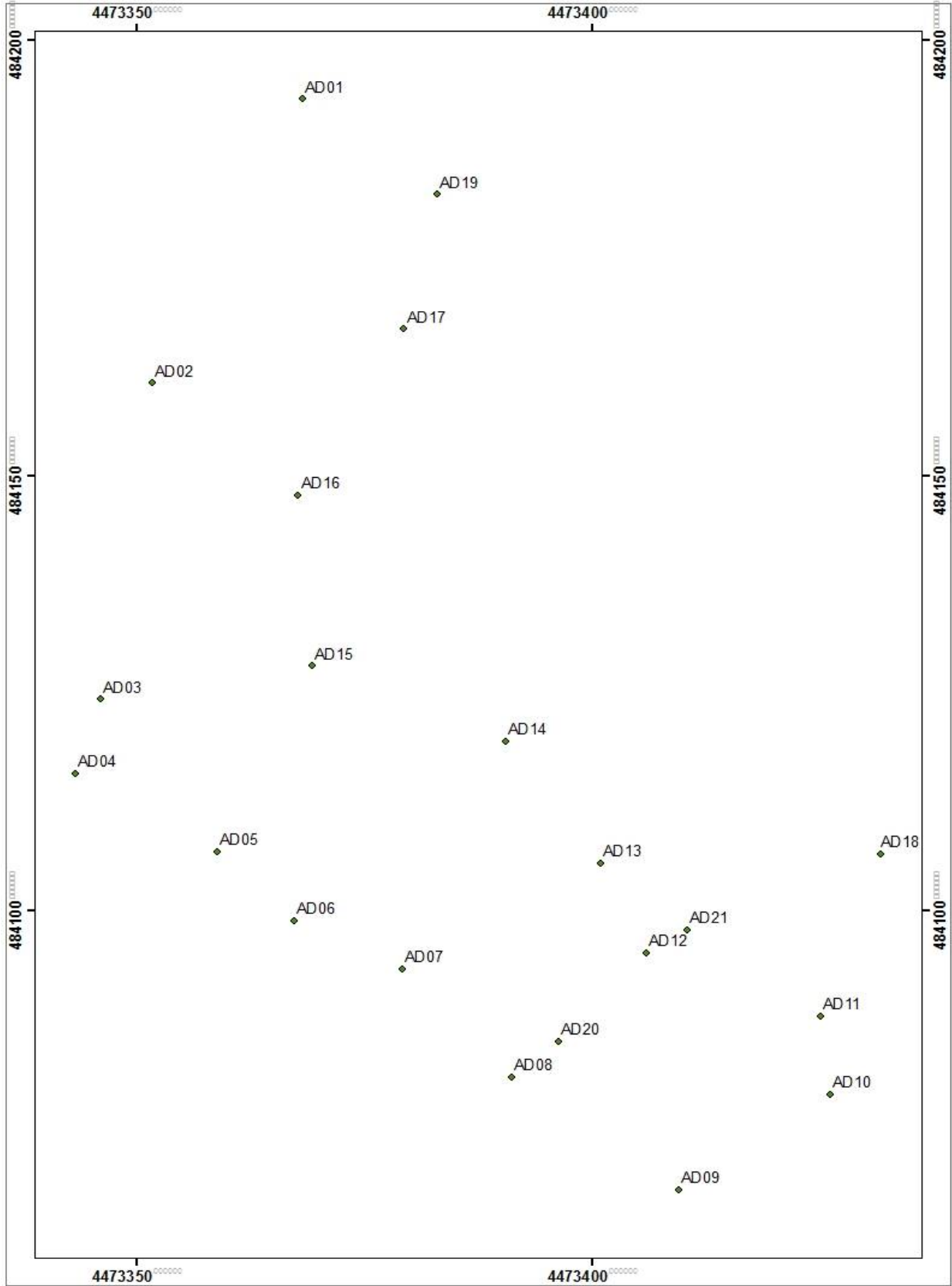
2.4.1 2013 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası

Planlama, istikşaf ve inşaat çalışmalarının ardından, projede çalışmakta olan geomatik uzmanları biraraya gelerek GPS/GNSS gözlemi yapılacak noktalara yönelik bir planlama çalışması başlatmıştır. Yapılan bu planlama neticesinde her bir ölçme gününde 4'şer kişilik 2 arazi ekibinin oluşturulmasına karar verilmiştir. Her ekibin günlük ortalama 2 noktada gözlem yapması düşünülmüştür. Ölçmelerde kiralanmak suretiyle temin edilen araçlar ile ekiplerin noktalara ulaşımı sağlanmıştır.

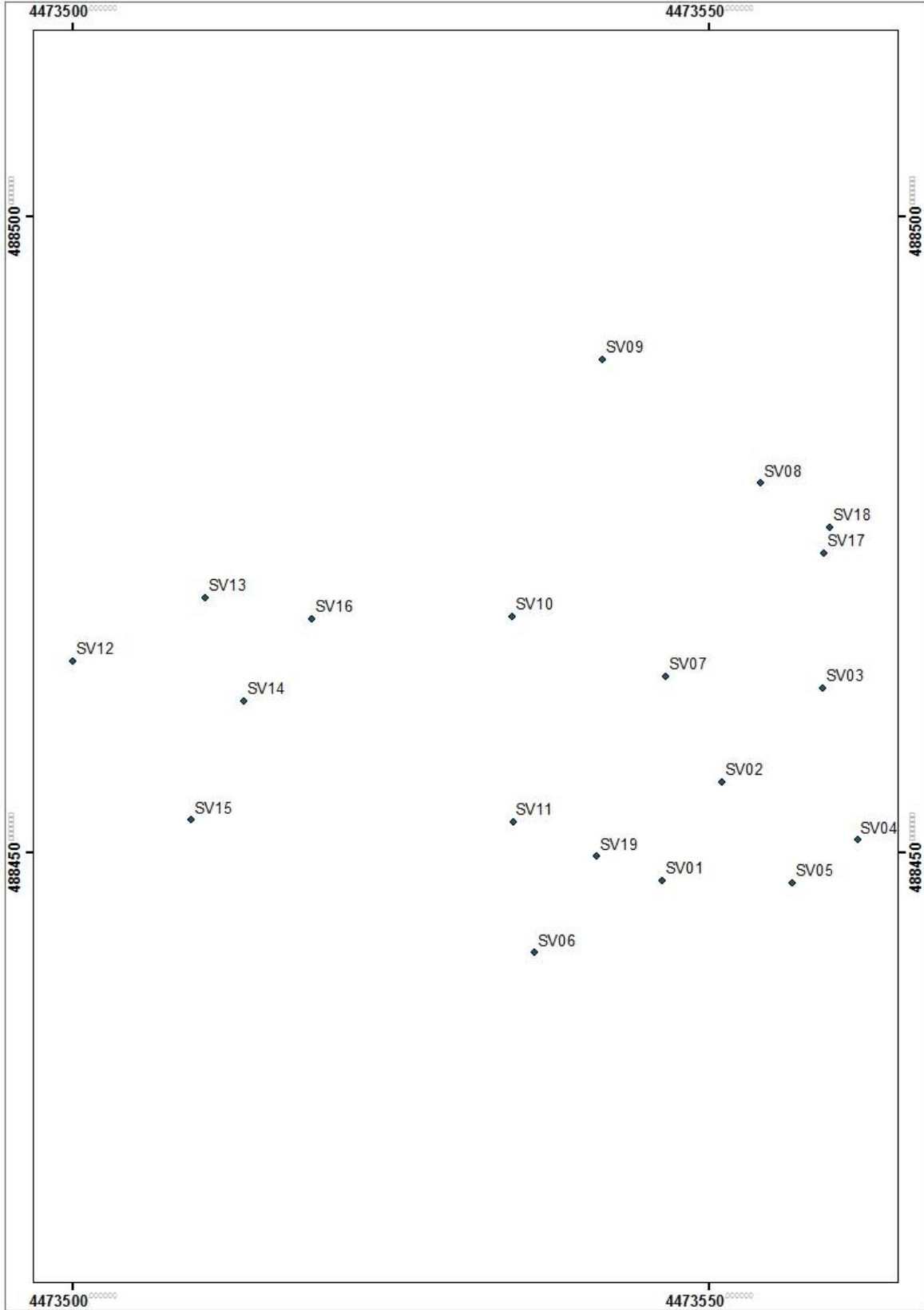
GPS/GNSS ölçmeleri projenin yürütüldüğü kurum olan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan SATLAB marka SL500 ve SL600 model GPS/GNSS alıcıları ile gerçekleştirilmiştir. GPS/GNSS ölçmelerine ilişkin diğer anahtar parametreler Tablo 3'te verilmektedir. Her bir noktada 30 saniyede bir kayıt alınmak suretiyle gözlemler yapılmıştır (Şekil 39 ve Şekil 40a). 2013 yılında gerçekleştirilen üç farklı GPS/GNSS Ölçme Kampanyasına ait diğer bilgiler Tablo 4'te verilmektedir.



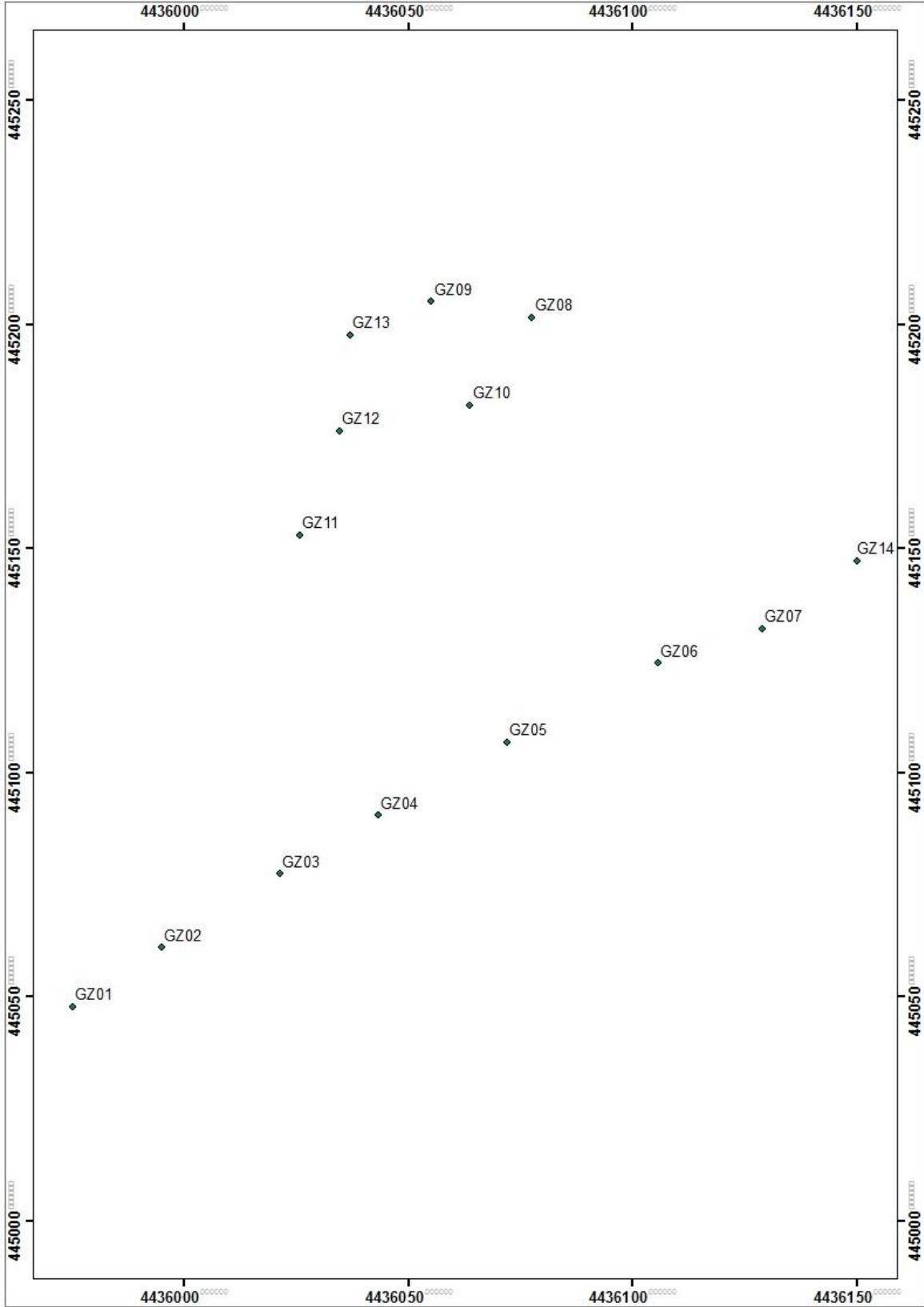
Şekil 34. Ambaroba Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları



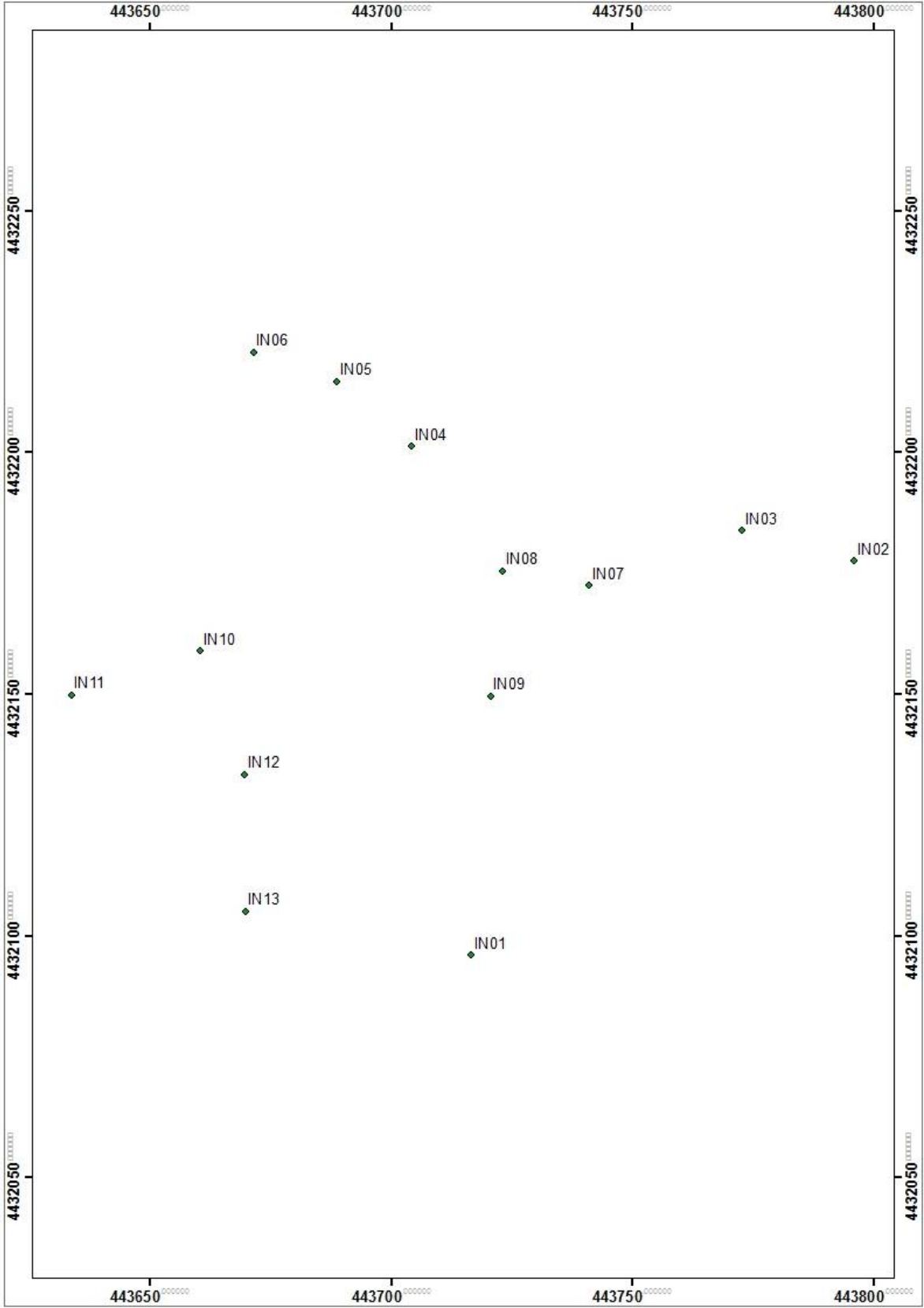
Şekil 35. Adatepe Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları



Şekil 36. Şevketiye Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları



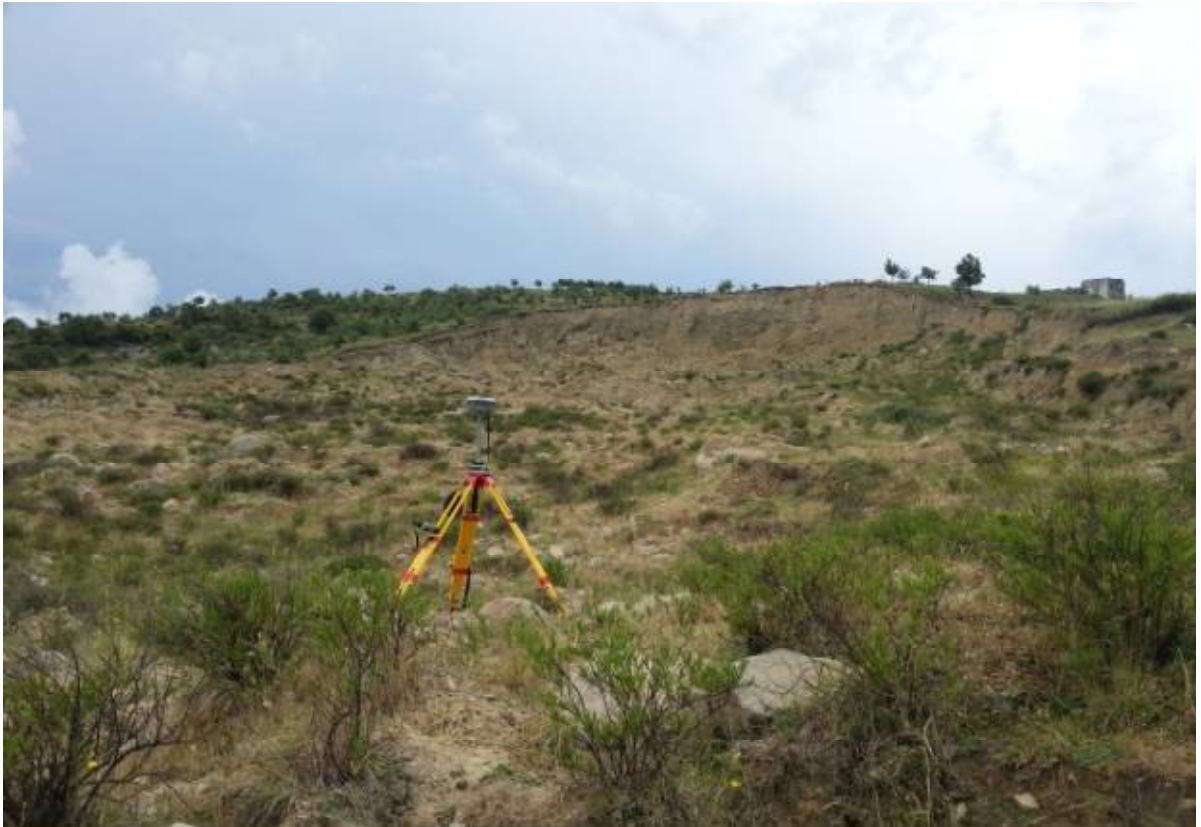
Şekil 37. Güzelyalı Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları



Şekil 38. İtepe Heyelanı mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktaları

Tablo 3. GPS/GNSS ölçmelerine ilişkin anahtar parametreler

Lokasyon	Ambaroba, Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İntepe Heyelanları
Oturum türü	Statik
Alıcı tipi	SATLAB GPS/GNSS Alıcısı
Anten tipi	Entegre Anten
GPS/GNSS ölçüleri	C1, P2, L1, L2, S1, S2
Veri toplama aralığı	30 saniye
Uydu yükseklik açısı	5°
Açıklama	Heyelan alanına tesis edilen GPS/GNSS izleme ağındaki referans ve obje noktaları.



Şekil 39. Ambaroba izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı

Tablo 4. 2013 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler

Kampanya İsmi	Gözlem Dönemi	GPS Alıcı Modelleri	Gözlem Yapılan Nokta Sayısı	Veri Alma Aralığı (sn)	Yükseklik Açısı (°)	Ortalama Gözlem Süresi (saat)
AMB13	1	SL500/600	15	30	5	2
ADA13	1	SL500/600	21	30	5	2
SVK13	1	SL500/600	19	30	5	2
GUZ13	1	SL500/600	14	30	5	2
INT13	1	SL500/600	13	30	5	2
AMB13	2	SL500/600	15	30	5	2
ADA13	2	SL500/600	21	30	5	2
SVK13	2	SL500/600	19	30	5	2
GUZ13	2	SL500/600	14	30	5	2
INT13	2	SL500/600	13	30	5	2
AMB13	3	SL500/600	15	30	5	2
ADA13	3	SL500/600	21	30	5	2
SVK13	3	SL500/600	19	30	5	2
GUZ13	3	SL500/600	14	30	5	2
INT13	3	SL500/600	13	30	5	2



Şekil 40. (a) Adatepe izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı, (b) Şevketiye izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı

2.4.2 2014 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası

2014 yılında gerçekleştirilen GPS/GNSS ölçme kampanyasında yine SATLAB SL500 ve SL 600 alıcıları kullanılmıştır. Her noktada 30 saniyede bir kayıt almak koşulu ile en az 2'şer saatlik gözlemler yapılmaya çalışılmıştır. Şekil 40b'de ilgili GPS/GNSS kampanya ölçmelerinde Şevketiye izleme ağı GPS/GNSS noktasının görüntüsü verilmiştir. 2014 yılında

gerçekleştirilen 4 farklı GPS/GNSS Ölçme Kampanyasına ait diğer bilgiler Tablo 5'te verilmektedir. 2014 yılında gerçekleştirilen GPS/GNSS kampanyalarından elde edilen veriler bilimsel değerlendirme yazılımı kullanılarak istasyonlara ait yerdeğiştirme vektörleri belirlenmiştir. Sonuçlar raporun ilerleyen bölümlerinde sunulmaktadır.

Tablo 5. 2014 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler

Kampanya İsmi	Gözlem Dönemi	GPS/GNSS Alıcı Modelleri	Gözlem Yapılan Nokta Sayısı	Veri Alma Aralığı (sn)	Yükseklik Açısı (°)	Ortalama Gözlem Süresi (saat)
AMB14	1	SL500/600	15	30	5	2
ADA14	1	SL500/600	21	30	5	2
SVK14	1	SL500/600	19	30	5	2
GUZ14	1	SL500/600	14	30	5	2
INT14	1	SL500/600	13	30	5	2
AMB14	2	SL500/600	15	30	5	2
ADA14	2	SL500/600	21	30	5	2
SVK14	2	SL500/600	19	30	5	2
GUZ14	2	SL500/600	14	30	5	2
INT14	2	SL500/600	13	30	5	2
AMB14	3	SL500/600	15	30	5	2
ADA14	3	SL500/600	21	30	5	2
SVK14	3	SL500/600	19	30	5	2
GUZ14	3	SL500/600	14	30	5	2
INT14	3	SL500/600	13	30	5	2
AMB14	4	SL500/600	15	30	5	2
ADA14	4	SL500/600	21	30	5	2
SVK14	4	SL500/600	19	30	5	2
GUZ14	4	SL500/600	14	30	5	2
INT14	4	SL500/600	13	30	5	2

2.4.3 2015 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası

2015 yılında yine 4 adet ölçme kampanyası gerçekleştirilmiştir. Önceki ölçmelerde olduğu gibi çalışma bölgesinde yer alan GPS/GNSS izleme noktalarında yapılan bu ölçme kampanyaları ile birlikte noktalarda meydana gelen yaklaşık üç yıllık hareketi tespit etmek hedeflenmiştir. 2015 yılında gerçekleşen GPS/GNSS ölçme kampanyasında yine SATLAB SL500 ve SL 600 alıcıları kullanılmıştır. Her noktada 30 saniyede bir kayıt almak koşulu ile yaklaşık 2'şer saatlik gözlemler gerçekleştirilmiştir. Şekil 41'de ilgili GPS/GNSS kampanya ölçmelerinde Güzelyalı izleme ağı GPS/GNSS noktasının görüntüsü verilmiştir. 2015 yılında

gerçekleştirilen 4 farklı GPS/GNSS Ölçme Kampanyasına ait diğer bilgiler Tablo 6'da görülmektedir. 2014 yılında gerçekleştirilen GPS/GNSS kampanyalarından elde edilen veriler bilimsel değerlendirme yazılımı kullanılarak istasyonlara ait yerdeğiştirme vektörleri belirlenmiştir. Sonuçlar raporun ilerleyen bölümlerinde sunulmaktadır.

Tablo 6. 2015 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler

Kampanya İsmi	Gözlem Dönemi	GPS/GNSS Alıcı Modelleri	Gözlem Yapılan Nokta Sayısı	Veri Alma Aralığı (sn)	Yükseklik Açısı (°)	Ortalama Gözlem Süresi (saat)
AMB15	1	SL500/600	15	30	5	2
ADA15	1	SL500/600	21	30	5	2
SVK15	1	SL500/600	19	30	5	2
GUZ15	1	SL500/600	14	30	5	2
INT15	1	SL500/600	13	30	5	2
AMB15	2	SL500/600	15	30	5	2
ADA15	2	SL500/600	21	30	5	2
SVK15	2	SL500/600	19	30	5	2
GUZ15	2	SL500/600	14	30	5	2
INT15	2	SL500/600	13	30	5	2
AMB15	3	SL500/600	15	30	5	2
ADA15	3	SL500/600	21	30	5	2
SVK15	3	SL500/600	19	30	5	2
GUZ15	3	SL500/600	14	30	5	2
INT15	3	SL500/600	13	30	5	2
AMB15	4	SL500/600	15	30	5	2
ADA15	4	SL500/600	21	30	5	2
SVK15	4	SL500/600	19	30	5	2
GUZ15	4	SL500/600	14	30	5	2
INT15	4	SL500/600	13	30	5	2



Şekil 41. Güzelyalı izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı

2.4.4 2016 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyası

2016 yılında iki GPS/GNSS ölçme kampanyası gerçekleştirilmiştir. GPS/GNSS ölçme kampanyalarına ait diğer bilgiler Tablo 7’de verilmektedir. Önceki dönemlerde olduğu gibi çalışma bölgesindeki GPS/GNSS noktalarında yapılan bu ölçme kampanyaları ile birlikte noktalarda meydana gelen toplamda dört yıllık hareketi tespit etmek mümkün olmuştur. Her noktada 30 saniyede bir kayıt almak koşulu ile yaklaşık 2’şer saatlik gözlemler gerçekleştirilmiştir. 2016 yılında da GPS/GNSS ölçme kampanyalarında SATLAB SL500 ve SL 600 alıcıları kullanılmıştır. Şekil 42’de son GPS/GNSS ölçme kampanyasında İntepe noktasından bir görüntü sunulmaktadır. GPS/GNSS verilerinin değerlendirilmesi bilimsel yazılımla gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme ve analiz sonuçları raporun ilerleyen bölümünde değerlendirilmektedir.

Tablo 7. 2016 Yılı GPS/GNSS Ölçme Kampanyalarına ait bilgiler

Kampanya İsmi	Gözlem Dönemi	GPS/GNSS Alıcı Modelleri	Gözlem Yapılan Nokta Sayısı	Veri Alma Aralığı (sn)	Yükseklik Açısı (°)	Ortalama Gözlem Süresi (saat)
AMB16	1	SL500/600	15	30	5	2
ADA16	1	SL500/600	21	30	5	2
SVK16	1	SL500/600	19	30	5	2
GUZ16	1	SL500/600	14	30	5	2
INT16	1	SL500/600	13	30	5	2
AMB16	2	SL500/600	15	30	5	2
ADA16	2	SL500/600	21	30	5	2
SVK16	2	SL500/600	19	30	5	2
GUZ16	2	SL500/600	14	30	5	2
INT16	2	SL500/600	13	30	5	2
AMB16	3	SL500/600	15	30	5	2
ADA16	3	SL500/600	21	30	5	2
SVK16	3	SL500/600	19	30	5	2
GUZ16	3	SL500/600	14	30	5	2
INT16	3	SL500/600	13	30	5	2
AMB16	4	SL500/600	15	30	5	2
ADA16	4	SL500/600	21	30	5	2
SVK16	4	SL500/600	19	30	5	2
GUZ16	4	SL500/600	14	30	5	2
INT16	4	SL500/600	13	30	5	2



Şekil 42. İntepe izleme ağı GPS/GNSS noktası – ölçme anı

2.5 GPS/GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

GPS/GNSS verileri Bernese v.5.0 (Hugentobler vd. 2005) bilimsel yazılımında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede izlenen işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- *Hassas Yörünge Bilgisi:* Uluslararası GNSS servisi (IGS) tarafından hazırlanan SP3 (Standard Product 3) formatlı hassas yörünge bilgisi dosyası SOPAC (Scrps Orbit and Permanent Array Center) adresinden alınmıştır.

- *Yer Dönme Parametreleri:* (ERP; Earth Rotation Parameters), USNO_bull_b (United States Naval Observatory_bulletin_b) değerlerinden alınarak kullanılmıştır.

- *Referans Ağı:* Ölçü kampanyaları ITRF 2008'e göre değerlendirilmiştir.

- *IGS İstasyonları:* Değerlendirmeye Türkiye ve çevresindeki IGS global izleme ağından 16 istasyon dahil edilmiştir. Bu istasyonlar ANKR, ARTU, BOR1, BRUS, BUCU, GRAS, GRAZ, IRKT, ISTA, JOZE, KIT3, KOSG, MADR, MATE, METS, NICO, NSSP, NYAL, ONSA, ORID, SOFI, TRAB, TUBI, VILL, WTZR, ZECK, ZIMM arasından seçilmiştir. İstasyon seçiminde ilgili ölçme periyodunda eğer SOPAC arşivinde ilgili IGS istasyonunun verisi mevcutsa istasyon veri setine dahil edilmiştir. IGS istasyonlarının yanı sıra Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen COMU-2014-241 no'lu ve "ÇOMÜ Sabit GNSS İstasyonu ile GPS Zaman Serilerinin Gözlem ve Değerlendirilmesi" başlıklı bilimsel araştırma projesi ile yeni kurulan COMU sabit GNSS istasyonunda sağlanan veriler de kullanılmıştır. Ayrıca proje kapsamında her bir heyelan alanı çevresinde tesis edilen iki nokta da ölçme ve değerlendirmelere dahil edilmiştir.

- *Radyasyon ve Basınç Modeli*: SOPAC tarafından geliştirilen dokuz parametrelilik standard Berne modeli kullanılmıştır.

- *Okyanus Yükleme*: Scherneck modeli ile çalışılmıştır.

- *Troposfer Modeli*: Zenith gecikme bilinmeyenleri Saastamoinen önsel standart troposfer modeline dayalı olarak hesaplanmıştır.

- Veri değerlendirilmede, L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız LC (L3) doğrusal kombinasyon modeli tercih edilmiştir. Anten faz merkezleri için yüksekliğe dayalı modelleme kullanılmıştır.

- Bernese v.5.0 yazılımı çözümleri sonrasında elde edilen çözümler 16 global IGS noktasından yararlanarak 7 parametrelilik (3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek) dönüşüm ile ITRF referans sistemine tanımlanmıştır.

Bu temel stratejiye göre GPS/GNSS kampanyalarından sağlanan veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ambaroba heyelan izleme ağıının 2013 Nisan dönemi dengelenmiş nokta koordinatları Tablo 8'da verilmektedir.

Tablo 8. Ambaroba Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları

NN	X (m)	Y (m)	H (m)
AM01	533392.675	4453779.741	210.401
AM02	533405.412	4453759.407	214.523
AM03	533414.945	4453737.58	223.255
AM04	533432.958	4453726.332	231.164
AM05	533443.629	4453720.251	234.870
AM06	533456.145	4453725.792	235.704
AM07	533456.189	4453716.332	237.916
AM08	533469.365	4453721.906	238.573
AM09	533482.268	4453731.288	238.772
AM10	533489.360	4453743.969	237.326
AM11	533490.144	4453754.738	234.592
AM12	533496.927	4453759.859	232.173
AM13	533506.156	4453761.462	232.491
AM14	533498.280	4453768.446	228.327
AM15	533496.825	4453784.100	223.969

Benzer olarak Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İtepe Heyelan alanlarındaki izleme ağlarının 2013 Nisan dönemi verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilmiş dengelenmiş koordinatlar sırasıyla Tablo 9, Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 9. Adatepe Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları

NN	X (m)	Y (m)	H (m)
AD01	484193.172	4473368.175	53.173
AD02	484160.579	4473351.685	60.631
AD03	484124.317	4473346.019	64.581
AD04	484115.831	4473343.233	67.636
AD05	484106.873	4473358.837	65.451
AD06	484098.941	4473367.314	66.156
AD07	484093.408	4473379.148	64.202
AD08	484081.011	4473391.181	64.513
AD09	484068.078	4473409.524	65.453
AD10	484078.988	4473426.079	58.747
AD11	484087.984	4473425.038	56.092
AD12	484095.213	4473405.971	59.052
AD13	484105.501	4473400.925	58.602
AD14	484119.487	4473390.482	59.388
AD15	484128.144	4473369.253	59.016
AD16	484147.758	4473367.718	57.494
AD17	484166.791	4473379.337	55.769
AD18	484106.572	4473431.736	54.911
AD19	484182.251	4473382.982	52.935
AD20	484085.049	4473396.285	58.815
AD21	484097.829	4473410.423	59.106

Tablo 10. Şevketiye Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları

NN	X (m)	Y (m)	H (m)
SV01	488447.856	4473546.322	24.946
SV02	488455.572	4473551.037	23.085
SV03	488462.934	4473558.961	20.627
SV04	488451.024	4473561.760	23.074
SV05	488447.623	4473556.604	24.374
SV06	488442.161	4473536.316	25.566
SV07	488463.867	4473546.576	19.924
SV08	488479.007	4473554.118	15.533
SV09	488488.741	4473541.631	15.881
SV10	488468.527	4473534.535	19.269
SV11	488452.445	4473534.623	22.971
SV12	488465.072	4473499.992	22.924
SV13	488470.004	4473510.402	20.581
SV14	488461.95	4473513.507	22.086
SV15	488452.565	4473509.369	24.286
SV16	488468.386	4473518.823	19.914
SV17	488473.526	4473559.082	16.239
SV18	488475.547	4473559.526	15.832
SV19	488449.732	4473541.210	23.519

Tablo 11. Güzelyalı Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları

NN	X (m)	Y (m)	H (m)
GZ01	445047.861	4435975.135	7.120
GZ02	445061.007	4435995.038	7.599
GZ03	445077.427	4436021.343	8.785
GZ04	445090.435	4436043.235	9.999
GZ05	445106.833	4436072.004	10.754
GZ06	445124.356	4436105.643	11.673
GZ07	445132.032	4436128.862	12.957
GZ08	445201.455	4436077.555	21.854
GZ09	445204.961	4436055.156	23.426
GZ10	445181.821	4436063.745	21.398
GZ11	445152.916	4436025.712	21.635
GZ12	445176.168	4436034.721	23.203
GZ13	445197.62	4436037.031	24.339
GZ14	445147.202	4436150.068	14.638

Tablo 12. Intepe Heyelanı 2013 Nisan ayı izleme ağı dengelenmiş koordinatları

NN	X (m)	Y (m)	H (m)
IN01	443716.631	4432095.986	161.881
IN02	443795.97	4432177.498	152.446
IN03	443772.667	4432183.792	150.798
IN04	443704.157	4432201.164	146.279
IN05	443688.675	4432214.552	145.675
IN06	443671.482	4432220.705	145.113
IN07	443740.922	4432172.381	150.075
IN08	443723.055	4432175.427	146.436
IN09	443720.561	4432149.502	147.024
IN10	443660.447	4432158.886	141.338
IN11	443633.726	4432149.818	140.852
IN12	443669.728	4432133.363	144.674
IN13	443669.776	4432105.021	153.613

Ayrıca dengeleme sonucunda her bir ağıda X ve Y koordinatları için nokta hata elipsleri ile H koordinatı için hata doğrultuları hesaplanmıştır. Hata elipslerinin büyük ve küçük yarı eksenleri ile hata doğrultularının genellikle mm düzeyinde olduğu ve ayrıca hata elipslerinin neredeyse homojen ve izotrop yapıya yakın olduğu görülmüştür. Bu durum veri kalitesinin ve dengeleme sonuçlarının güvenilirliğinin göstergesi olarak yorumlanmıştır.

2.6 GPS/GNSS Verileri ile Deformasyon Analizi

Proje kapsamında çalışılan heyelanlardaki mikro-jeodezik izleme ağlarının ölçmeleri GPS/GNSS ölçme tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu verilerin değerlendirilmesi aşamasında kullanılan Kampanya dönemlerde periyodik olarak yapılan bu ölçümler ile jeodezik ağ noktalarının konumları ve k hız vektörü bileşenlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu veriler sayesinde çalışma bölgesindeki heyelan yüzey hareketleri hakkında önemli veriler sağlanmıştır. Proje kapsamında büyüklük ve nicelik yönünden önemli bir konuma sahip bölge heyelanlarının da GPS/GNSS ölçümleri ile izlenmesi ve riskin ortaya konması sağlanmaktadır. Bölgede önemli heyelan riskine sahip Biga Yarımadasında bu amaca yönelik çalışmalar planlanmış olup, ülkemizde ilk kez bu kadar geniş bir alanda heyelanların GPS/GNSS ile izlenmesi ve modellenmesi tamamlanmıştır. Statik yöntemle toplanan GPS/GNSS verileri akademik yazılımla değerlendirilmiştir. Böylece heyelan izleme ağlarındaki noktaların her bir ölçme periyoduna ilişkin koordinat bilgileri ve doğruluk ölçütleri elde edilmiştir. Temel amaç izleme noktalarında her ölçme periyodunda toplanan ölçülerinden yararlanarak noktaların gerçek hareketlerini ya da sabit kalıp kalmadıklarını istatistiksel olarak kanıtlayarak ortaya koymaktır. Bilindiği gibi yinelemeli ölçülerin değerlendirilmesi ve analizinde objenin gerçek deformasyon yapısının istatistiksel test yöntemleri ile ortaya konması söz konusudur. İncelenen heyelanın hareketleri obje belli sıklıkta obje noktalarıyla obje noktalarıyla tanımlanır. Bunlar arasında ölçüler yapılır. Heyelan dışında deformasyon bölgesinden uzak yerlerde referans noktaları bulunur. Sağlam zeminde işaretlenen bu noktaların yer değiştirmedikleri kabul edilir. Sabit kalıp kalmadıkları obje noktalarından önce istatistik yöntemlerle test edilip ortaya konur. Proje kapsamında periyot ölçülerinin deformasyon analizi ile analizinde MATLAB yazılımında geliştirilmiş kodlar kullanılmıştır.

2.6.1 MATLAB Tabanlı Deformasyon Analizinde Temel Kurallar

- Ağ geometrisi her periyotta \hat{x}_i nokta koordinatları ve bunların kovaryans matrisleri (Σ_{xx}) ile tanımlanır.
- Nokta koordinatları tüm iz minimum yapılarak serbest ağ dengelemeleri ile belirlenir.
- Asıl deformasyon analizi her periyot ölçüleri ayrı ayrı dengelendikten sonra yapılır.
- Ağ konfigürasyonunda (noktalar arasındaki bağlantılar, doğrultu, uzunluk ölçüleri) ve ölçü planındaki değişiklikleri yapılabilir.

2.6.2 Periyot Ölçülerinin Dengelenmesi

Periyot sayısının “k” olduğunu düşünürsek dengelemenin fonksiyonel modeli en genel

biçimde

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & A_{1k} \\ A_{21} & A_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & A_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{k1} & A_{k2} & \cdot & \cdot & \cdot & A_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{x}_k \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

yazılabilir. Burada

$I_i (n_i, 1)$: Küçültülmüş ölçüler vektörü

$v_i (n_i, 1)$: Düzeltmeler vektörü

$A_{ij} (n_i, v_j)$: Katsayılar matrisi

$\hat{x}_i (v_i, 1)$: Nokta koordinatları vektörü

Her periyot için koordinat bilinmeyenleri vektörü öngörülmektedir. Ağ konfigürasyonundaki değişimler nedeniyle v_i ler farklı olabilir. Bunun gibi n_i ölçü sayıları ve ölçülerin türü değişik olabilir. Buna göre ağ teorisi dilinde birinci ve ikinci dizaynda (fonksiyonel modelde) değişim kabul edilebilir. Yukarıdaki dengeleme modeli çok değişkenli dizayn anlamındadır.

Katsayılar matrisinin köşegeni üzerinde bulunan A_{ii} konfigürasyon matrisleri ilgili periyotlardaki ölçülerle bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ilişkileri gösterir. A_{ij} matrisleri ($i \neq j$) değişik periyotların parametreleri arasındaki fonksiyonel ilişkileri tanımlarlar. Deformasyon analizinde $A_{ij}=0$ ($i \neq j$) kabul edilir. Buna göre fonksiyonel model

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & A_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & A_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{x}_k \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

A_{ii} Matrislerinin rangı $r_g(A_{ii}) = r_i = u_i - d_i$ 'dir.

u_i , i . Peryoda ilişkin bilinmeyen sayısı, d_i i . Periyottaki datum defekti anlamındadır. A_{ii} matrisleri tekildir. k sayıda periyot için stokastik model genel biçimiyle

$$\underline{\Sigma}_{II} = \sigma_o^2 \underline{Q}_{II} = \sigma_o^2 \begin{bmatrix} \underline{Q}_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & \underline{Q}_{1k} \\ \underline{Q}_{21} & \underline{Q}_{22} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \underline{Q}_{k1} & \underline{Q}_{k2} & \underline{Q}_{k3} & \cdot & \underline{Q}_{kk} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$\underline{\Sigma}_{II}$: Tüm periyotlara ilişkin ölçülerin kovaryans matrisi

\underline{Q}_{II} : Buna karşılık tüm ölçülerin kofaktör (ağırlık katsayıları) matrisi

\underline{Q}_{ii} : i. Periyottaki ölçülerin ağırlık katsayıları

\underline{Q}_{ij} ($i \neq j$): Değişik periyotlardaki ölçüler arasındaki stokastik bağımlılıkları gösteren ağırlık katsayıları matrisi

$\underline{Q}_{ij} = 0$ kabul edilir. ($i \neq j$)

Değişik periyotlardaki ölçüler arasındaki ilişki (korelasyon) olabilir. (Örneğin dış ya da atmosferik etkiler nedeniyle) ama bunları belirlemek; \underline{Q}_{ij} matrislerini oluşturmak genellikle problemdir. Bu yaklaşımlar sonucu basitleştirilmiş stokastik model

$$\underline{\Sigma}_{II} = \sigma_o^2 \underline{Q}_{II} = \sigma_o^2 \begin{bmatrix} \underline{Q}_{11} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \underline{Q}_{22} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \quad \underline{Q}_{kk} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Değişik periyotlarda ölçü duyarlılıkları farklı olabilir. Periyotlar arasında yapılacak homojenleştirme işleminden sonra bir tek σ_o^2 varyans faktörünün alınması uygun olur.

$$\underline{Q}_{ii} \text{ matrislerinin rangı } r_g(\underline{Q}_{ii}) = r_{ii} = n_i \quad (2.5)$$

Farklı periyotlarda ölçü duyarlılıkları farklı olabilir. Periyotlar arasında yapılacak homojenleştirme işleminden sonra bir tek varyans faktörünün alınması uygun olur.

$$\underline{Q}_{ii} \text{ matrislerinin rangı } r_g(\underline{Q}_{ii}) = r_{ii} = n_i \quad (2.6)$$

2.6.3 Periyot Ölçülerinin Ayır Ayır Dengelenmesi

$$l_i + v_i = A_{ii} \hat{x}_i \quad (2.7)$$

$\Sigma_{ii} = \sigma_o^2 Q_{ii}$ dengeleme modeli elde edilir. Buradan $P_i = Q_{ii}^{-1}$ ile kurulacak normal denklemlerin çözümünden

$$\hat{x}_i = Q_{x_i} A_i^T P_i l_i \quad ; \quad Q_{x_i} = (A_i^T P_i A_i)^+ \quad \text{çıkar.} \quad (2.8)$$

Burada (+) Moore-Penrose (Pseudo İvers) anlamındadır.

$$x = N^{-n} \text{ Genel Gösterim} \quad (2.9)$$

$$x = N^{-1n} \text{ Klasik (defekt sayısı=bilinen sayısı)} \quad (2.10)$$

$$x = N^{+n} \text{ Serbest ağ dengelemesi N Tekil} \quad (2.11)$$

Dengeleme sonucunda birim ağırlıklı ölçünün σ_o^2 varyansı için s_{oi}^2 değeri,

$$s_{oi}^2 = \frac{v_i^T P_i v_i}{n_i - r_i} = \frac{\Omega_i}{f_i} \quad (2.12)$$

n_i : i . Periyottaki ölçü sayısı

r_i : i . Periyottaki A_{ii} matrisinin rangı

$$r_i = u_i - d_i \quad (2.13)$$

$P_i = Q_{ii}^{-1}$ ağırlık matrisinin tüm periyotlarda aynı bir σ_o^2 varyansına dayandırılması gerektiğine dikkat edilmelidir. Buna göre:

$H_B : E(\sigma_{o1}^2) = E(\sigma_{o2}^2) = \dots \dots \dots E(\sigma_{ok}^2) = \sigma_o^2$ hipotezi sağlanmalıdır. Uygulamada her ölçme periyodunda duyarlılık hakkındaki ön bilgilere dayanılarak Σ_{ii} kovaryans matrisleri oluşturulur. Dengeleme sonucunda stokastik model doğrulanmazsa varyans kestirim yöntemiyle daha iyi Σ_{ii} matrisi oluşturulabilir. Periyotlar arasındaki ağırlık ilişkileri noksansız belirlenmişse başka bir deyişle s_{oi}^2 varyans değerleri arasındaki farklar ölçü hatalarından kaynaklanıyorsa k sayıda s_{oi}^2 varyans değerinden bir tek s_o^2 , tahmin değerinin dönüştürülmesi,

$$s_o^2 = \frac{\sum \Omega_i}{\sum f_i} \quad (2.14)$$

uygun olur.

Bu aşamadan sonraki incelemeler küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerine dayandırılacağından tüm periyotlarda doğrusallaştırılma işlemi için aynı koordinat değerleri geçerli olmalıdır. Örneğin zemin kaymaları gibi lokal nokta hareketlerinin büyük olduğu durumlarda bu koşul sağlanmayabilir. Bu durumda değişik periyotlarda yaklaşık koordinat değerleri farklı olur. İncelemeler için dengeleme sonucunda elde edilecek koordinat değerleri temel alınmalıdır.

2.6.4 Doğrusal Hipotez Testi

Dengeleme modeli

$$I + v = A x, \quad C_{11} = \sigma_0^2 Q_{11} = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (2.15)$$

olduğuna göre x bilinmeyenleri ya da bir bölümü arasında belli koşulların geçerli olup olmadığını test etmek amacıyla

$$H_0 : Bx = W \quad (2.16)$$

hipotezi öngörülür. Deformasyon analizinde sıfır hipotezi değişik periyotlarda gözlenen eşlenir ağ noktalarının koordinatları arasındaki farkların sıfıra eşit olduğunu başka bir deyişle ağın herhangi bir noktasında hareket olmadığını varsayan koşul denklemleri biçimindedir. Doğrusal hipotezinin oluşturulan dengeleme modeliyle uyumlu olup olmadığı sorusu F testine göre yanıtlanır. Sıfır hipotezi geçerli ise ilgili eşitlik yerine dengeleme modeli bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri bulunan

$$I + v_H = A x_H, \quad C_{11} = \sigma_0^2 Q_{11} \quad (2.17)$$

$$B x_H = W \quad (2.18)$$

denklem sistemi biçiminde tanımlanır. Dengeleme modelinden bilinmeyen parametreler x , ve düzeltmelerin kareleri toplamı Ω için

$$x = N^{-1} A^T P l, \quad N = A^T P A \quad (2.19)$$

$$\Omega = (l - A x)^T P (l - A x) = v^T P v \quad (2.20)$$

çözümleri elde edilir.

Bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri bulunan dolaylı ölçüler dengelemesine ilişkin çözüm yollarından gidilerek ilgili modelden bilinmeyenler vektörü x_H ve düzeltmelerin kareleri toplamı Ω_H , için bulunacak çözüm eşitliklerinde yukarıdaki bağıntılar göz önünde tutulursa H_0 hipotezinin etkisini gösteren

$$x_H = x - N^{-1} B^T (B N^{-1} B^T)^{-1} (B x - w) \quad (2.21)$$

$$R = (B x - w)^T (B N^{-1} B^T)^{-1} (B x - w) \quad (2.22)$$

$$\Omega_H = \Omega + R \quad (2.23)$$

eşitlikleri elde edilir.

R büyüklüğü, sıfır hipotezi nedeniyle temel dengeleme modeline göre bulunan Ω 'daki değişim ya da artım miktarıdır. Datum defekti d, ölçü sayısı n, bilinmeyen sayısı u, serbestlik derecesi $f=n - u$ ve dış merkezlik parametresi λ olmak üzere bulunacak Ω için χ^2 - dağılımı

$$\frac{fs_0^2}{\sigma_0^2} = \frac{\Omega}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(f, \lambda) \quad (2.24)$$

geçerlidir. Ölçüler normal dağılımlı ve dengeleme modeli doğru ise dış merkezlik parametresi sıfıra eşittir ($\lambda=0$).

R büyüklüğü için serbestlik derecesi h, ilgili eşitliğine göre:

$$h = r_g (B N^{-1} B^T) \quad (2.25)$$

dir. Sıfır hipotezi geçerli $E(B x - w) = 0$ ise R büyüklüğüne ilişkin dış merkezlik parametresi λ_H sıfıra eşittir. ($\lambda_H=0$) R içinde genel olarak χ^2 - dağılımı

$$\frac{\Omega_H}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(f, \lambda_H) \quad , \quad \frac{R}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(h, \lambda_H) \quad (2.26)$$

geçerlidir.

H_0 hipotezini test etmek için test büyüklüğü olarak, birbirinden bağımsız χ^2 - dağılımlı büyüklüklerinin F-dağılımlı oranı

$$F = \frac{R/h}{\Omega/f} \sim F(h, f, \lambda_H) \quad (2.27)$$

oluşturulur. α yanılma olasılığı olmak üzere H_0 hipotezi için

$$P(F > F_{h,f,1-\alpha}) = \alpha \quad (2.28)$$

olasılık eşitliği geçerlidir. Uygulamada oran, $1-\alpha$ istatistik güveni için F-dağılımının h ve f serbestlik derecesine karşılık sınır değerinden daha büyük çıkarsa doğrusal hipotezi reddedilir.

2.6.5 Doğrusal Hipotez Testi (Global Test)

Değişik periyotlarda geometrisi aynı kalan bir konum ağında t1 ve t2 zamanlarında yapılan ölçüler l1 ve l2, düzeltmeler v1 ve v2, fonksiyonel modelde katsayılar matrisi A1 ve A2, koordinat bilinmeyenlerinin tahmin değerleri x1 ve x2 ile gösterilir ve periyotlara ilişkin bilinmeyenler arasında bir fonksiyonel ilişki olmadığı varsayılırsa dengeleme modeli:

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

düzeltilme denklemleri ve değişik periyotların ölçüleri arasında korelasyon yoksa

$$C_{11} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

varyans-kovaryans matrisiyle tanımlanır.

Her iki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığı sorusunu yanıtlamak için, doğrusal hipotezi her iki periyot arasında eşlenik nokta koordinatlarının değişmediğini öngören:

$$H_0 : \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E(x_1) \\ E(x_2) \end{bmatrix} = 0 \quad (2.31)$$

denklemler sistemi biçimindedir. $B = \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix}$, $w = 0$ yukarıdaki modeline göre dengeleme, periyotlar için birbirinden bağımsız iki dengelemeye ayrılır. Dengeleme sonucu olarak,

$$x_1 = Q_{x_1 x_1} A_1^T P_1 l_1, \quad Q_{x_1 x_1} = N_{11}^+ = (A_1^T P_1 A_1)^+ \quad (2.32)$$

$$x_2 = Q_{x_2 x_2} A_2^T P_2 l_2, \quad Q_{x_2 x_2} = N_{22}^+ = (A_2^T P_2 A_2)^+ \quad (2.33)$$

$$\Omega = v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2, \quad (\text{kosul: } \sigma_{01}^2 = \sigma_{02}^2 = \sigma_0^2) \quad (2.34)$$

$$m_0^2 = \frac{\Omega}{f}, \quad f = n_1 + n_2 - 2u + 2d \quad (2.35)$$

elde edilir. Model doğrusal hipoteziyle birlikte değerlendirildiğinde iki periyot arasındaki koordinat farkları:

$$d = x_1 - x_2 \quad (2.36)$$

ve bunlara ilişkin ağırlık katsayılar matrisi

$$Q_{dd} = Q_{x_1 x_1} + Q_{x_2 x_2} \quad (2.37)$$

olmak üzere;

$$R = d^T Q_{dd}^+ d \quad (2.38)$$

çıkar. Her iki periyotta ağ geometrisi ve serbest datum parametreleri aynı (sayısı d) ise R'nin serbestlik derecesi

$$h = r_g(Q_{x_1 x_1}) = r_g(Q_{x_2 x_2}) = u - d \quad (2.39)$$

olur. Doğrusal hipotezini test etmek için test büyüklüğü

$$F = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{m_0^2 h} \quad (2.40)$$

ve olasılık eşitliği geçerlidir. Buna göre $F > F_{n,f,1-\alpha}$ çıkarsa ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu sonucuna varılır.

$$\lambda_H = E \left[(B x - w)^T (B N^{-1} B^T)^{-1} (B x - w) / 2 \sigma_0^2 \right] \quad (2.41)$$

2.6.6 Kapalı (İmplicit) Hipotez Testi Doğrusal

$H_0 : B x = w$ hipotezi dengeleme modeli içinde değerlendirilebilir. H_0 hipotezinide içeren değiştirilmiş dengeleme modeli şekil olarak:

$$I + v_H = A_H x_H \quad (2.44)$$

biçiminde verilebilir. Ölçülerin stokastik modeli

$$\Sigma_{II} = \sigma_0^2 Q_{II} \quad (2.45)$$

Dengeleme sonucunda düzeltmelerin (ağırlıklı) kareleri toplamı

$$\Omega_H = (I - A x_H)^T P (I - A x_H) \quad ; \quad P = Q_{II}^{-1} \quad (2.46)$$

elde edilir.

Test için $R = \Omega_H - \Omega$ büyüklüğü bulunur. f birinci dengeleme modelinin, f_h 'de ikinci dengeleme modelinin serbestlik derecesidir. R'nin serbestlik derecesi ise $h = f_h - f$ biçimindedir.

2.6.7 Kapalı (İmplicit) Hipotez Testinin Deformasyon Analizine Uygulanması

t_1 , t_1 zamanındaki ölçüler, t_2 , t_2 zamanındaki ölçüler olsun. Ağda deformasyon olmadığı biçimindeki varsayım ya da H_0 hipotezi, dengeleme modelinde her iki periyot için aynı bir

bilinmeyenler vektörü x_H öngörülürse dengeleme modelinde implisit hesaba katılmış olur. Buna göre iki periyot ölçüleri için dengelemenin fonksiyonel modeli

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} x_H \quad (2.47)$$

yazılmalıdır.

Bu modelden doğrudan Ω_H elde edilir. Modelden periyotlara ilişkin dengelemelerle Ω_1 ve Ω_2 bulunur. Test için R büyüklüğü ise:

$$R = \Omega_H - \Omega_1 - \Omega_2 \quad (2.48)$$

çıkar.

Serbestlik dereceleri

$$f_H = n_1 + n_2 - u + d$$

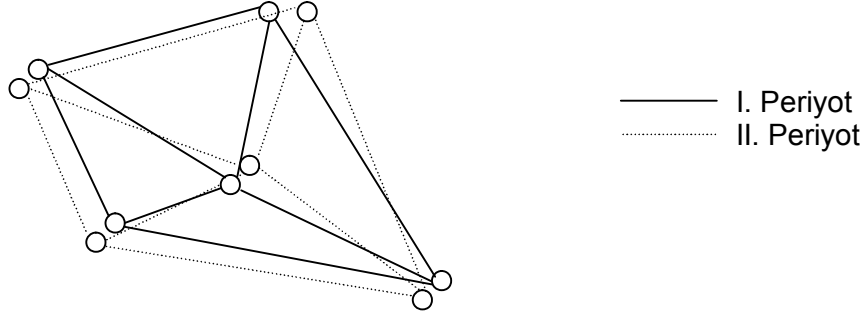
$$f_1 = n_1 - u + d$$

$$f_2 = n_2 - u + d$$

$$h = f_H - f_1 - f_2 = u - d = r \quad (2.49)$$

Test büyüklüğü oluşturularak karar verilir. İmplisit hipotez testinin başlıca yararı R büyüklüğünün hesabı için özel bir hesaplama programına gerek olmamasıdır; basit dengeleme programı ile elde edilebilmesidir. Ağda defekt varsa defekt sayısı kadar sütun fonksiyonel modelde çizilerek normal denklem katsayılar matrisinin regüler olması sağlanır. Dengeleme sonucu Ω değişmez. $f = n - r = n - (u - d) = n - u + d$ ve $u \gg u - d$ olacağı için $f = u - d$ olur.

Buraya kadar açıklanan konularda ağ konfigürasyonunun her iki periyotta değişmediği varsayılmıştır. Bu proje kapsamında gerçekleştirilen GPS/GNSS ölçme kampanyalarında ağ konfigürasyonunun her iki ölçme periyodunda eşlenik olduğu durumlarda bu yaklaşım başarıyla kullanılmıştır (Şekil 44).

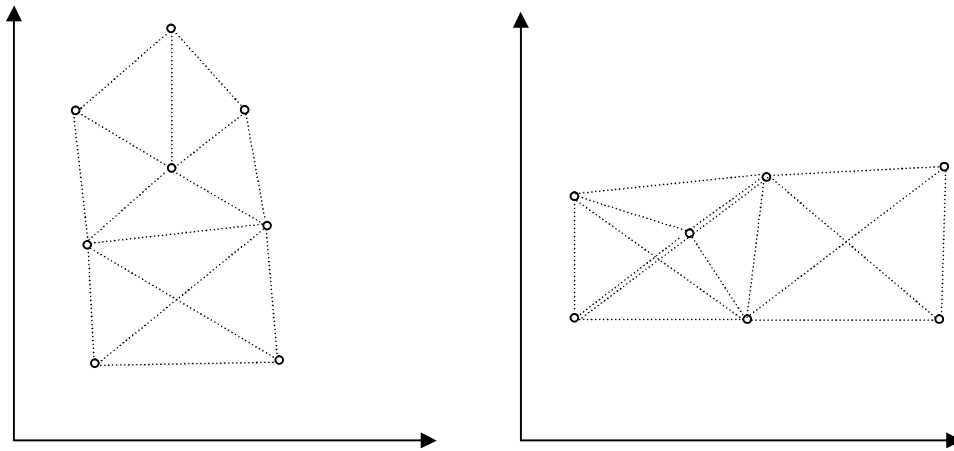


Şekil 43. Eşlenik ağ geometrisi

Global test, eşlenik ağların ya da ağ bölümlerinin değişik periyotlarda aynı kalıp kalmadıklarının araştırılmasına yöneliktir. Global test sonucu ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu yargısına götürürse hangi noktaların anlamlı hareket ettiği sorusuna yanıt aşamasına geçilir. Bu işleme deformasyonların yerelleştirilmesi(Lokalizasyonu) adı verilir.

2.6.7.1 Ağ Konfigurasyonu Her İki Periyotta Eşlenik Değilse Global Test

Önceki bölümde ağ konfigurasyonunun her iki periyotta değişmediği varsayılmıştı. Uygulamada genellikle noktaların zarar görmesi, ağın genişletilmesi (Nokta eklenerek) gibi nedenlerle ikinci periyotta ağ konfigurasyonu değişebilir. Deformasyon analizi her iki periyotta bulunan noktalar için yapılır. Bir periyotta var olan tüm noktalar ağ geometrisini etkilediğinden ortak olmayan noktalar çizilip atılamaz. Eşlenik olmayan noktalar bir blok içinde düşünülerek dengeleme modelinden indirgeme ile yok edilebilir (Şekil 44). Böylece yalnızca her iki periyotta bulunan noktaların geçtiği indirgenmiş normal denklem sistemi elde edilir. Bu işlem ortak noktalara ilişkin kısmi iz minimum çözümüyle eşdeğerlidir.



Şekil 44. Eşlenik olmayan ağ geometrisi.

Birinci periyot ölçüleri 1, 2, 3, 4 noktaları datum noktası olmak üzere serbest dengelenir. Benzer biçimde ikinci periyot ölçüleri yine ortak noktalar datum noktaları olarak öngörülerek serbest dengelenir. Buna göre heriki periyot dengelemeleri sonucunda bilinmeyenler vektörünün datum noktalarını içeren alt vektörünün normu ve bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisinin datum noktalarına ilişkin alt matrisinin iz minimum yapılmaktadır. Aynı sonuca heriki periyoda ilişkin normal denklemlerden ortak olmayan noktalara karşılık koordinat bilinmeyenlerinin blok biçiminde yok edilmesi, böylece yalnızca 1,2,3 ve 4 ortak noktalarının koordinat bilinmeyenlerinin blok biçiminde yok edilmesi, böylece yalnızca 1, 2, 3 ve 4 ortak noktalarının koordinat bilinmeyenlerinin geçtiği indirgenmiş normal denklem sistemlerinin tüm iz minimum çözümü ile de ulaşılabilir.

Datuma giren koordinat bilinmeyenleri x_D vektörünü oluştursun ve bunlara karşılık ağırlık katsayıları matrisi Q_{DD} olsun. Ağın eşlenik noktalar bölümünde global test uygulamak için her iki periyot ölçüleri aynı datumda kısmi iz minimum çözümüne göre serbest dengelenmiş olmalıdır. Her iki periyota ilişkin dengeleme sonuçlarını (datum noktalarına ya da ortak noktalara ilişkin sonuçlar) $x_{D_1}, (Q_{DD})_1$; $x_{D_2}, (Q_{DD})_2$ ile gösterelim. Koordinat farkları d_D , ve bunun ağırlık katsayıları matrisi

$$d_D = x_{D_1} - x_{D_2} \quad (2.50)$$

$$(Q_{dd})_D = (Q_{DD})_1 + (Q_{DD})_2 = (N_{DD}^+)_1 + (N_{DD}^+)_2 \quad (2.51)$$

olur. Global test işlemi önceden açıklandığı gibi sürdürülür.

$$R_D = d_D^T (Q_{dd})_D^+ d_D \quad (2.52)$$

d ağın defekt sayısı ise R_D 'nin serbestlik derecesi

$$h_D = u_D - d \quad (2.53)$$

Test büyüklüğü:

$$F = R_D / m_0^2 h_D \quad (2.54)$$

Test sonucu ağın ortak nokta bölümünde bir deformasyon olduğunu gösterirse hareket eden noktaların araştırılması işlemine geçilir.

2.6.8 S- Transformasyonu Hareketli Noktaların Belirlenmesi

İlke olarak her nokta kuşkuyla görülür. Ortak nokta sayısı P ile gösterilirse uygulama P kez yinelenir. İncelenen noktanın koordinatları X_B öteki eşlenik noktaların koordinatları X_F vektörünü oluşturursun. Eşlenik olmayan nokta koordinatları ve modeldeki öteki bilinmeyenler X_N vektörü içinde toplanmış olsun. Eşlenik noktalar datum noktaları olmak üzere yapılan serbest dengeleme sonucunda bulunan bilinmeyenler vektörünü j ile tanımlarsak bu ayırımı göre:

$$X^j = \begin{bmatrix} X_F^j \\ X_B^j \\ X_N^j \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

olur.

Her iki periyot için aşağıdaki s transformasyonları yapılmalıdır.

$$\begin{bmatrix} X_F^j \\ X_B^j \\ X_N^j \end{bmatrix} = s_i \begin{bmatrix} X_F^j \\ X_B^j \\ X_N^j \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

$$\begin{bmatrix} Q_{FF}^i & Q_{FB} & Q_{FN} \\ Q_{BF} & Q_{BB} & Q_{BN} \\ Q_{NF} & Q_{NB} & Q_{NN} \end{bmatrix} = s_i \begin{bmatrix} Q_{FF}^j & Q_{FB}^j & Q_{FN} \\ Q_{BF}^j & Q_{BB}^j & Q_{BN} \\ Q_{NF} & Q_{NB} & Q_{NN} \end{bmatrix} s_i^T \quad (2.57)$$

Böylece tüm eşlenik noktaların katıldığı j datumundan yalnızca F ile tanımlanan ve hareketsiz kaldığı varsayılan noktaların katıldığı i datumuna geçilmektedir.

$$s_i = I - G^T (B G^T)^{-1} B^T \quad (2.58)$$

s transformasyonu benzer biçimde datum noktaları eşlenik noktalar olan ikinci periyot dengeleme sonuçlarına da uygulanır. Hareketsiz kaldığı varsayılan noktalara ilişkin fark vektörü d_F ,

$$d_F = (X_F^i)_2 - (X_F^i)_1 \quad (2.59)$$

ve bunun ağırlık katsayıları matrisi

$$Q_{FF} = (Q_{FF}^i)_1 + (Q_{FF}^i)_2 \quad (2.60)$$

elde edilir. Sıfır hipotezi

$$H_0 : E[(X_F^i)_1] = E[(X_F^i)_2] \quad (2.61)$$

biçiminde öngörülür. R büyüklüğü

$$R_F = d_F^T Q_{FF}^+ d_F \quad (2.62)$$

dir. Yukarıdaki işlemler her defasında incelen nokta X_B vektörü ve öteki eşlenik noktalar X_F içinde olmak üzere yinelenecek eşlenik nokta sayısı kadar R_F değeri elde edilir. $(R_F)_{\min}$ olan nokta hareket etmiştir sonucuna varılır. $(R_F)_{\min}$ ile tekrar bir global test yapılır. Bu test hala başka hareketli nokta varolduğu sonucuna götürürse hareket ettiği saptanan nokta eşlenik olmayan noktalar kümesi içine (X_N vektörüne) atılarak kalan eşlenik noktalar ile hareketli nokta araştırmasına yeniden başlanır.

Yukarıda anlatılan deformasyon analiz yöntemi kullanılarak MATLAB yazılımında kodlanmış olan programlar ve kampanya tipi GPS/GNSS ölçüleri kullanılarak detaylı bir deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece her bir ölçme döneminde GPS/GNSS izleme ağındaki noktaların koordinatları ve doğruluk ölçütleri ile ilerleyen periyotlar boyunca noktasal ölçekte hızlar ve standart sapmaları elde edilmiştir.

2.7 Deformasyon Analizi Sonuçları

Yıllık periyodik GPS/GNSS ölçmelerinden sağlanan veriler yardımıyla önceki bölümlerde detaylı olarak sunulan ilkelere göre deformasyon analizleri gerçekleştirilerek heyelanlardaki jeodezik ağ noktalarının koordinat eksenleri yönündeki noktasal hızları elde edilmiştir. Bulunan hızlar yardımıyla heyelan bölgesindeki aktif kitle hareketinin hangi zonlarda yoğunlaştığı ve deformasyon noktalarını koordinat eksenleri yönünde hangi büyüklükte hareket ettiği tespit edilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre her bir yıl içindeki alt verilerin yıllık veriyle aynı eğilimde olduğu görüldüğünden burada sırasıyla Ambaroba, Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İntepe heyelan alanlarındaki mikro-jeodezik GPS/GNSS izleme ağı noktalarının 2013-2014, 2014-2015 ve 2015-2016 yıllarına ilişkin hız değerleri aşağıda Tablo 12 ile Tablo 27 arasında verilmektedir.

Tablo 13. Ambaroba heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
AM01	0.20	2.91	-3.65
AM02	0.55	8.45	-2.12
AM03	0.54	5.43	-3.39
AM04	0.63	4.09	-4.05
AM05	0.40	4.15	-0.78
AM06	0.90	1.56	-2.86
AM07	0.47	5.53	-0.39
AM08	0.35	1.26	-1.97
AM09	-0.61	4.21	-3.50
AM10	-1.54	2.83	-1.38
AM11	0.48	4.43	-0.79
AM12	0.43	2.02	-3.64
AM13	0.15	4.46	-3.96
AM14	-0.60	1.36	-2.83
AM15	-0.49	4.56	-2.79

Tablo 14. Adatepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
AD01	0.98	-0.56	-0.21
AD02	6.07	-4.65	-0.55
AD03	4.00	-4.73	-1.10
AD04	-0.29	0.96	-0.29
AD05	1.27	2.14	-0.49
AD06	2.00	2.87	-0.46
AD07	5.11	2.62	-0.32
AD08	-2.19	1.26	-1.24
AD09	1.04	3.43	-1.23
AD10	-0.50	4.39	-1.06
AD11	2.32	1.10	-1.10
AD12	8.55	4.85	-0.21
AD13	-1.03	6.03	-0.34
AD14	5.64	2.78	-0.38
AD15	7.08	2.72	-0.60
AD16	1.30	2.29	-1.12
AD17	-4.48	0.74	-0.89
AD18	-2.48	1.04	-0.64
AD19	5.08	3.35	-1.19
AD20	3.58	2.89	-2.33
AD21	0.54	-1.98	-0.59

Tablo 15. Şevketiye heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
SV01	-0.40	-0.66	-2.85
SV02	-1.18	-1.00	-2.34
SV03	0.56	-0.70	-1.71
SV04	2.12	-0.35	-2.47
SV05	1.24	-1.91	-0.80
SV06	-3.50	2.59	-3.56
SV07	1.39	0.88	-2.61
SV08	1.62	2.56	-2.96
SV09	1.27	-1.00	-1.56
SV10	2.62	-2.24	-0.98
SV11	0.65	1.62	-0.70
SV12	-1.35	0.80	-0.60
SV13	-0.30	-1.51	-3.01
SV14	-4.90	-1.08	-2.84
SV15	0.95	-4.02	-1.12
SV16	0.23	2.17	-3.56
SV17	-1.18	-1.96	-3.17
SV18	-1.31	-1.38	-2.42
SV19	-2.16	2.68	-0.17

Tablo 16. Güzelyalı heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
GZ01	-0.23	-0.27	-1.00
GZ02	-0.35	0.15	-1.26
GZ03	-0.21	0.13	-1.22
GZ04	-0.55	-0.44	-0.91
GZ05	-0.32	0.05	-0.93
GZ06	-0.23	-0.34	-0.67
GZ07	0.14	-0.37	-0.61
GZ08	-0.91	-0.94	-0.75
GZ09	-0.76	-0.64	-1.37
GZ10	-0.44	-0.79	-1.47
GZ11	-1.44	-0.78	-0.43
GZ12	-1.69	-0.52	-1.46
GZ13	-0.54	-0.75	-1.41
GZ14	-0.37	-0.26	-1.39

Tablo 17. İntepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2013 – 2014 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
IN01	0.44	-1.13	-0.81
IN02	-2.01	-2.77	-0.51
IN03	-1.91	-2.92	-0.83
IN04	2.80	-1.26	-0.74
IN05	-0.92	-2.76	-1.05
IN06	0.77	-2.03	-1.03
IN07	1.60	-0.69	-0.58
IN08	1.79	-0.88	-0.98
IN09	-0.78	-3.18	-1.06
IN10	-2.24	-1.40	-1.26
IN11	-3.29	-2.16	-0.91
IN12	-1.86	-2.00	-0.88
IN13	-1.47	-3.46	-0.51

Tablo 18. Ambaroba heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
AM01	0.41	4.12	-5.44
AM02	1.00	11.03	-4.97
AM03	0.90	10.18	-4.26
AM04	1.29	4.15	-6.72
AM05	0.77	7.34	-1.08
AM06	1.97	3.07	-3.06
AM07	1.14	11.01	-1.09
AM08	0.62	2.25	-4.77
AM09	-1.42	6.06	-3.69
AM10	-1.94	4.24	-2.17
AM11	1.19	5.38	-3.79
AM12	0.61	3.32	-4.28
AM13	0.21	5.89	-5.46
AM14	-1.39	2.67	-3.70
AM15	-1.03	7.87	-4.81

Tablo 19. Adatepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri

Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yukseklk}$
AD01	1.60	-0.60	-0.99
AD02	12.08	-6.59	-0.93
AD03	8.04	-5.18	-2.20
AD04	-0.71	1.27	-0.83
AD05	1.64	2.86	-0.53
AD06	2.33	3.98	-1.28
AD07	9.44	3.12	-1.10
AD08	-5.37	1.54	-1.52
AD09	1.08	4.26	-1.35
AD10	-1.15	5.72	-2.37
AD11	2.41	1.20	-1.46
AD12	15.21	4.85	-0.50
AD13	-1.33	8.41	-0.41
AD14	11.69	3.49	-1.23
AD15	9.74	3.01	-1.36
AD16	3.12	2.41	-1.25
AD17	-5.40	0.80	-1.78
AD18	-4.42	1.25	-1.26
AD19	11.90	4.03	-1.28
AD20	8.64	2.97	-2.85
AD21	0.81	-2.91	-0.94

Tablo 20. Şevketiye heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri

Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yukseklk}$
SV01	-0.74	-0.66	-5.81
SV02	-1.84	-1.90	-5.62
SV03	1.23	-1.70	-2.93
SV04	4.65	-0.56	-2.95
SV05	1.95	-4.01	-1.38
SV06	-4.83	5.25	-8.61
SV07	2.11	2.17	-4.05
SV08	3.97	3.34	-4.42
SV09	2.18	-1.89	-3.37
SV10	4.07	-5.44	-1.42
SV11	1.40	2.25	-0.89
SV12	-2.11	1.42	-1.22
SV13	-0.71	-2.95	-4.20
SV14	-6.25	-1.73	-4.79
SV15	1.47	-6.95	-2.54
SV16	0.55	4.61	-8.27
SV17	-2.09	-2.33	-6.50
SV18	-1.49	-1.47	-5.16
SV19	-4.54	4.17	-0.42

Tablo 21. Güzelyalı heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri

Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yukseklk}$
GZ01	-0.37	-0.44	-1.25
GZ02	-0.42	0.22	-2.80
GZ03	-0.44	0.19	-2.07
GZ04	-1.29	-0.94	-1.90
GZ05	-0.40	0.06	-2.32
GZ06	-0.24	-0.38	-1.03
GZ07	0.24	-0.77	-1.28
GZ08	-1.04	-2.02	-1.48
GZ09	-1.50	-1.27	-2.77
GZ10	-1.07	-1.75	-1.49
GZ11	-2.43	-1.22	-0.85
GZ12	-3.05	-0.76	-3.53
GZ13	-0.59	-1.17	-2.71
GZ14	-0.64	-0.54	-3.02

Tablo 22. İntepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2014 – 2015 yılları arası hız vektörleri

Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yukseklk}$
IN01	0.44	-1.66	-1.37
IN02	-4.41	-6.69	-1.22
IN03	-3.75	-7.22	-1.13
IN04	3.55	-2.31	-1.47
IN05	-1.65	-6.85	-1.57
IN06	1.02	-4.14	-1.77
IN07	2.92	-0.94	-0.99
IN08	1.95	-1.95	-2.02
IN09	-1.47	-7.64	-1.44
IN10	-3.64	-1.67	-2.62
IN11	-4.21	-4.39	-2.09
IN12	-2.04	-2.89	-1.42
IN13	-1.63	-6.82	-0.83

Tablo 23. Ambaroba heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri

HIZ VEKTÖRLERİ (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
AM01	0.46	4.83	-6.82
AM02	1.29	11.03	-7.17
AM03	2.22	16.27	-5.57
AM04	2.00	6.18	-6.88
AM05	0.93	10.39	-1.59
AM06	2.01	5.10	-3.32
AM07	2.24	12.13	-1.54
AM08	1.31	2.25	-6.23
AM09	-1.48	9.37	-5.25
AM10	-2.24	4.41	-2.29
AM11	2.78	7.31	-5.02
AM12	1.31	3.74	-4.53
AM13	0.39	8.24	-6.75
AM14	-2.82	3.19	-4.96
AM15	-2.52	8.35	-5.13

Tablo 24. Adatepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri

Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
AD01	2.11	-1.15	-1.62
AD02	18.10	-10.76	-1.09
AD03	10.05	-5.53	-3.92
AD04	-0.86	2.07	-1.13
AD05	2.32	5.02	-0.94
AD06	2.47	7.04	-1.71
AD07	12.27	5.64	-1.95
AD08	-5.96	2.38	-1.74
AD09	1.30	6.33	-1.55
AD10	-1.32	8.24	-3.88
AD11	3.17	1.95	-1.59
AD12	22.40	5.23	-0.96
AD13	-1.33	12.99	-0.60
AD14	16.46	4.22	-1.43
AD15	13.10	3.82	-1.73
AD16	4.65	3.11	-1.41
AD17	-5.59	1.46	-1.82
AD18	-4.52	1.76	-1.55
AD19	16.30	6.15	-2.36
AD20	12.18	5.70	-4.92
AD21	0.92	-4.01	-1.59

Tablo 25. Şevketiye heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri

Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
SV01	-1.26	-0.96	-7.16
SV02	-2.04	-1.92	-6.57
SV03	2.30	-2.24	-2.94
SV04	8.60	-0.82	-3.44
SV05	2.70	-4.09	-1.55
SV06	-6.56	6.00	-12.89
SV07	2.16	2.90	-5.88
SV08	6.26	4.32	-5.19
SV09	4.66	-1.95	-3.84
SV10	7.58	-7.83	-1.49
SV11	2.26	2.80	-1.00
SV12	-2.73	2.05	-1.77
SV13	-1.26	-4.07	-4.88
SV14	-9.94	-2.30	-6.16
SV15	3.38	-10.33	-2.78
SV16	1.16	5.00	-10.32
SV17	-5.21	-2.49	-6.86
SV18	-3.43	-2.03	-6.15
SV19	-7.85	4.82	-0.60

Tablo 26. Güzelyalı heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri

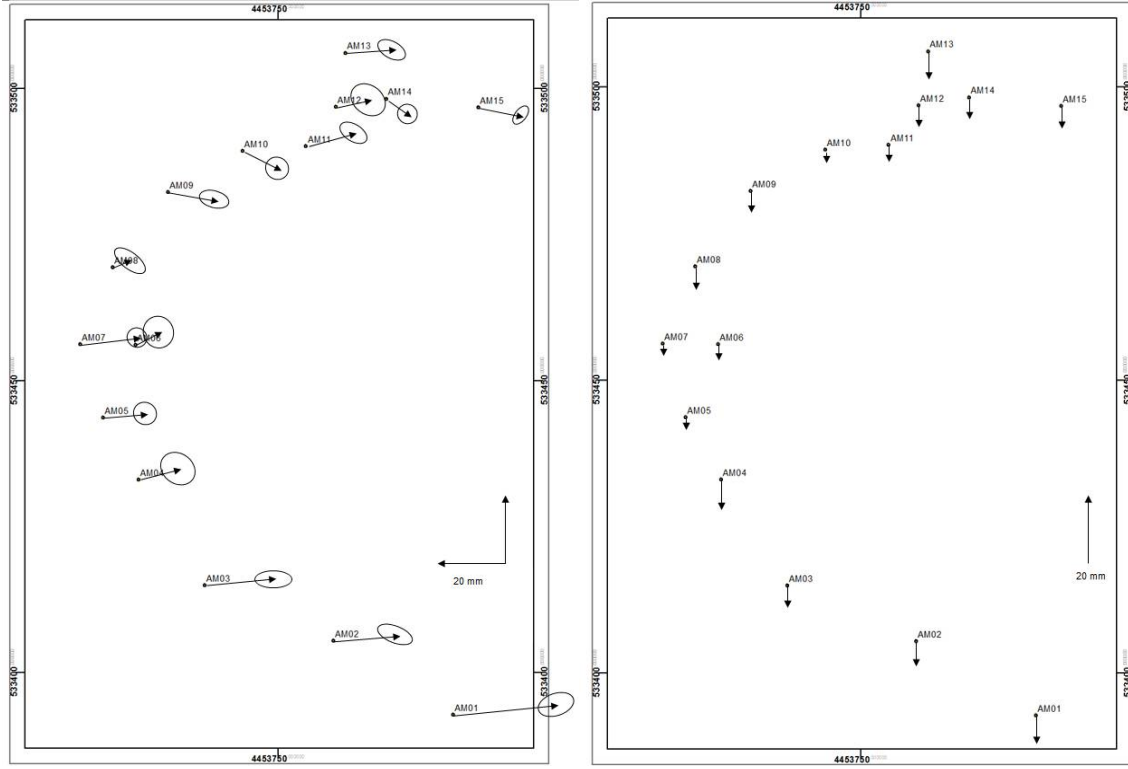
Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yükseklik}$
GZ01	-0.40	-0.78	-2.30
GZ02	-0.52	0.31	-5.47
GZ03	-0.95	0.35	-4.46
GZ04	-1.69	-2.10	-2.05
GZ05	-0.55	0.14	-2.72
GZ06	-0.38	-0.63	-2.34
GZ07	0.41	-1.26	-1.61
GZ08	-1.83	-5.04	-1.56
GZ09	-2.91	-2.44	-4.07
GZ10	-2.07	-4.23	-3.32
GZ11	-6.04	-2.89	-1.15
GZ12	-4.69	-1.69	-6.64
GZ13	-0.83	-2.38	-6.47
GZ14	-1.29	-0.79	-4.52

Tablo 27. İntepe heyelanı izleme ağı noktalarının 2015 – 2016 yılları arası hız vektörleri

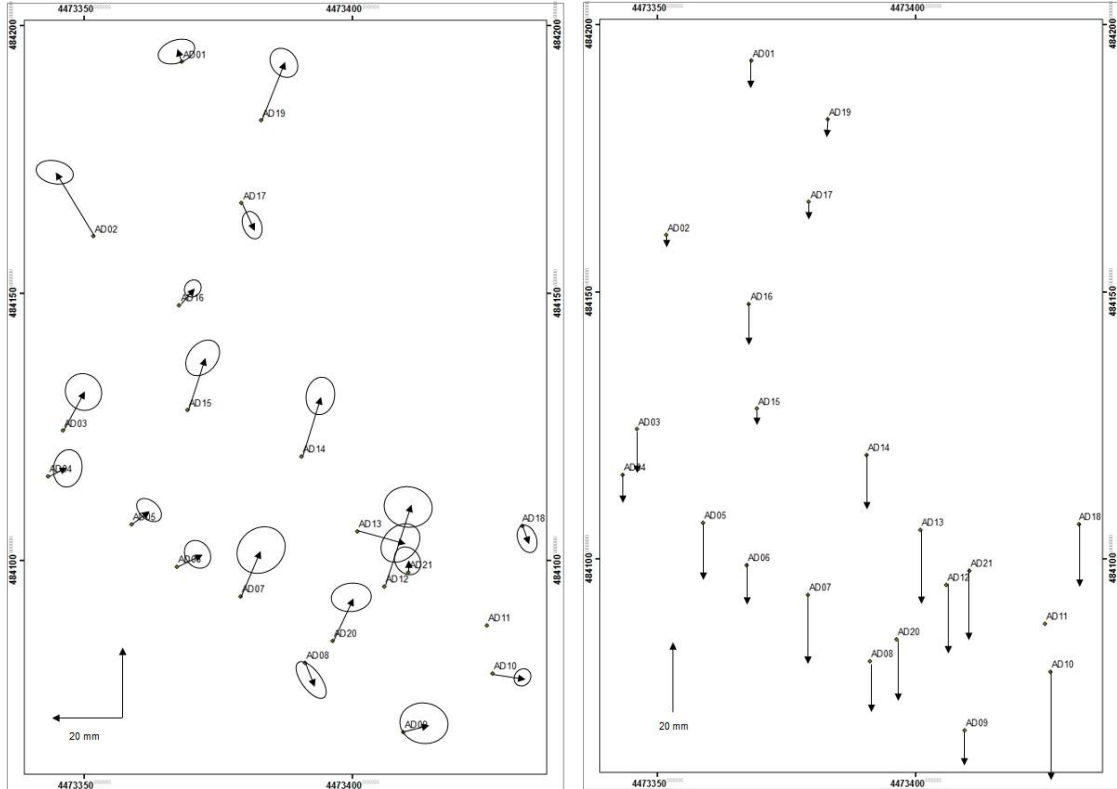
Hız Vektörleri (cm/yıl)			
NN	V_{kuzey}	V_{dogu}	$V_{yuksekkik}$
IN01	0.58	-3.95	-2.50
IN02	-6.82	-9.52	-2.00
IN03	-9.24	-10.76	-1.49
IN04	7.37	-4.87	-1.51
IN05	-3.24	-9.35	-2.13
IN06	2.22	-7.82	-3.09
IN07	4.96	-1.10	-1.29
IN08	2.63	-2.88	-2.39
IN09	-2.17	-10.77	-2.04
IN10	-7.95	-3.91	-4.89
IN11	-8.22	-9.74	-3.40
IN12	-4.06	-2.98	-1.50
IN13	-2.94	-7.95	-1.17

Deformasyon analizi sonucunda elde edilen noktasal yatay ve düşey hız vektörlerinden yararlanılarak çalışma bölgesinin belirli zaman aralığındaki hız alanları elde edilebilir. Bu proje kapsamında çalışılan heyelanlara ilişkin 2013-2016 yılları arasındaki hız alanları bu bölümdeki ilerleyen şekillerde detaylı olarak sunulmaktadır. Heyelan alanları için zamansal olarak elde edilen yatay ve düşey hız alanları Şekil 45 ile Şekil 51 arasında verilmektedir. Çalışılan heyelan alanlarında deformasyon analizleri neticesinde belirlenen yatay hareketler, proje kapsamında jeolojik ve jeofizik tekniklerle saptanan heyelan yapılarıyla uyumlu olarak görülmektedir. Diğer bir ifadeyle genel anlamda noktasal hızların tümü genellikle azalan eğim yönünde yani taç kısmından topuk kısmına doğrudur. Düşey yönde ise büyük bir çoğunlukla çökme hareketi, yer yer de zemin yapısına bağlı olarak yükselme olduğu gözükmektedir.

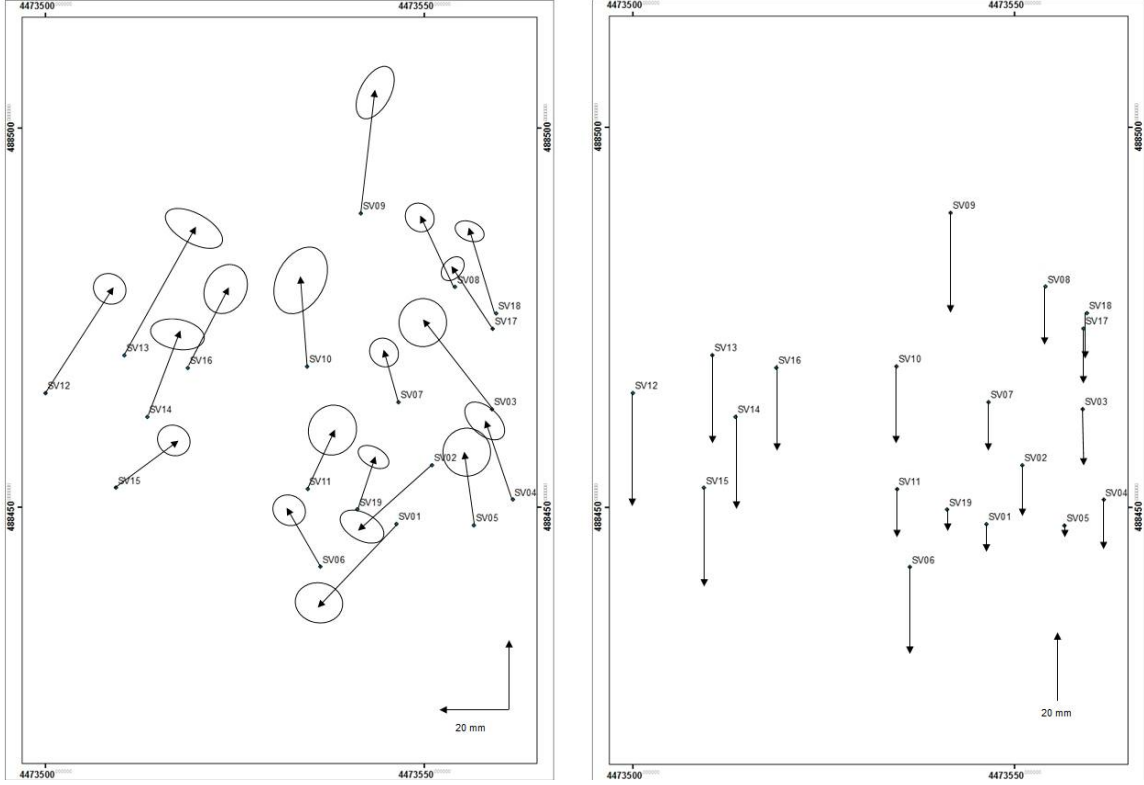
GPS/GNSS izleme çalışmaları kapsamında heyelan bölgelerindeki noktalara etkiyen yüklere karşı benzer geometrik tepkiler vermektedir. Yatay ve düşey hızlar genellikle benzer yön eğiliminde olmalarına karşın farklı büyüklüklerde ortaya çıkmaktadırlar. Hemen yakınında karayolu mevcut olan Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İntepe Heyelanlarında heyelan yatay kitle hareketleri genellikle karayoluna dik doğrultuda oluşmuştur. Ayrıca Ambaroba ve Şevketiye Heyelanlarındaki deformasyonların bir diğer nedeni de deformasyonu tetikleyen mevcut yüzey ve yer altı sularının bu bölgede toplanması ve heyelan alanlarının eğimidir.



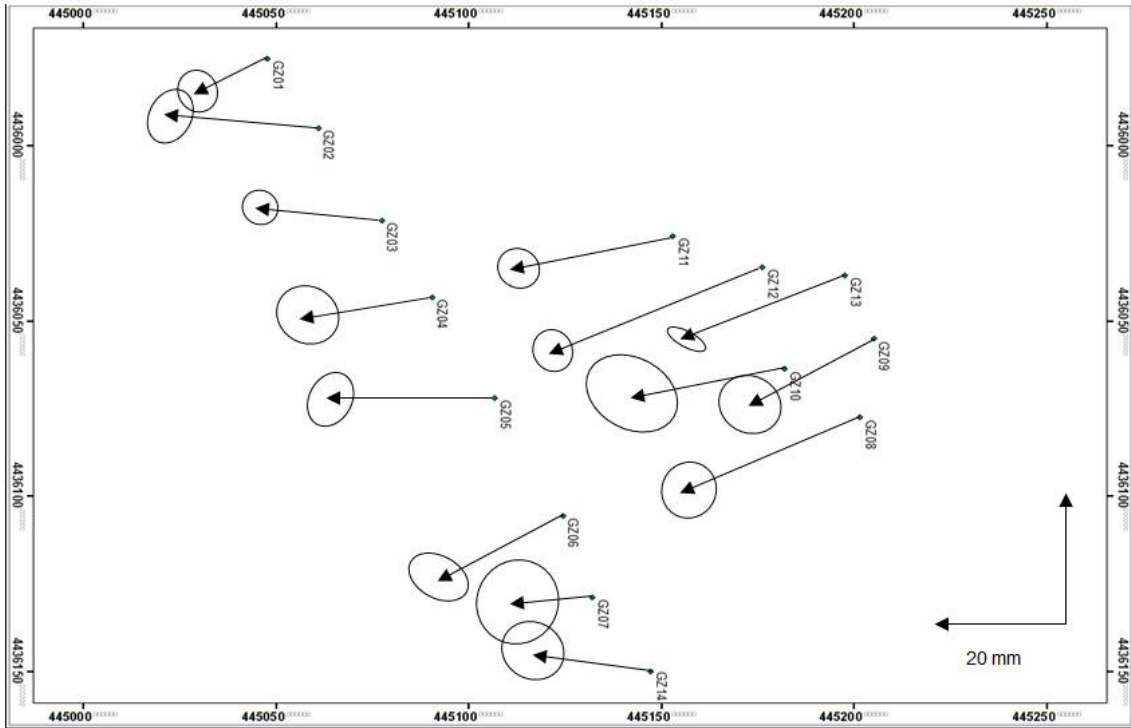
Şekil 45. Ambaroba heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay ve düşey hız alanları.



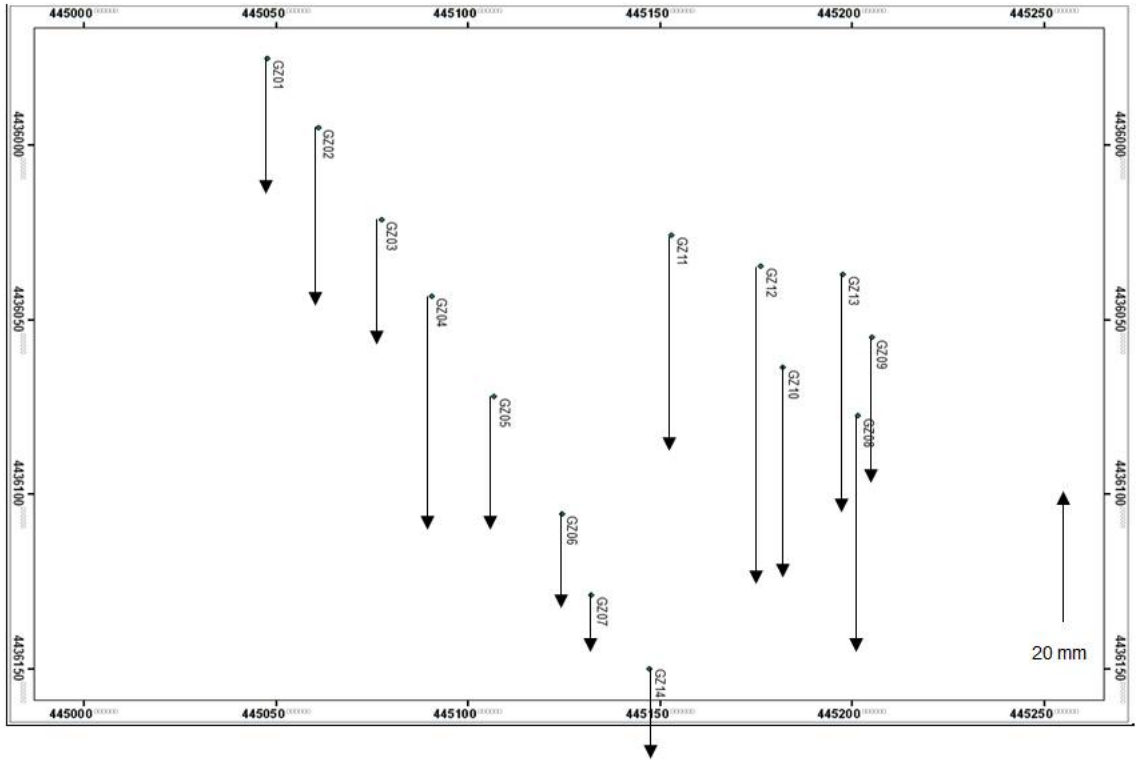
Şekil 46. Adatepe heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay ve düşey hız alanları.



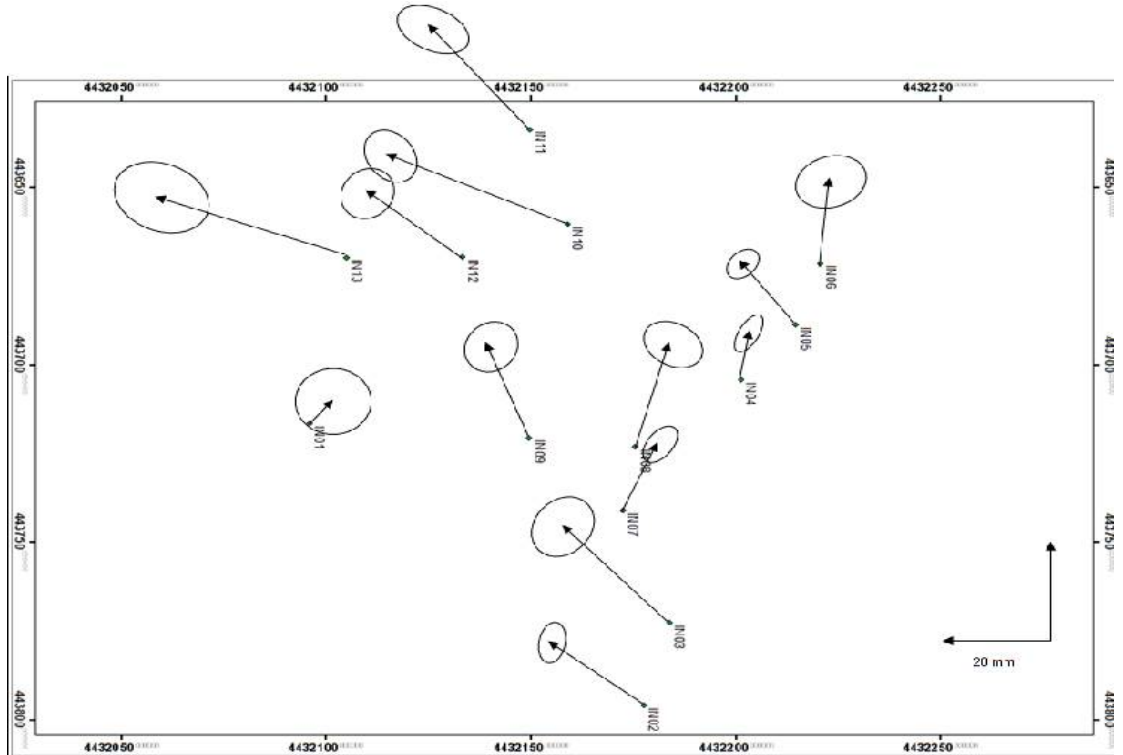
Şekil 47. Şevketiye heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay ve düşey hız alanları.



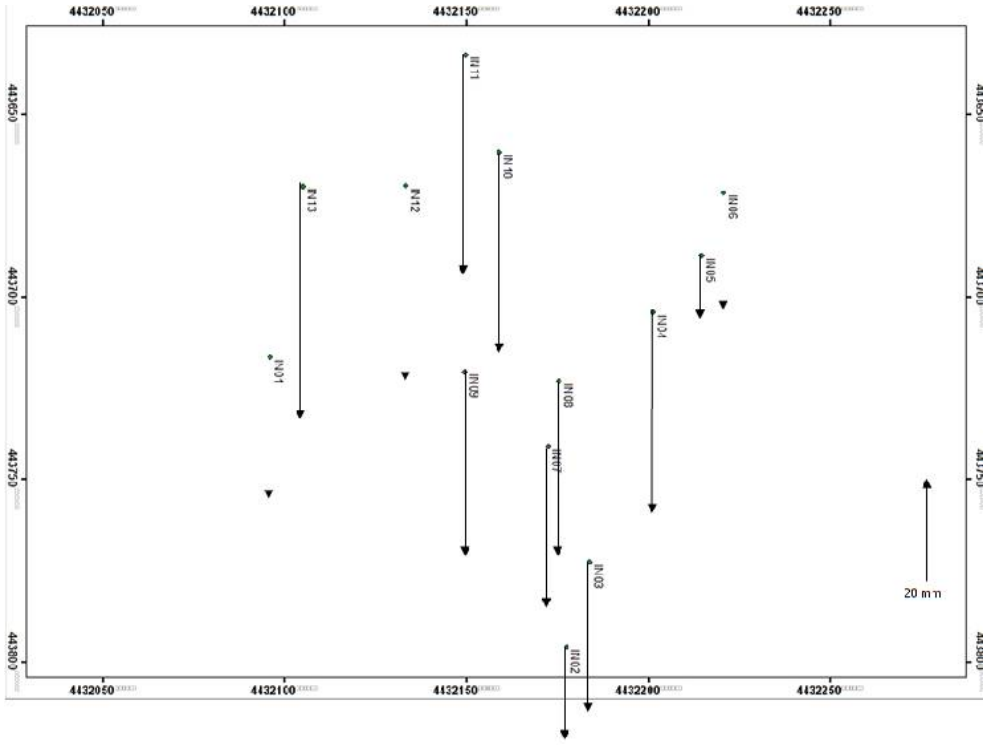
Şekil 48. Güzelyalı heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay hız alanı.



Şekil 49. Güzelyalı heyelanı 2013-2016 yılları arasında düşey hız alanı.



Şekil 50. İntepe heyelanı 2013-2016 yılları arasında yatay hız alanı.



Şekil 51. İntepe heyelanı 2013-2016 yılları arasında düşey hız alanı.

3. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

1970'lerin sonunda başlayan heyelan alanlarında jeofizik uygulamalar (Bogoslovsky ve Ogilvy, 1977), heyelanın geometrisi; kayma yüzeyi, heyelan alanlarındaki karmaşık yeraltı jeolojisi, heyelan nedeniyle gelişen kırık ve çatlak sistemlerinin incelenmesi ile kütle hareketinde önemli bir unsur olan yeraltı suyu varlığının belirlenmesinde günümüzde oldukça etkin olarak kullanılmaktadır. Jeofizik yöntemler ile mekanik sondaj, uzaktan algılama çalışmaları ve yüzey gözlemleri gibi geleneksel yöntemlere kıyasla daha ekonomik ve çevreye zarar vermeyerek (non-destructive) sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu üstünlüklerin yanında geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda jeofizik görüntüleme çalışmaları alandaki problemi tanımlayıcı olmaktadır (örneğin fosil heyelan alanları ve hareketin yavaş geliştiği bölgelerde, erozyon gibi etkiler nedeniyle uzaktan algılama yüzey gözlemleri yetersiz kalabilmektedir). Ayrıca mekanik sondajın zor ve mümkün olmadığı dik yamaçlarda, jeofizik uygulamalar alana ilişkin daha gerçekçi çözümler üretebilmektedir (örn. Mc Cann ve Forster, 1990).

Heyelan alanlarındaki jeolojik malzeme ile ortamın gözeneklilik, su doygunluğu, pekleşmişlik gibi fiziksel özellikleri elektriksel bir zıtlığa diğer bir ifadeyle belirtmeye (anomali) eden olmaktadır. Bu amaçla proje kapsamında jeofizik çalışmalar için doğru akım (DC) elektrik özdirenç yöntemi ilksel (birincil) yöntem olarak ele alınmıştır. Öncelikle, araştırma planında yer alan heyelan alanlarının morfoloji, bitki örtüsü ve elektrot dizilimi için bölgenin uygunluğu gibi kriterler göz önüne alınarak, çoklu elektrot sistemi ile, elektrik tomografi çalışması için uygun profil uzunluk ve doğrultuları belirlenmiştir. Daha sonra özdirenç ölçüleri alınarak alanların genel özellikleri tanımlanmış, bundan sonraki jeofizik çalışma planına yön verecek bilgilere ulaşılmıştır.

Jeofizik yöntemlerden sismik kırılma yöntemi ile de, yeraltı litolojisi, kayma eğimi ve/veya durağan olmayan kütlede P dalga hızındaki belirgin değişim izlenebilmektedir (Jongmans ve Garambois, 2007). Ayrıca sismik tomografi ölçümleri hız değişimlerinin düşey ve yanal yönde yüksek çözünürlüklü değişimini göstermesi bakımından, heyelan gövdesindeki karmaşık yer yapısının belirlenmesinde kullanışlı bir yöntemdir (Göktürkler vd., 2008). Ayrıca heyelan alanlarında elektrik ile sismik tomografi ölçülerinin birlikte değerlendirilmesi, ortamdaki düşey ve yanal litoloji değişimlerine daha duyarlı yorum yapma olanağı vermektedir (örn. Göktürkler vd., 2008). Bu yaklaşımlardan hareketle proje kapsamında Güzelyalı, Adatepe heyelan alanlarında, sismik yüzey dalgası (MASW) ve P dalgası kırılma ölçüleri alınmış ve değerlendirilmiştir.

Jeofizik yöntemler ile çok boyutlu jeofiziksel görüntülemenin yanı sıra, mevsimsel koşullara bağlı olarak heyelan alanlarına ilişkin zamansal değişim de izlenebilmektedir (Lebourg vd., 2005). Ayrıca heyelan alanlarındaki kütle transferi, aşınma süreçlerindeki bir çok değişkenle birlikte yer içindeki suyun bulunma zamanıyla (residence time) ilişkilidir (Lebourg vd., 2005). Suyun kimyasındaki değişim ise, çatlaklı yapı ve kayaç içindeki mineraller arasındaki akış ile kütle transferinin bir sonucudur (Lebourg vd., 2005). Bu nedenle su ve kayaç arasındaki etkileşimler, heyelan alanlarındaki hareketi tanımlamada önemlidir. Özdirenç yöntemi ile sistemdeki lotolojiden etkilenen drenajdaki değişim, düzenli zaman aralıklarında 4B olarak izlenebilmektedir. Örneğin Lebourg vd., (2005), La Clapie`re (Fransa) heyelan alanında 6 aylık bir zaman diliminde doygun zonun (gravitasyonel su varlığında) gelişimini ve hareketini incelenmişlerdir. 4D sonuçları şev içindeki karmaşık su kanallarının önemi ve jeolojik süreksizliklerle ilişkisini göstermişlerdir. Araştırmacılar heyelanın maksimum yer değiştirmesinin genellikle eriyen karların ve/veya yoğun yağış olan dönemlerinin ardından geliştiği gözlemişlerdir. Örneklendirilen bu çalışma genel olarak, özdirenç ölçülerinin yeraltı suyunun dağılım ve zamansal gelişimi ile jeolojik yapı arasındaki ilişkinin değişimini belirlemede belirleyici olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Lebourg vd., (2005), bu dinamik özellikleri (kayma hareketi ve yeraltı hidrojeolojik durumu) anlamada verinin yetersizliğini, 1 yıl süreyle jeofizik ölçülerin yapılması gerektiğini vurgulamışlar. Ülkemizde bu konuda yapılmış ayrıntılı bir jeofizik uygulama bulunmamaktadır. Bu nedenle proje kapsamında aktif heyelan alanlarından Güzelyalı bölgesinde farklı mevsimsel dönemleri de kapsayacak biçimde elektrik tomografi ölçüleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar bölgede daha önce yapılan kapsamlı jeoloji, jeofizik ve sondaj bulgularıyla birlikte değerlendirilerek yorumlanmıştır.

3.1 Kullanılan Yöntemler ve Ölçüm Dizgeleri

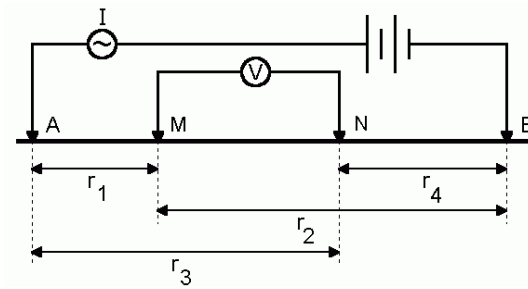
Farklı malzemelerin elektriksel zıtlık oluşturacak biçimde bir arada bulunması, özdirenç ölçülerinde belirti elde edilmesini ve bu yapıların konum, boyut ve uzanımlarının belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu amaçla DC elektrik özdirenç yöntemi yeryüzüne yerleştirilen 2 adet akım elektrotu (A ve B) ile yere akım verilmesi sırasında diğer bir çift elektrot (M ve N) arasında oluşan elektriksel gerilimin ölçülmesi temelinde ölçü alınmaktadır (Şekil 3.1). Kaynak olarak DC üretici bir akü veya jeneratör kullanılmaktadır. Uygulanan akım I (amper çoğunlukla miliamper) ve iki potansiyel elektrotu arasındaki ölçülen gerilim farkı ΔV (mV) olmak üzere Şekil 52'de sunulan elektrot konumları (*elektrot dizilimi*) için ortamın *görünür özdirenci* ρ_a Ohm-m)

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} k \quad (3.1)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada k;

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (3.2)$$

elektrot dizilimine bağı geometrik faktördür.



Şekil 52. DC elektrik özdirenç yönteminde elektrot dizilimi

Özdirenç yönteminde araştırmanın amacına göre elektrotların yeryüzündeki geometrisi değiştirilerek, akımın etki edebileceği maksimum derinlik (penetrasyon derinliği) kontrol edilebilmektedir. Böylelikle yöntem ile sığ ve derin yapı araştırılmasında istenilen çözünürlükle veri toplamak mümkün olmaktadır.

Çalışmada DC elektrik özdirenç ölçüleri 16 kanallı ARES marka çoklu elektrot sistemi ile alınmıştır (Şekil 53). Ölçümlerde paslanmaz çelik elektrotlar ve 12 V 45 Ah akü kullanılmıştır. Aletin teknik özellikleri (GF Instruments <http://www.gfinstruments.cz>, Tablo 28):

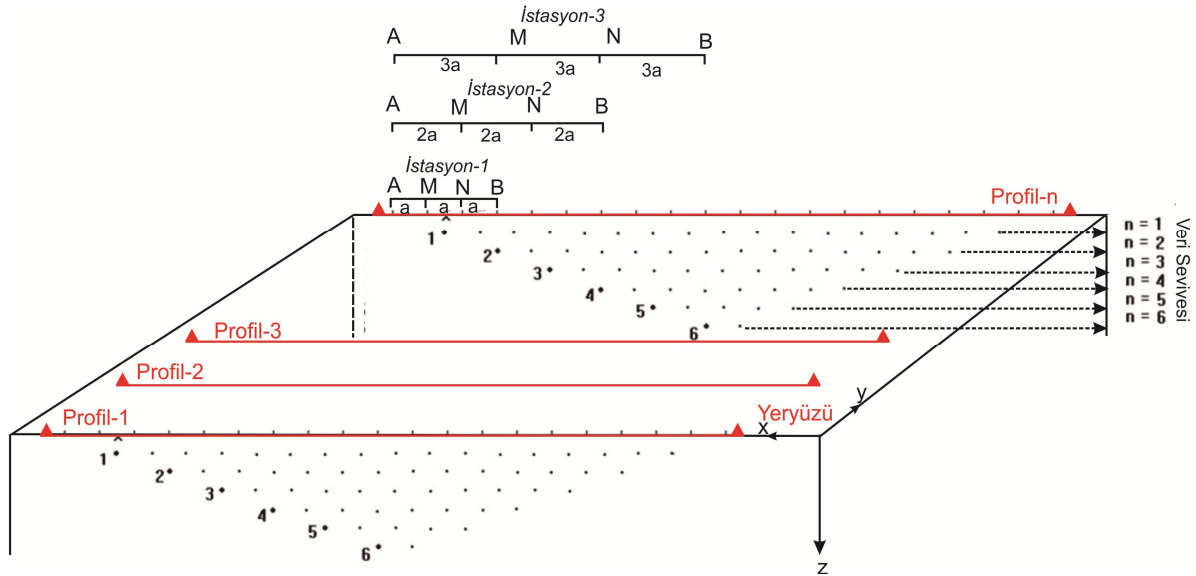


Şekil 53. ARES ölçü aleti kontrol birimi ve donanımı (www.gfinstruments.cz)

Tablo 28. ARES ölçü alet ve donanım özellikleri

Verici:	
Güç	maksimum 850 W
Akım	maksimum 5.0 A
Akım çözünürlüğü	24 bit
Voltaj	2000 V _{p-p}
Alıcı:	
Giriş voltaj aralığı	$\pm 5 V_{p-p}$ ($\pm 10 V_{p-p}$ opsiyonel)
Voltaj çözünürlüğü	24 bits
Giriş empedansı	20 M Ω
Frekans süzgeç özelliği:	50 veya 60 Hz notch süzgeç (50 Hz süzgeç kullanılmıştır)

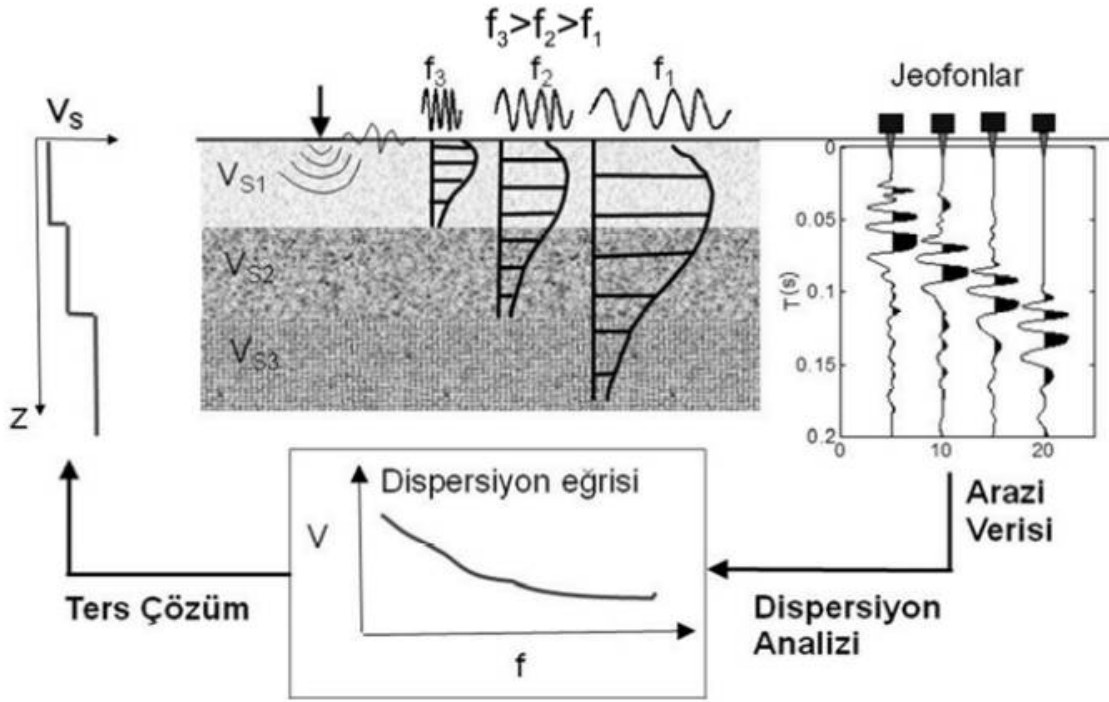
Ölçü alma sistemi düşey elektrik sondaj, profil boyunca sabit elektrot aralığı ile kaydırma ölçüsü ve bu iki sistemin birlikte kullanımı; elektrik tomografi ölçüsü biçimindedir. Tomografi çalışmaları yeraltındaki düşey ve yanal değişimlere duyarlı ölçü almaya olanak verdiği için, günümüzde heyelan araştırmalarında en çok tercih edilen uygulamalardır (örn. Drahor vd., 2006; Göktürkler vd., 2008; Batayneh ve Al-Diabat, 2002; Bari vd., 2011). Şekil 54'te tomografi çalışması için Wenner-Schlumberger dizilimi örneklendirilmiştir. Buna göre; birbirine paralel profiller üzerinde araştırma derinliğine bağlı olarak seçilen bir a elektrot aralığında, yatay kaydırma ve a'nın katları olacak biçimde (2a; istasyon-2, 3a; istasyon-3 gibi) profil üzerinde elektrotların arasını açarak, n seviyede düşey elektrik sondaj çalışması birlikte yapılabilmektedir (örn. Griffiths ve Barker, 1993). Şekil 54'te sunulan profillerin birleştirilerek değerlendirilmesi, ortama ilişkin 3 boyutlu yoruma olanak sağlamaktadır.



Şekil 55. Elektrik tomografi ölçü sistemi

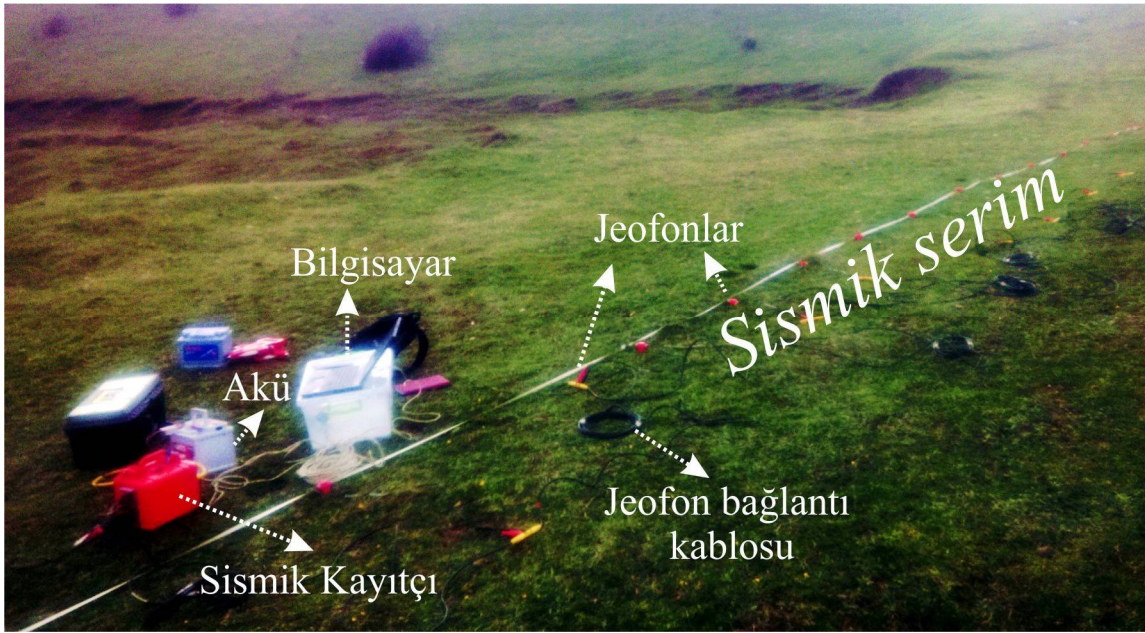
Değerlendirme aşamasında, ölçülen görünür özdirenç değerlerinden ortama ilişkin gerçek özdirenç değerlerine ters çözüm çalışmaları ile ulaşılmaktadır. Bu amaçla proje kapsamında RES2DINV (Loke ve Barker, 1996) yazılımı DEMO sürümü kullanılmıştır. Yapılan işlemler birinci adımda; kuramsal bir başlangıç modeli oluşturup, modelin görünür özdirenç değerlerini hesaplamaktır (modelleme aşaması). Ardından hesaplanan model değişkenleri ile arazi gözlemleri arasındaki uyumu gerçekleştirecek farklı optimizasyon yöntemleri ile (en küçük kareler, ağırlıklı EKK) yinelemeli olarak hatanın en aza indirilmesi (minimize) hedeflenmektedir. Bu amaçla yinelemenin her adımında model değişkenleri güncellenerek yapıya ilişkin gerçek özdirenç değerlerini elde edilebilir (ters çözüm). Elde edilen sonuçlar ise iki boyutlu (2B) yer-elektrik kesitleri ile sunulup yorumlanmaktadır. Bu konuda ayrıntılı bilgi Loke vd., (2003)'te yer almaktadır. Çalışmada en küçük elektrot aralığı 5 m olacak biçimde 75 m uzunluğunda profiller ile ölçü alınmıştır.

Sismik yöntem kuramsal olarak elastik dalga denklemlerinin çözümüne dayanmaktadır. Bir kaynak ile (pratikte bir balyoz veya ağırlık düşürme kullanılarak) yeryüzünde yapay olarak oluşturulan elastik dalgalar, malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak, derinlikle artan bir hızla yer içerisinde iletilir. Yer içinde seyahat eden elastik dalga, geçtiği ortamın fiziksel özelliklerini de taşıyarak yeryüzüne ulaşır ve jeofon adı verilen alıcılar ile yeryüzünden kaydedilen bu tepkiler ortam hakkında önemli bilgiler taşır (ayrıntılı bilgi için bkz. Kearey vd., 2002). Sismik kırılma yöntemi ise temelde; ölçü profili (yani serim) boyunca yer alan jeofonlardan, doğrudan- kırılan- saçılan dalga fazlarını içeren dalga enerjisinin, ilk varış seyahat sürelerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Böylelikle ortama ilişkin sismik hızlar, tabaka kalınlıkları ve tabakaların dinamik elastik parametreleri hesaplanabilmektedir. Sismik kırılma çalışmalarında ilgilenilen cisim dalgalarından P türü dalga, alıcıya ilk ulaşan boyuna dalgadır ve ortama bağlı olarak hızı; $V_P = \sqrt{(k+1.333\mu)/\rho}$ ile ifade edilmektedir. k; sıkışmazlık katsayısı, ρ ; yoğunluk ve μ ; katısalılık değişkenleridir. İkincil veya hacim dalgasının (enine dalgalar; S) hızı ise; $V_S = \sqrt{\mu/\rho}$ 'dir. MASW uygulamasında ise Rayleigh türü yüzey dalgalarının dispersiyonundan yararlanılarak S-dalga hızları değişimleri elde edilmektedir. Bu amaçla MASW analizinde özetle; sismik kayıtlardan faz hızı-frekans eğrileri elde edilir. Bu eğrilere göre bir başlangıç modeli oluşturulur ve ters çözüm çalışması ardından S-dalgasının derinliğe göre bir veya çok boyutlu değişimi görüntülenir. Bu yöntemle ilişkin kuramsal ve arazi çalışmaları günümüzde oldukça yaygındır (örn. Avcı, 2006; Çaylak ve Sarı, 2008; Dikmen vd., 2009, Çakır, 2011; Hagedorn, 2014). Çalışma kapsamında yapılan MASW değerlendirmesinin ilişkin kavramsal bir akış şeması Şekil 55'te sunulmuştur.



Şekil 55. MASW yönteminde temel işlem adımları (Dikmen vd., 2010)

Sismik kırılma yöntemi uygulama ve değerlendirilmesi ise temelde, yapıların neredeyse tekdüze hız değişimleri gösteren basit düzlemsel tabakalardan oluştuğu varsayımının dikkate alınması veya ilk varış sismik tomografisi kullanarak, yanal süreksizlikler içeren daha karmaşık yapıların araştırılmasında P-dalga hızlarındaki değişimin incelenmesidir (örn. Göktürkler vd., 2008). Çalışmada kullanılan Geometrics ES3000 sismik kayıtçı, 12 adet 4,5 Hz jeofon, 12V 60 Ah akü, dizüstü bilgisayar ve bağlantı kabloları Şekil 56'da sunulmuştur. MASW ölçüleri ise aynı alet ve donanım kullanılarak farklı ofset ve jeofon aralıklarında kaydedilmiştir (örneğin Güzelyalı heyelan alanı, MASW ölçüsü 1 m jeofon aralığı 3 m ofset için alınmıştır).



Şekil 56. (a) Sismik kayıtçı (www.geometrics.com), (b) Arazide kullanılan sismik alet ve donanımı.

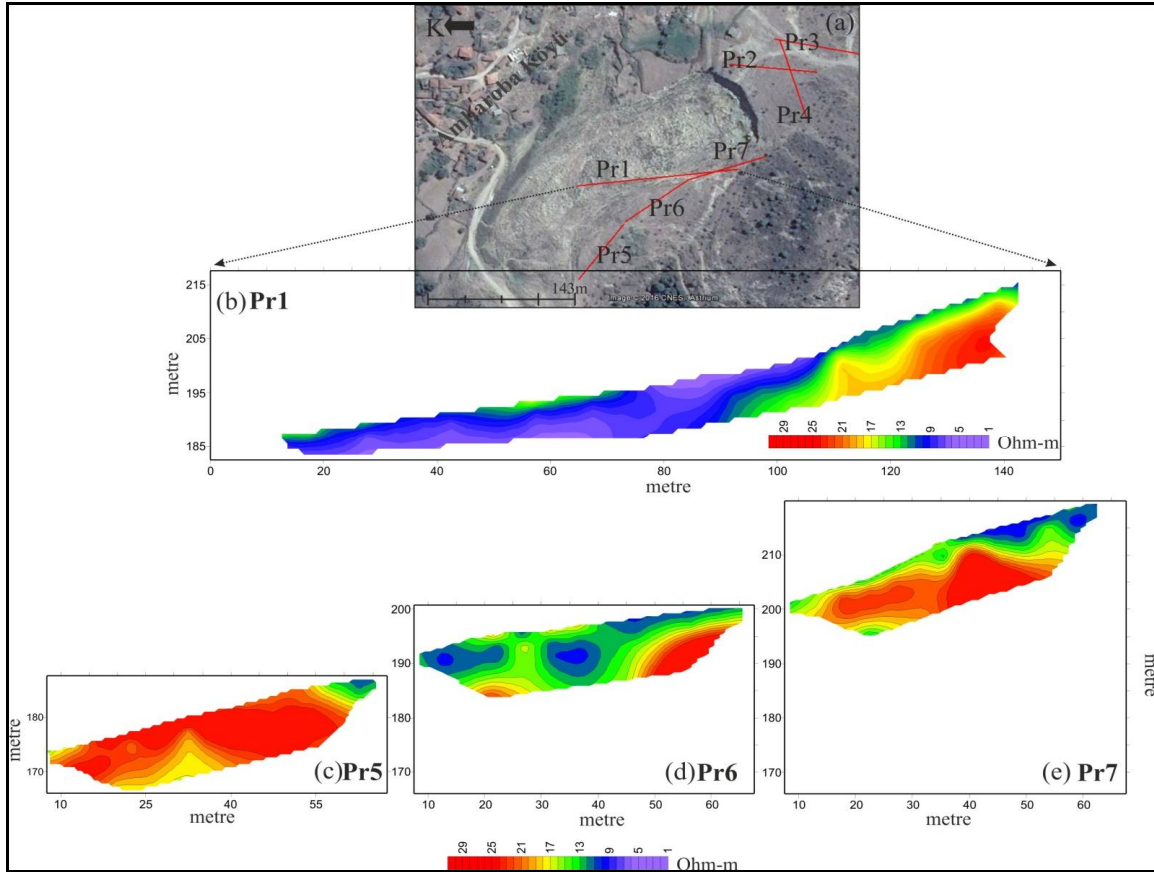
3.2 Heyelan Alanlarının Jeofizik Ölçmeleri

“Elektrik Özdirenç Yöntemiyle Çalışma Alanlarının Tomografisinin Çıkarılması”, “Elektrik Özdirenç Yöntemiyle Zamansal İzleme” ve “Jeofiziksel Değerlendirme ve Yorumlama İşlemleri” başlıklı çalışmalar, iş-zaman çizelgesinde belirtilen takvime göre Öğr. Gör. Dr. Ebru ŞENGÜL (Araştırmacı) tarafından gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Bu kapsamda Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne ait; ARES çoklu elektrot özdirenç ölçer ve donanımı, Geometrics ES-3000 sismik alet ve donanımı kullanılmıştır. Proje metninde belirtilen IRIS Syscal R1, Elektrik özdirenç ölçer ve donanımı

ise, proje başlangıcı itibariyle bozuk olduğu için kullanılamamıştır.

3.2.1 Ambaroba Heyelan Alanı

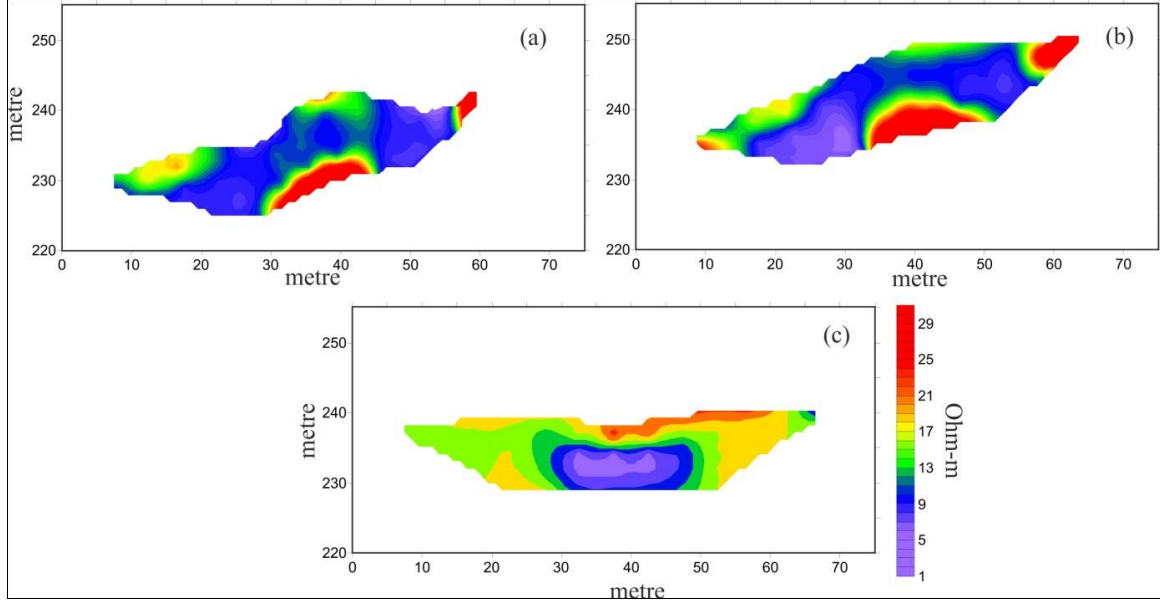
Ambaroba heyelan alanında ölçülen elektrik tomografi profilleri, heyelan taç bölgesini ve gövdesini kesecek biçimde seçilmiştir (profil konumları; Şekil 57). Yapılan ölçüler ters çözüm işlemi ardından 2B yer elektrik kesitler oluşturularak grafiklenmiştir (Şekil 57b-d ve Şekil 58). Profil 1 için 142,5 m uzunluğunda bir profil boyunca, 2-12 m derinlik için oluşturulan 2B yer elektrik kesit Şekil 57b'de sunulmuştur. Bölgede heyelan etkisiyle alanda oluşan yüzey deformasyonları oldukça dikkat çekicidir ve yerleşimi olumsuz etkilemiş/etkilemektedir (Şekil 3.8).



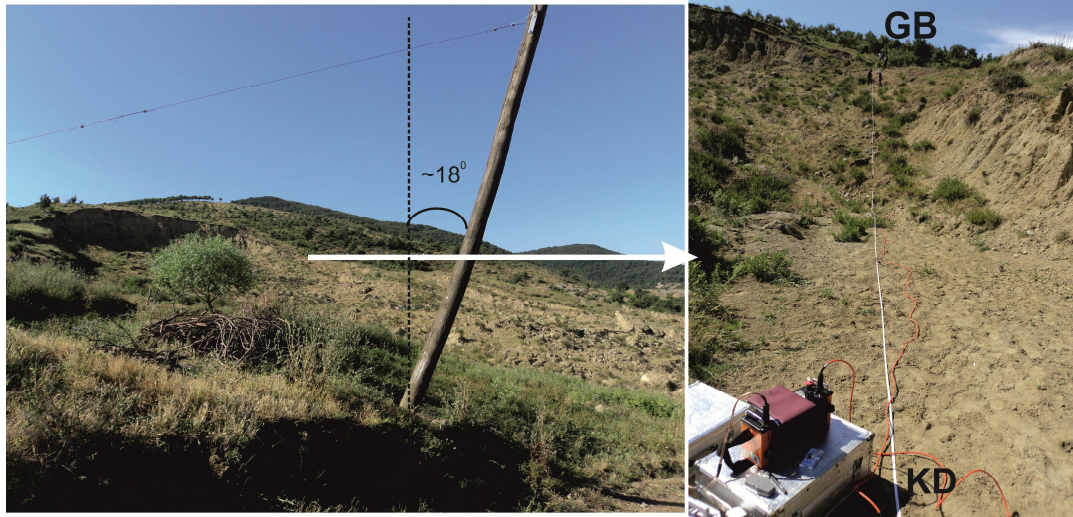
Şekil 57. Ambaroba heyelan alanı, (a) jeofizik ölçü profilleri ve 2B yer elektrik kesitler (b) Profil 1, (c) Profil 5, (d) Profil 6 ve (e) Profil 7

Yüzeyde gözlenen kayan malzemenin oluşturduğu kumca zengin dolgu malzemesi yanında, yamaçtan taşınan iri ve ince taneli bloklar bir arada karmaşık bir biçimde heyelan gövdesini oluşturmaktadır. Profil 1 boyunca ilk 70m'de ve 4-12 m derinliklerde (Şekil 57b) daha yüksek öz dirençli yapı andezit birimleri ve andezitten türemiş tutturulmuş alüvyonal birimleri

göstermektedir. Aynı profil üzerinde hemen 2 metre derinlikte başlayan, düşük öz dirençli bölgenin ise heyelanın gövdesini temsil ettiği, yamaçtan taşınmış ve suya doymun birimlerden oluştuğu belirlenmiştir. Benzer değişim Profil 6, 7 ve 8'de de gözlenmektedir. Ayrıca bu alan için yanal öz direnç değişiklikleri, yüzeyde gözlenen ve sınırlanan süreksizliklerin derindeki izlerini yansıtması açısından dikkat çekicidir.



Şekil 58. Ambaroba heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri (a) Profil 2, (b) Profil 3, (c) Profil 4



Şekil 59. Ambaroba heyelan alanı ve elektrik tomografi profili (Profil 1) fotoğrafı

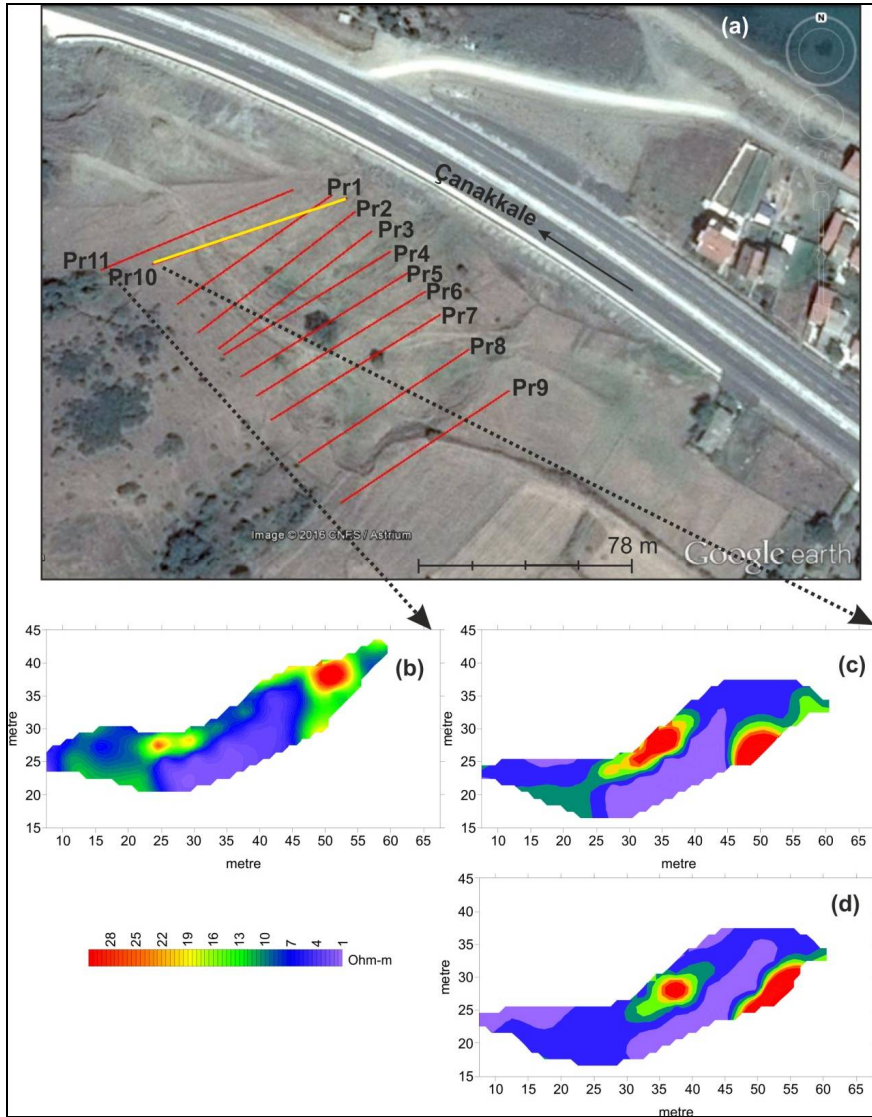
3.2.2 Şevketiye Heyelan Alanı

Şevketiye araştırma alanı, oldukça aktif Çanakkale-Bursa karayolu kenarında ve Şevketiye köyü yerleşim alanına yakın bir konumda yer almaktadır. Heyelanın taç bölgesi ve taç çatlakları ile yanal açılma çatlakları arazide açıkça gözlenebilmektedir (Şekil 60). Bölgede yapılan elektrik tomografi profillerinin konumları Şekil 61'de yer almaktadır.

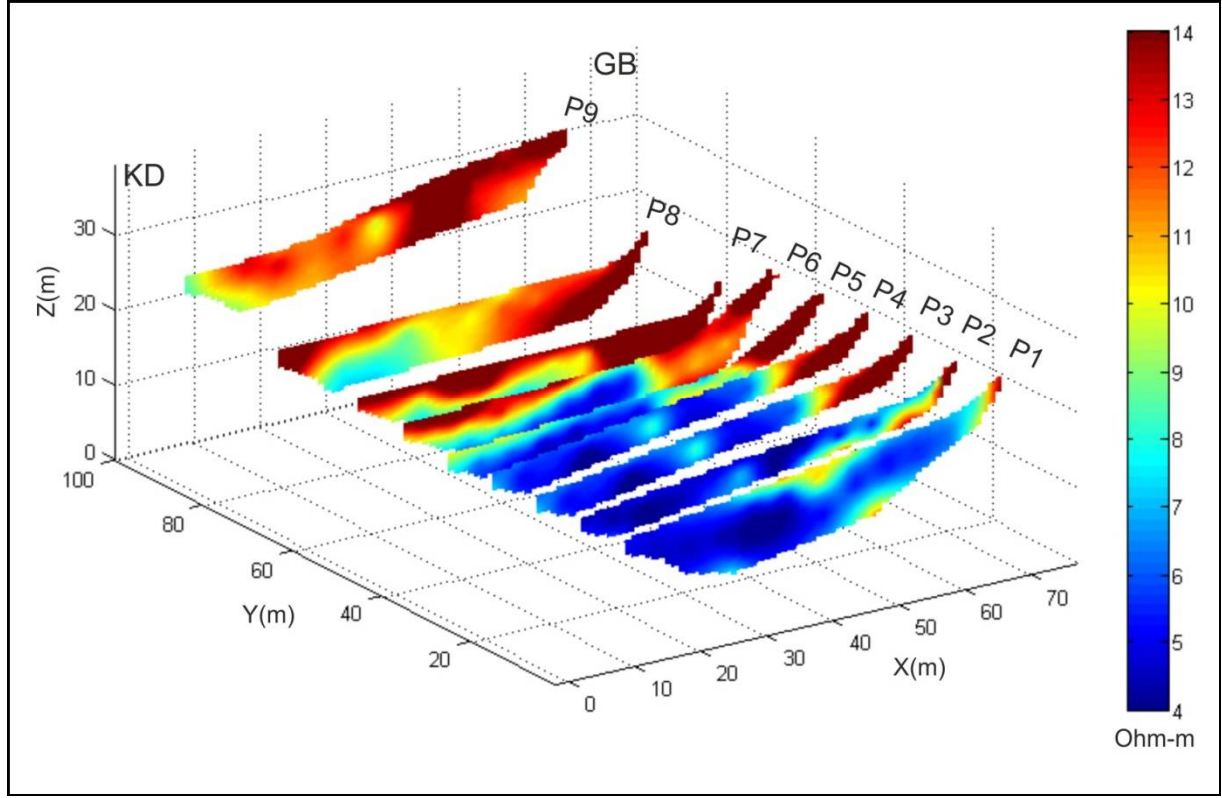
Bölgenin jeolojisi kumtaşı-çakıltaşı ardalımalı Fıçıtepe formasyonu olarak tanımlanmaktadır (Dönmez vd., 2008). Bu formasyona ait yüzeyde gözlenen iyi çimentolanmamış-dayanımsız birimler göreceli düşük özdirenç sunarken (kesitlerde mavi-yeşil ile gösterilen sığ yapılar), daha derinlerde oldukça düşük özdirençli (mavi, ~1-5 Ohm-m), suya doymuş killi birimler üzerinde ve bu birimlerle birlikte yer yer çökmekte ve kaymaktadır. En altta gözlenen yüksek özdirençli yapının, kesitlerdeki özdirenç değerleri dikkate alındığında, aynı formasyonun pekleşmiş biçimde -kumtaşı birimi gibi- görece oturmuş/durağan yapısına işaret ettiği düşünülmektedir (Şekil 61b, c, d). Ölçü alınan Haziran 2013 dönemde P1 doğrultusunda yüzeyde herhangi bir su birikintisi bulunmamaktadır. Ancak alanda var olan küçük *sazlık* ve su birikintileri (örn. Şekil 60) profiller tarafından kesilmiştir ve bu özellik yer elektrik kesitlerinde düşük özdirenç belirtisi olarak haritalanmıştır (Şekil 62). Örneğin yüzey su birikintisinin hemen yanından geçen P6'da, yüksek iletkenlik gösteren suya doymuş bölgenin, Şekil 62'deki kesitlerde derine doğru devam ettiği görülmektedir (en az 6 m kalınlıkta). Heyelan alanlarındaki su varlığının hareketi tetikleyen önemli bir unsur olduğu düşünüldüğünde, alandaki yüksek iletkenlik gösteren suya doymuş birimlerin ve alandaki morfolojik değişimlerin mevsimsel süreçler dikkate alınarak izlenmesi önemlidir. Bu amaçla Profil 10 üzerinden 2 farklı dönemde (Mart ve Kasım 2015) elektrik tomografi ölçüleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 61c ve d). Daha kurak dönemde yapılan Kasım ayı ölçüsünde (Mart ayı ortalama yağışlı gün sayısı 10.1 iken Mart ayında 9.1'dir; <http://www.mgm.gov.tr/>) beklendiği gibi, özdirenç zıtlığı (kontrastı) ~100 ohm-m'ye ulaşırken, Mart ayında aynı profil için bu değer ~70 Ohm-m'dir. Bunun yanında profilde gözlenen anomalilerin yerel değişimleri yanal hareketle ilişkili olarak açıklanabilir. Bölgede zamansal izleme çalışmalarına sistematik olarak devam edilmesi önerilmektedir.



Şekil 60. Şevketiye heyelan alanı. KD-GB doğrultulu siyah kesikli çizgi P1 öz direnç tomografi profilini göstermektedir. Heyelanın yapısal unsurları beyaz çizgiler ile gösterilmiştir (fotoğraf tarihi: Haziran 2013)



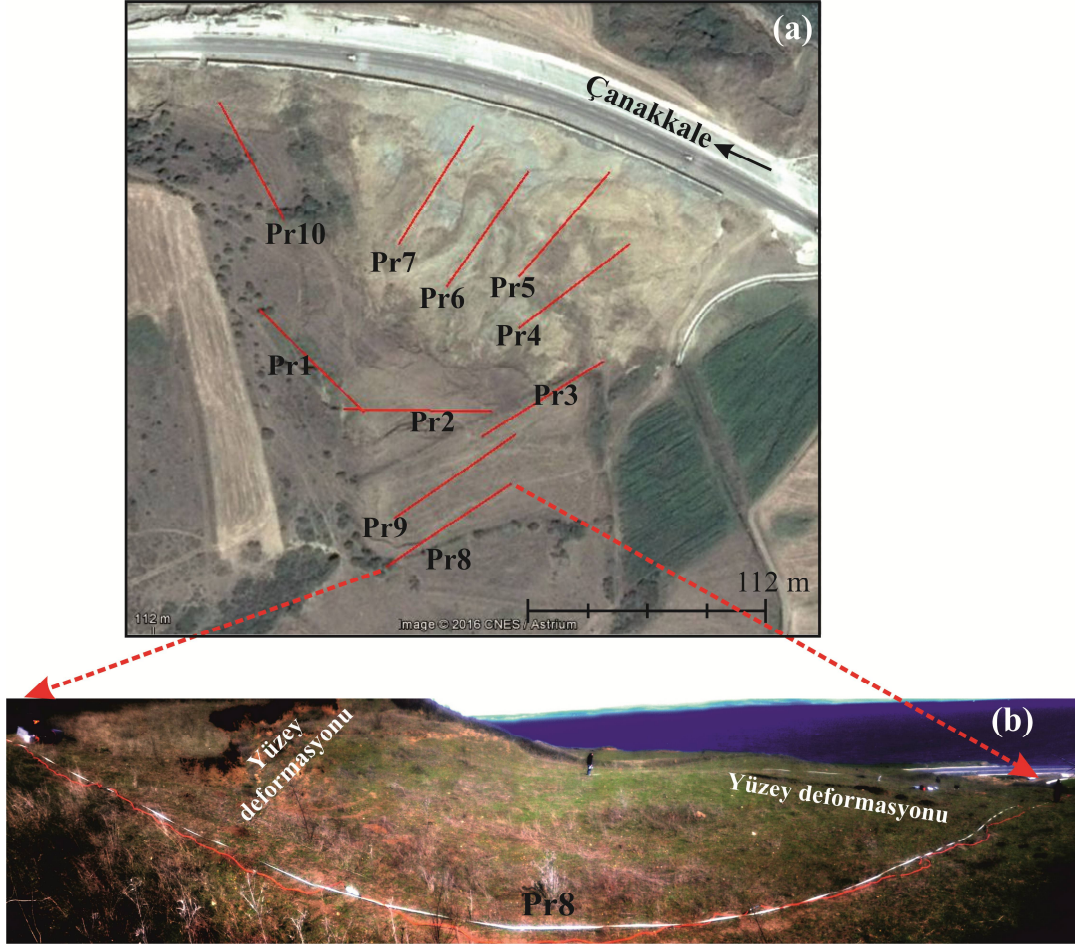
Şekil 61. Şevketiye heyelan alanı (a) jeofizik ölçü profilleri ve profillerden hesaplanan 2B yer elektrik kesitler; (b) Profil 11 ve (c) Profil 10 (Mart 2015) (d) Profil 10 (Kasım 2015)



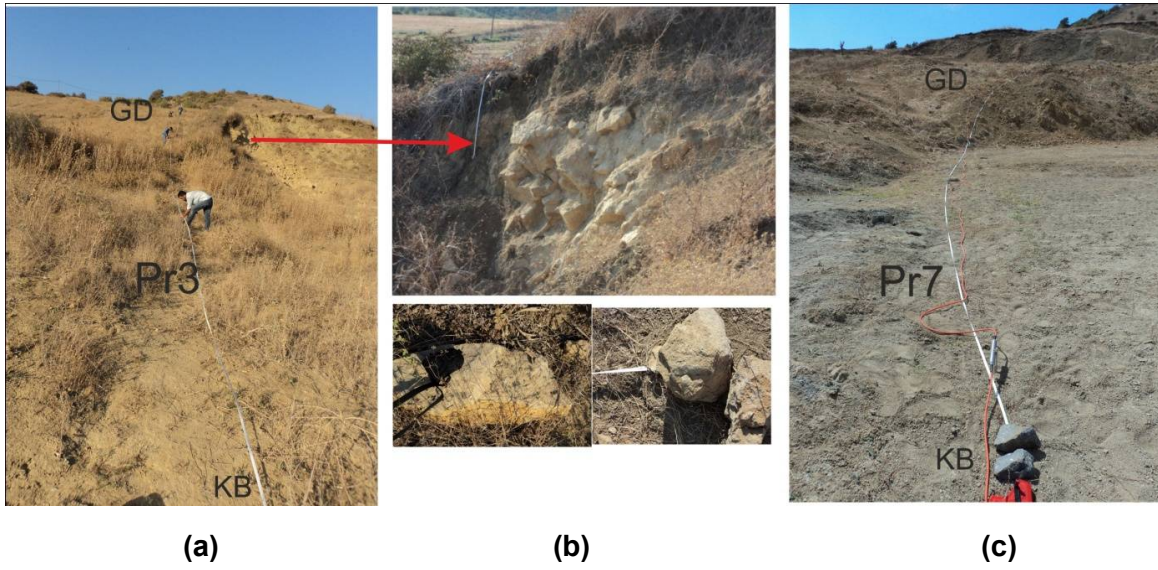
Şekil 62. 2B yer elektrik kesitleri Profil 1-9

3.2.3 Adatepe Heyelan Alanı

Adatepe heyelan alanında, 75 metre profil uzunluğu, 5 m minimum elektrot aralığı ile 10 profil üzerinde elektrik özdirenç tomografi ölçüleri alınarak ortalama 1.25 m derinlikten 12 m derinliğe kadar bölgenin elektriksel özellikleri düşey ve yanal olarak incelenmiştir (Şekil 63, Şekil 64). Verilerin ters çözümü işleminde 5 yinleme için hata değerleri % 2-6 arasında değişmektedir. Değerlendirmeler sonucu elde edilen 2B değişimler Şekil 65 ve Şekil 66'da sunulmuştur.



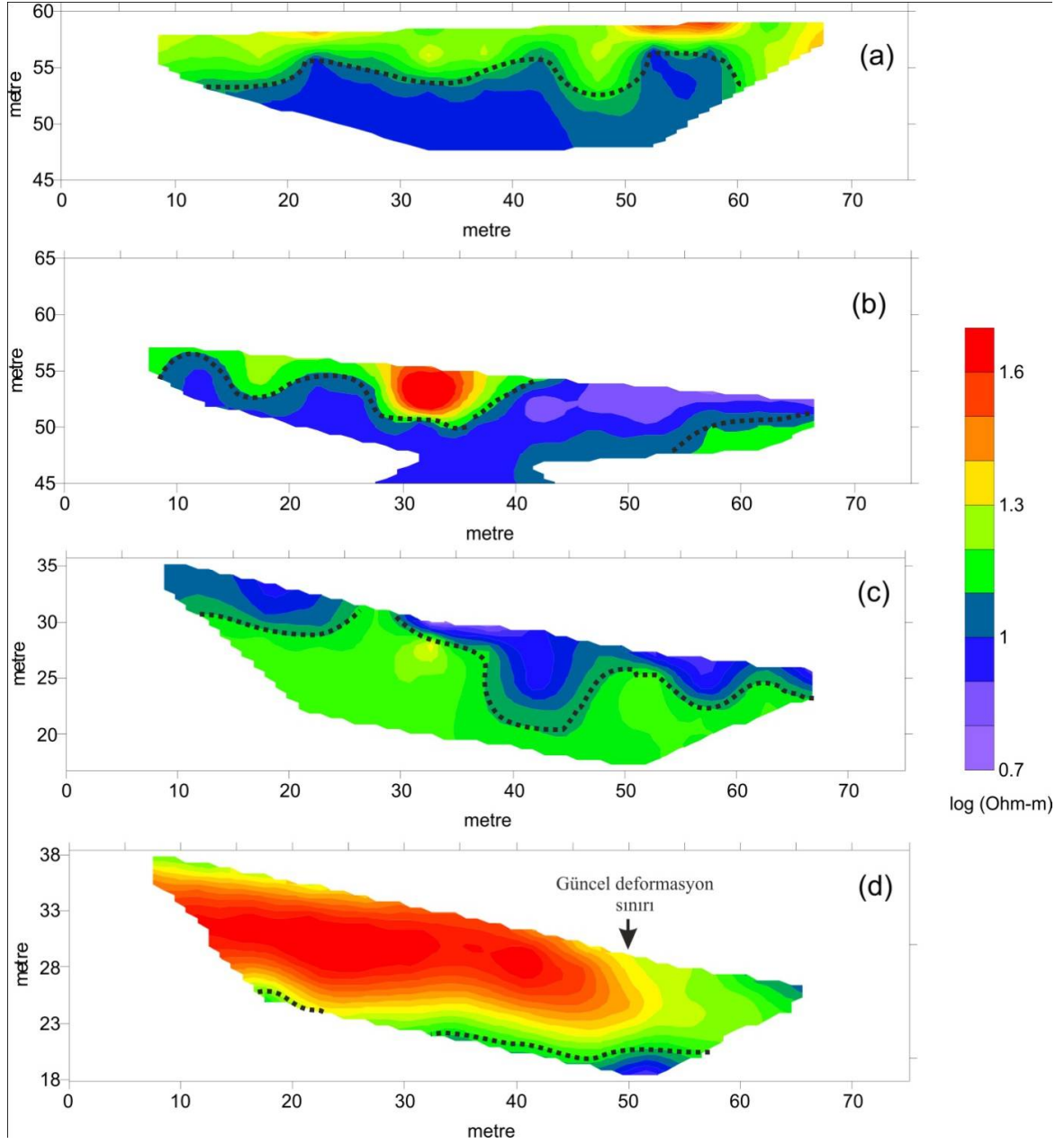
Şekil 63. Adatepe heyelan alanı; (a) jeofizik elektrik özdirenç tomografi ölçü profilleri (b) Profil 8 ve heyelan nedeniyle gelişen yüzey deformasyonlar (fotoğraf tarihi: Mart 2015)



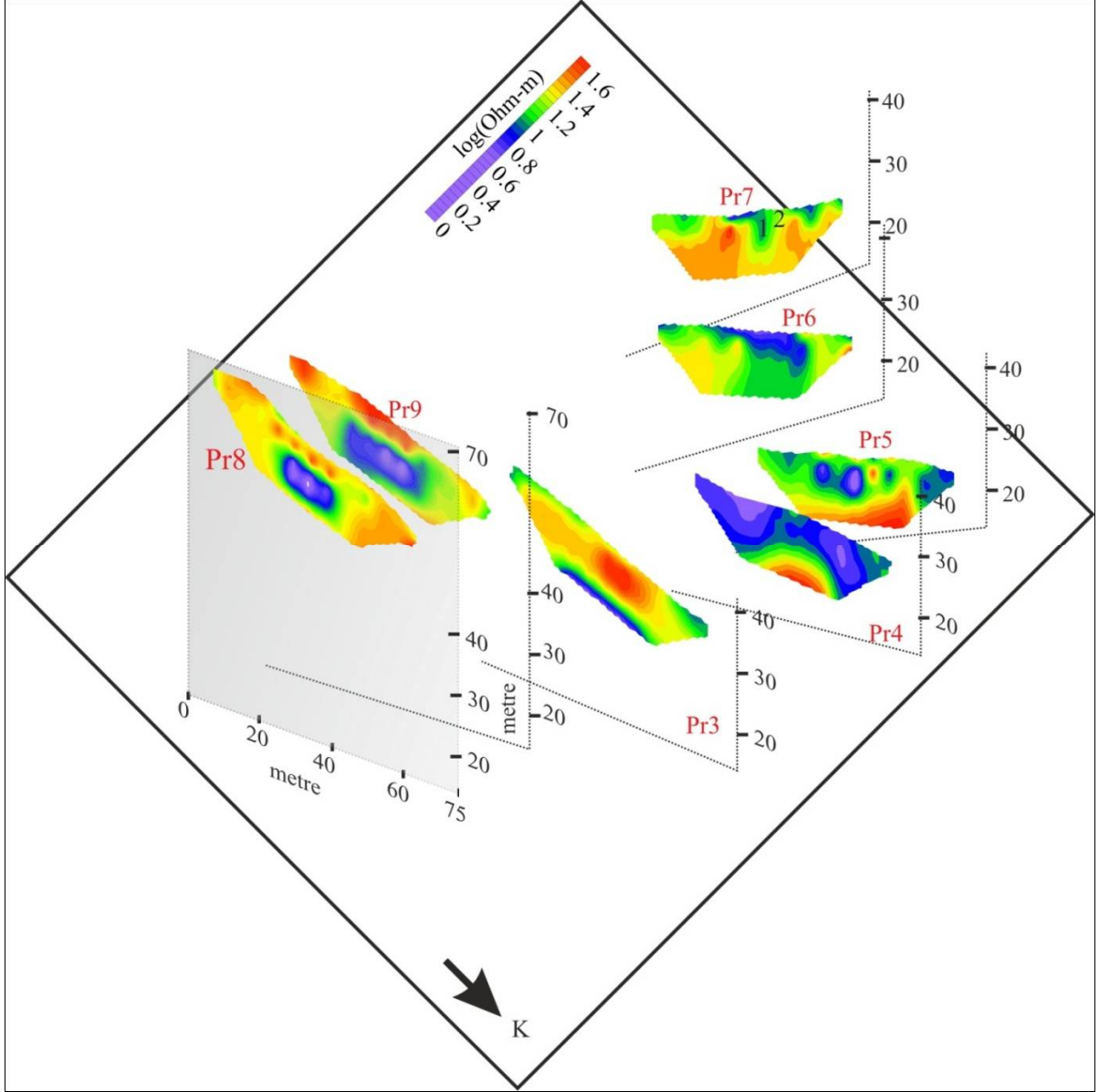
Şekil 64. Adatepe heyelan alanı; (a) Profil 3 (b) yüzey gözlemlerine ait fotoğraflar (c) Profil 7

Şekil 65'te hakim kütle hareketine paralel 1 ve 2 no'lu profiller ile hareket doğrultusunda ölçülen 7 ve 10 no'lu profillerin yer elektrik kesitleri sunulmuştur. Şekil 66'da ise 3-9 nolu profillerin 2B yer elektrik kesitleri topografik değişim dikkate alınarak perspektif olarak aynı ölçekte çizilmiştir. Buna göre; Fıçitepe formasyonu ve Kirazlı üyesi birimlerinin birlikte gözleendiği bölgede, genel olarak sarı-krem renkli, genellikle masif, yer yer ince tabakalı, iyi çimentolanmamış kumtaşı ve çakıltaşı birimleri yer elektrik kesitlerinde göreceli olarak yüksek özdirençle karakterize olmuştur (örn. Profil 10 Şekil 65d). Bölgede düşük özdirençle temsil edilen suya doymun birimler (marn ve kilttaşları) ile birlikte iyi tutturulmamış kumtaşı ve silttaşları heyelan hareketini kolaylaştırmaktadır. Yüzeyde gözlenen güncel deformasyonun sınırı Profil 10'da 50 m'ye karşılık gelmektedir. Bölgedeki heyelanın zamansal değişimi dikkate alındığında, Profil 10'da gözlenen suya doymun düşük özdirençli birim üzerinde yer alan ve yüksek özdirenç ($> 1.4 \log (\text{Ohm-m})$) ile gösterilen kütlelerin, zamanla yüzey deformasyonları oluşturarak kayabileceği öngörülmektedir.

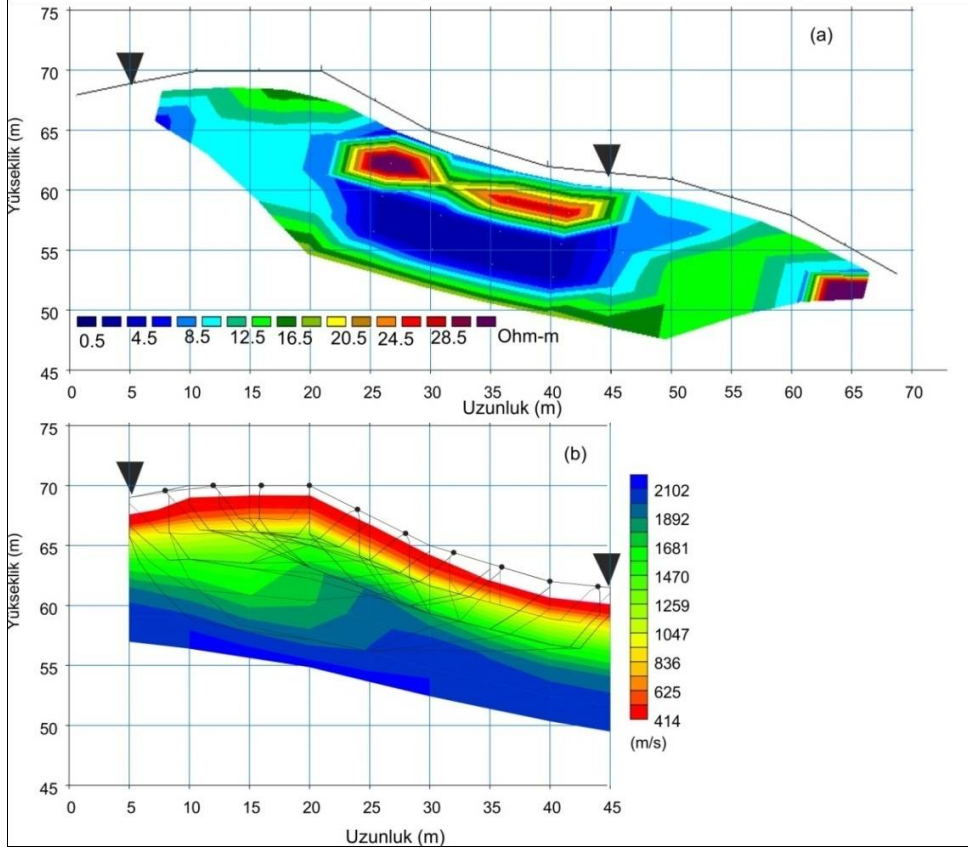
Elde edilen sonuçlar yanal ve düşey süreksizlikler gibi heyelan yapılarına ilişkin önemli bilgiler yansıtmaktadır. Örneğin heyelan hareketi nedeniyle jeolojik birimlerdeki ayrışma, kil varlığı ve suya doymun ortam düşük özdirenç değerleriyle karakterize edilirken, kayan ve yüzeyde biriken, pekleşmemiş sığ yapı da kesitlerde yüksek özdirenç değerleri göstermiştir. Aynı zamanda bu sığ yapı, Adatepe heyelan alanından elde edilen 2B sismik kesitte düşük P-dalga hızı ile tanımlanmıştır (Şekil 67b).



Şekil 65. Adatepe heyelan alanı 2B yer elektrik kesitleri (a) Profil 1, (b) Profil 2, (c) Profil 7 ve (d) Profil 10



Şekil 66 Adatepe heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri (topografik değişim dikkate alınarak perspektif olarak çizilmiştir)



Şekil 67. Adatepe heyelan alanı; Profil 8; (a) 2B yer elektrik kesiti ve (b) sismik kırılma tomografi sonucu elde edilen 2B hız kesiti

3.2.4 Güzelyalı Heyelan Alanı

Konumu Şekil 68a'da gösterilen Güzelyalı inceleme alanı aktif bir heyelan bölgesidir. Bu alanda Yiğitbaş vd. (2005) tarafından jeofizik ve jeolojik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve heyelan yapısına ilişkin -heyelan kayma yüzeyi, yeraltı su seviyesi değişimleri gibi- önemli bulgular elde edilmiştir. Bölgenin jeolojik yapısına bakıldığında de altere olmuş pembemsi-sarı, temiz yüzeyi beyazımsı bej renkli, iyi çimentolu, genellikle masif görümlü, yer yer orta katmanlı karbonatlı kiltası-kireçtaşı birimlerine rastlanmaktadır (Yiğitbaş vd., 2005). 2005 yılında yapılan jeofizik ölçümlerde 20 m-40 m arasında öz direnç değerlerinin 1 Ohm-m ile 6 Ohm-m arasında değiştiği, heyelana neden olacak killi seviyenin ondülasyonlu bir yapıda olduğu görülmektedir. Bu hat üzerinde yapılan sondaj sonuçlarına göre ise 12 m-30 m arasında yüksek ve düşük plastisiteli killerin varlığı belirlenmiştir ve bu seviyeler kayma yüzeyi olarak tanımlanmıştır (Yiğitbaş vd., 2005).

Proje kapsamında alınan jeofizik ölçülerin konumları Şekil 68b'de gösterilmiştir. Şekil 69'da elektrik öz direnç tomografi ölçülerinden elde edilen 2B yer elektrik kesitleri konumlarına ve

topografyaya göre perspektif olarak çizilmiştir. Kesitlerde mavi ile gösterilen düşük öz dirençli doymuş bölge üzerinde yer alan kumca zengin birim, kesikli çizgiler ile gösterilen sevilere boyunca kaymakta ve yer yer çökmektedir. Ayrıca proje kapsamında ise bu aktif bölgenin zamansal olarak izlenmesi için Profil 1 üzerinde elektrik ölçüleri farklı mevsimsel dönemlerde tekrarlanarak Şekil 70'te sunulmuştur. Genel olarak ortamdaki su doymuşluğunun zamansal değişimine bağlı olarak kesitlerde belirti dokusunun değiştiği belirlenmiştir. Ortamda var olan killi malzemenin suya doymuşluğu kayma/heyelan hareketi için oldukça önemlidir. Örneğin Eylül 2015 ölçüsünde ortamdaki azalan su doymuşluğuna paralel olarak öz direnç zıtlığının arttığı gözlenmektedir (Şekil 70c).

Şekil 68b'de konumu sunulan S1 sismik yüzey dalgası (MASW) ölçü profili üzerinde ise, 1 m jeofon ve 3 m ofset (yakın ofset) aralığı ile 4,5 Hz'lik 12 jeofon kullanılarak ölçü alınmıştır. Sinyal/gürültü oranını arttırmak için en az 3 en çok 5 atış ile yığılma (stack) yapılmıştır. Verinin ilksel değerlendirilmesi sonucu ortama ilişkin 1 boyutlu S dalgası değişimi grafiklenmiştir. Buna göre ilk adım olarak arazi verisine faz hızı-frekans dönüşümü yapılarak *dispersiyon eğrisi* elde edilmiştir. Ardından dispersiyon eğrisinde yumuşatma (smoothing) işlemi ile saçılımlar giderilmiş, Şekil 71a'da sunulan faz hızı-frekans hiperbolu elde edilmiştir (şekilde kırmızı daire simgesi ile gösterilmektedir). Şekil 71a'da kırmızı kesikli çizgi ile de sinyal/gürültü değişimi gösterilmektedir. Daha sonra seçilen bir başlangıç modeli için ters çözüm işlemi yapılarak model eğrisi ile arazi eğrisinin uyumu %8.4 ms hata ile iteratif olarak sağlanmıştır. Buna göre, yer altı sismik hız modeline en yakın çakışma Şekil 71a'da sunulan siyah eğri ile gösterilmiştir. Dispersiyon eğrisine göre hesaplanan değişim, derinliğe bağlı olarak Şekil 71b'de yeşil noktalar ile sunulmuştur ve 18 m maksimum derinlik için çözüm yapıldığını göstermektedir. S dalgasının derinliğe göre 1 boyutlu değişimi Şekil 71b'de gri bölge ile ifade edilmiştir. S dalga hızı verisinden elde edilen P dalga hızının değişimi ise şekilde yeşil eğri ile gösterilmektedir. Ayrıca elde edilen hızlara göre hesaplanan N değeri (standart penetrasyon sayısı) kırmızı eğri ile Şekil 71b'de sunulmuştur. Şekil 71b incelendiğinde, hızlardaki ani değişimler -düşük düşey çözünürlüğe göre bir değerlendirme yapıldığı dikkate alınarak- ortamın 2 tabakalı olarak yorumlanabileceğini göstermektedir. 1. tabaka ~6m derinlikte $V_s \sim 240$ m/s hızlı, 2. tabaka ise $V_s \sim 340$ m/s hızında ve 12 m kalınlığındadır. Belirlenen iki tabaka sınırı, aynı bölgede yapılan ve Şekil 3.69'te sunulan öz direnç tomografi sonucu ile de uyumlu olup (aynı profil üzerinde alınan elektrik tomografi ölçüleri), kesit üzerindeki yüksek-düşük öz direnç sınırlarına işaret etmektedir.

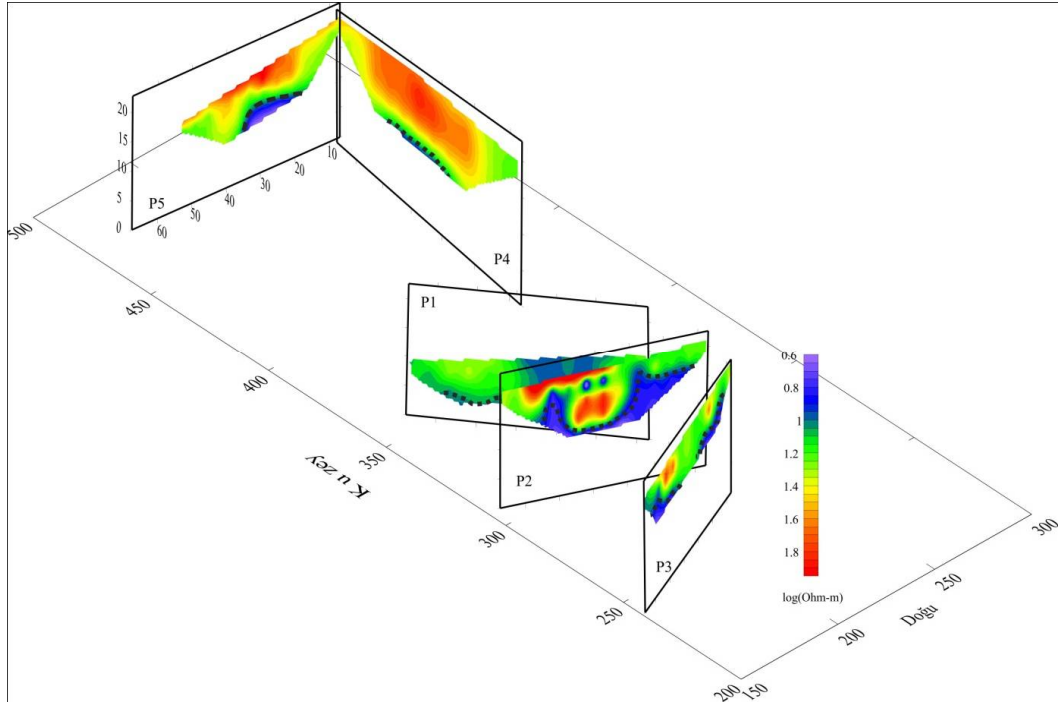


(a)

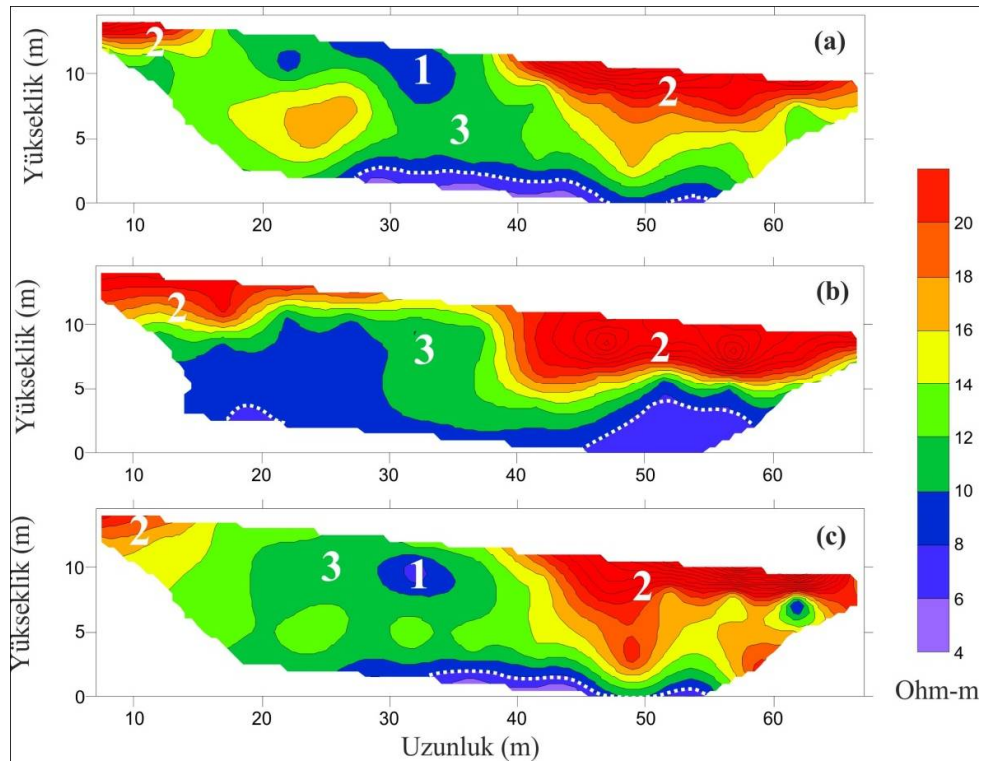


(b)

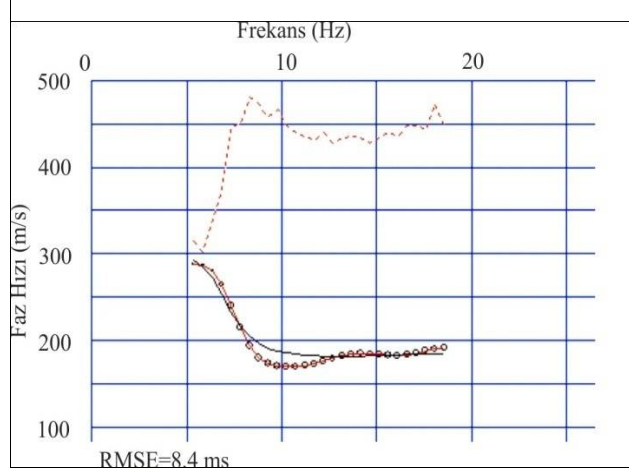
Şekil 68. (a) Güzelyalı heyelan alanı çalışma alanının fotoğrafı (bakış yönü b'de gösterilmiştir), (b) Güzelyalı heyelan alanı jeofizik ölçü profilleri



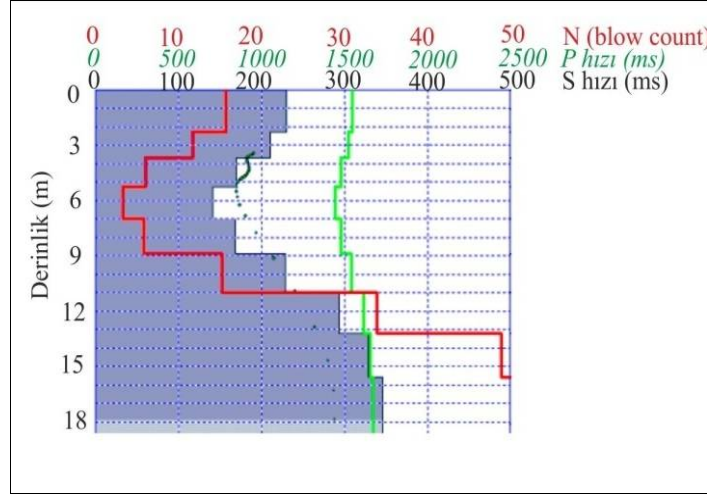
Şekil 69. Güzelyalı heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri; Profil 1, 2, 3 4 ve 5



Şekil 70. Profil 1 zamansal izleme çalışması; (a) Eylül.2013; aralık=[4,36], (b) Kasım.2014; aralık=[6-38], (c) Eylül.2015; aralık=[4-46] Ohm-m



(a)



(b)

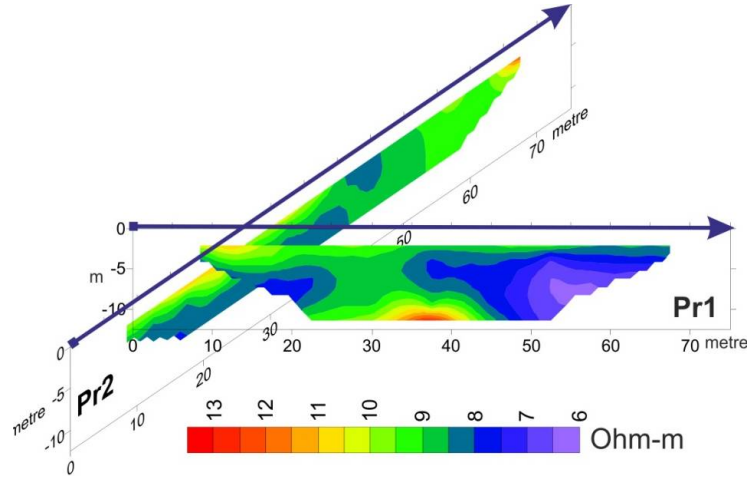
Şekil 71. Güzelyalı heyelan alanı, S1 sismik araştırma profili, MASW değerlendirme sonuçları; (a) Frekans-Faz Hızı eğrisi (b) ortama ilişkin hız modeli

3.2.5 İntepe Heyelan Alanı

Oldukça aktif bir trafik akışının olduğu İzmir-Çanakkale karayolu üzerinde yer alan bölgede devam eden yol yapım çalışmaları nedeniyle, ancak 2 profil elektrik özdirenç tomografi ölçüsü alınabilmiştir (Şekil 72). Buna göre; düşük özdirençli <7 Ohm-m bölge, ortalama 5- 6 m derinde yer alan suya doymun ortamı göstermektedir. Kesitlerde özdirenç aralığı oldukça düşüktür ve gözlenen gerece yüksek özdirençli bölgeler de göreceli olarak pekleşmiş birim olarak değerlendirilmiştir (Şekil 73). Bölgede derin ve ayrıntılı bir jeofizik çalışma önerilmektedir.



Şekil 72. Erenköy heyelan alanı, öz direnç tomografi ölçü profilleri



Şekil 73. Erenköy heyelan alanı, 2B yer elektrik kesitleri

Bütün jeofizik ölçümler için gerekli olan profil konum ve yükseklikleri, Geomatik ekibi tarafından yapılan GPS/GNSS ölçülerinden elde edilmiştir. Ayrıca jeofizik arazi uygulamalarına, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü lisans öğrencilerinin katılımı sağlanarak, öğrencilerin arazi deneyimi kazanmaları desteklenmiş ve proje aracılığıyla eğitim-öğretime katkı sağlanmıştır. Proje kapsamında önerilen jeofizik çalışmalar, ilgili heyelan alanlarında proje takvimine göre uygulanmış, beklenen başarı ölçütleri içerisinde hedeflenen amaçlara ulaşılmıştır.

4. İHA DESTEKLİ FOTOGRAMETRİK ÇALIŞMALAR

4.1 İHA Destekli Fotogrametrik Çalışmalar

Fotogrametrik kamera veya özel algılayıcı sistemler yardımıyla elde edilen fotoğraf ya da görüntüleri kayıt ederek, ölçerek ve yorumlayarak fiziksel nesnelere ait güvenilir ölçü ve bilgiler elde etme bilimi, sanatı ve teknolojisidir. Hava fotogrametrisinde Hava fotogrametrisi, gökyüzündeki bir noktadaki hareketli bir platformdan çekilen düşeye yakın fotografik görüntüleri kullanmaktadır. Hava fotoğrafı; Hava fotoğrafı uçaklara yerleştirilmiş uygun film ve filtrelerle objelerden yansıyan ışığın kameralar yardımıyla bir emülsiyon üzerinde saptanması ile elde edilen görüntüdür. Diğer bir tanımla alım anında ve alım alanındaki tüm detay bilgileri üzerinde bulunduran ve iyi korunduğu takdirde zaman içinde herhangi bir kayba uğramayan bilgi depolarıdır.

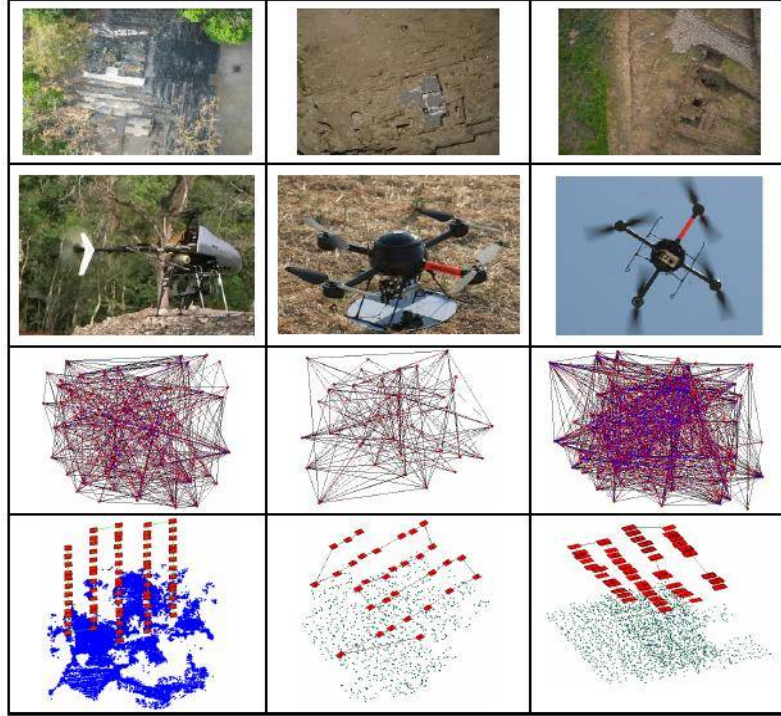
İnsansız Hava Araçları (İHA), içerisinde uçuş ekibi (pilot) olmadan, aerodinamik uçuş prensiplerine göre aralıksız olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özelliğine sahip araçlardır. İHA kullanımında yer ile irtibatı sağlayan tümleşik otomasyon sistemleri İnsansız Hava Aracı Sistemleri (İHAS) olarak tanımlanmaktadır. İHA kullanımının ilk örnekleri I.Dünya Savaşı sırasında ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda İHA'lar askeri amaçlar doğrultusunda taarruz, izleme, keşif, gözetleme ve haritalama görevlerinde kullanılmıştır. İnsansız Hava Araçları havada kalış sürelerine, ağırlıklarına, irtifa yüksekliklerine ve kullanım alanlarına göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. Yaygın bir sınıflandırmada azami havada kalış süresi ile uçuş irtifası ilişkilendirilir ve İHA ve İHAS sınıfları Mini, Taktik, Operatif ve Stratejik olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır.

4.1.1 İHA'ların Geomatik Amaçlı Uygulamaları

Son zamanlarda, özellikle bazı özel şirketler bazı uygulamalarında İHA tabanlı teknoloji ile elde edilen sayısal arazi modelleri ve ortofotolar üretmektedirler. Modern İHA'ların kolay kullanımı ve maliyetinin yanı sıra sistemin güvenilirliği, kalitesi ve hassasiyeti göz önüne alındığında jeolojik harita uygulamalarında da etkin ve yaygın olarak kullanılabilir. 2010 yılında itibaren haritacılık alanındaki çalışmalara ve gereksinimlere göre İHA teknolojisinin kullanımı gelişimini sürdürerek bugünkü halini almıştır. Farklı sektörlerde dokümantasyon ve veri toplama konularında sağladığı katma değer nedeniyle İHA'ların kullanımının hızla yaygınlaşması beklenmektedir.

Ayrıca arazideki yapılaşmanın, orman alanlarının, açık ve kapalı maden ocaklarının ve atık

alanların izlenmesi ve arazideki değişimlerin saptanması konularında İHA ölçme yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Modern İHA'ların kolay kullanımı ve maliyetinin yanı sıra sistemin güvenilirliği, kalitesi ve hassasiyeti göz önüne alındığında haritacılık uygulamalarında da etkin ve yaygın olarak kullanılabilir (Şekil 74).



Şekil 74. Farklı İHA sistemleri ve fotogrametrik değerlendirme modelleri

2010 yılında itibaren haritacılık alanındaki çalışmalara ve gereksinimlere göre İHA teknolojisinin kullanımı gelişimini sürdürerek bugünkü halini almıştır. Özellikle açık ve kapalı maden ocaklarının haritalandırılmasında, hacimsel değişimlerin izlenmesinde ve bu değişimlerden kaynaklanan deformasyonların saptanmasında kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin; İsviçre'de çakıl ocaklarında her 3 aydaki değişikliklerin izlenmesi amacıyla İHA ölçüm tekniği kullanılmıştır. İHA ile belgelenen değişiklikler kullanılarak bu çalışma alanı ile ilgili İsviçre'de 2012 yılında bir kanun çıkarılarak çakıl üretiminde bir takım kısıtlamalara gidilmiştir. Hem hacimsel değişimin izlenmesi hem de yöntemin hızlı ve etkin veri toplama sisteminin popülerliğini arttırmaktadır. Farklı sektörlerde dokümantasyon ve veri toplama konularında sağladığı katma değer nedeniyle İHA'ların kullanımının hızla yaygınlaşması beklenmektedir. İnsansız hava aracına monte edilecek sayısal kamera yardımıyla, yüksek çözünürlüklü görüntü alma imkânı vardır. İHA ile hem yüksek çözünürlüklü hem de istenildiği zaman güncellenebilen veri alımı gerçekleştirilebilir.

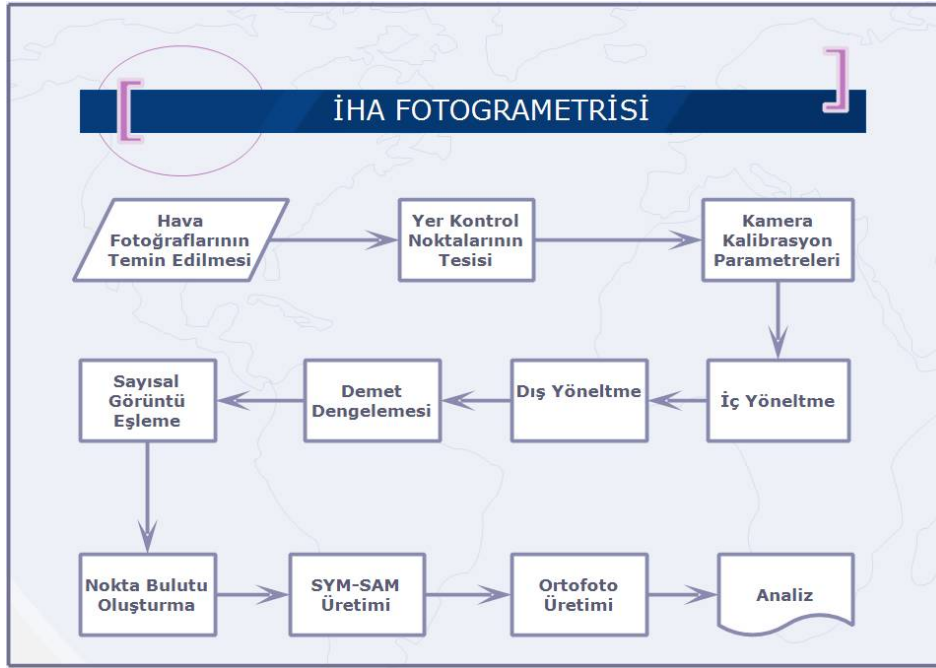
Klasik yersel saha gözlemlerine dayanan jeolojik haritalama yoğun emek gerektirmenin yanı sıra zamansal ve ekonomik kayıplara da neden olabilir. Bu projenin içerdiği tüm iş paketlerinde İHA teknolojisine dayalı olarak ile toplanan hava görüntülerinden sayısal arazi modelleri üretimi, bu görüntülerin işlenmesi ve farklı bant kombinasyonları kullanılarak elde edilen indekslerle çalışılan alanlardaki jeolojik birimlerin sınıflandırılması ve alterasyonların belirlenmesi sonucunda stratigrafik ve mineralizasyon özelliklerinin saptanması aşamaları yer almaktadır.

Proje kapsamında İHA olarak kullanılacak bir model multikopter ve üzerine yerleştirilmiş taşınabilir sayısal kameralar yardımıyla çalışma alanlarının heyelan deformasyonlarının belirlenmesi için büyük ölçekli arazi modeli üretimi için veri toplanması amaçlanmaktadır. Alınan sayısal görüntülerin uygun yüksekliklerdeki uygun yer örnekleme aralıkları sağladığı ve yine uygun yazılımlar ve yeterli doğrulukta yer kontrol noktaları kullanımı ile çok güçlü semantik bilgiye sahip sonuç ürünler alınabileceği öngörülmektedir. Böylece kullanılacak kameralar ve uygun uçuş yüksekliğine bağlı olarak, istenilen model üretimine olanak sağlayacak veriler İHA yardımıyla üretilebilecektir. Bu kapsamda İHA cihazı ve entegre kamera ile proje bölgesinin görüntüleri elde edilecektir. Kamera kalibrasyonu için ayrı bir yazılım kullanılacaktır. Elde edilen görüntülerin işlenmesinde yakın resim fotogrametri programı kullanılacaktır. Projede çalışma bölgeleri için sayısal yükseklik modelleri stereo çiftten üretilecek ve sonrasında üretilen orto görüntüler üzerinden detay çıkarımları da yapılabilecektir. Bu çalışma kapsamında bölgeyi karakterize eden doğal ve yapay nesnelere konumsal analizler gerçekleştirilecektir. Kamera kalibrasyonu için profesyonel yazılım kullanılacaktır. Bu basit prosedür görüntü toplama ve işleme de dahil olmak üzere yaklaşık bir saat sürmektedir. Kamera kalibrasyon işlemleri her ölçü alma dönemi öncesinde tekrarlanacaktır. Elde edilen blok çizgili uçuş yönü içinde önsel olarak % 70 ve % 20 bindirmeler ile görüntüler oluşturulacaktır. Görüntü yönlendirme İHA yönteminde verilerin değerlendirilmesinde en zaman alıcı adımlardan biridir. İç ve dış yöneltme parametrelerinin dikkate alındığı değerlendirme sürecinde sayısal arazi modelleri (SAM) elde edilmektedir. Dolayısıyla ancak hatasız bir SAM oluşturulduğunda orto-görüntü üretimine geçilebilir. Bu prosedür genellikle otomatik bir süreç olmasına karşın odaklanılacak çalışma alanının belirlenmesi gereklidir. Eğer gerekirse bloktaki tek orto-görüntüler fotomozaik biçiminde birleştirilecektir.

Proje kapsamında uygulanacak yöntem, teknik ve kullanılacak araçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Üretilen modellerden beklenen doğruluk kriterlerinin saptanması,
- Değerlendirme için gerekli öncül (önsel) bilgilerin belirlenmesi,
- Uçuş planının yapılması ve İHA uçuşu ile veri toplama,
- Üç boyutlu arazi modeli üretimi
- Tematik harita üretimi.

Projede İHA destekli fotogrametrisi kapsamında kullanılan iş akış diyagramı Şekil 75'te verilmektedir.



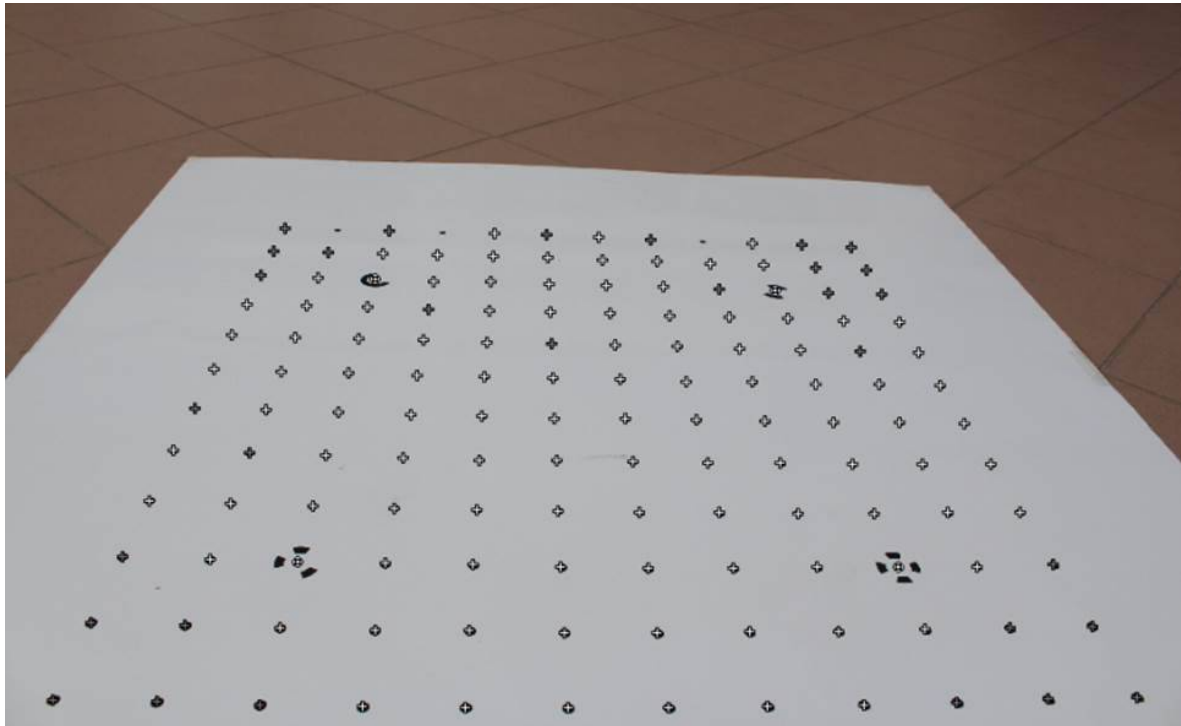
Şekil 75. İHA fotogrametrisi iş akış diyagramı

4.1.2 Kamera Kalibrasyonu

*Kamera Kalibrasyon Parametreleri:*Fotogrametrik kameraların teknik özelliklerini ve gerekli parametreleri içeren raporlara kalibrasyon raporları denir. Bu raporlar kamera üreten firma tarafından, ilk üretim sırasında hazırlanır ve kullanıcıya verilir. Kullanıcı, iki-üç yılda bir kamerayı test etmek suretiyle bu raporun yenilenmesini isteyebilir. Kalibrasyon raporlarında,

iç yöneltme elemanları, distorsiyon hatası değerleri ve objektifin ayırma gücü değerleri bulunur. Kullanılacak projeksiyon sisteminin ve referans birimleri, uçuş yüksekliği ve fotoğrafta meydana gelen muhtemel eğiklik ve dönüklük eksenleri ve görüntüler sisteme tanıtılır. İç yöneltme, genel olarak çekim kamerası özelliklerinin değerlendirme aletine getirilmesi olarak ifade edilir. Sayısal fotogrametrik sistemlerde yapılan iç yöneltme, kalibrasyon raporundaki kamera bilgilerinin sisteme tanımlanmasıdır. Karşılıklı yöneltme ile fotoğrafın eğiklik ve dönüklükleri giderilerek fotoğraf çiftleri birbirine göre çekildiği andaki konuma gelirler. Karşılıklı yöneltme ile arazinin ya da nesnenin 3B modeli elde edilir. Fakat bu 3B model araziye paralel ve ölçekli değildir. Mutlak yöneltme ile arazinin tam benzeri elde edilir. Yani karşılıklı yöneltme ile elde edilen 3B model araziye paralel ve ölçekli hale gelir. Böylece iki ışın destesi, kameradakine benzer konumda aynen stereo değerlendirme aletinde oluşturulmuştur. İç yöneltme, karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltme yapıldıktan sonra stereo model çalışılmaya hazır duruma gelmiştir.

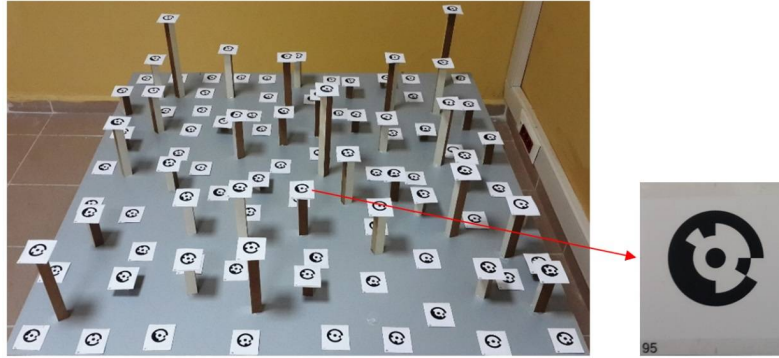
Photomodeler programının kalibrasyon alanı kullanılarak her iki kameranın kalibrasyon değerleri elde edilmiştir. Şekil 76'da Canon 650 D ile kalibrasyon için çekilmiş örnek bir resim görülmektedir.



Şekil 76. Canon 650D model dijital kamera ile elde edilmiş bir test alanı görüntüsü

Günümüz fotogrametrik modelleme yöntemleri, kamera parametrelerini, üretilen yüksek sayıdaki noktalar yardımıyla kendi kendine kalibrasyon yardımıyla çözebilme yeteneğine sahiptir. Bu çözümlenme, yüksek doğruluk gerektiren işlemlerde hata kaynağına sebep olabilmektedir. Ancak kamera kalibrasyonu ile daha önceden özel olarak belirlenmiş kamera parametreleri, iş sırasındaki kamera parametrelerini daha doğru elde edilmesine, modelin doğruluğunun artmasına olanak tanımaktadır. Bu nedenle proje kapsamında yapılan çalışmalarda kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında iki adet dijital kamera kullanılmıştır. Birinci kamera 18MP Canon 650D, ikincisi 18MP Canon EOS M'dir.

Proje kapsamında 100 adet noktadan oluşan bir kalibrasyon test alanı tasarlanmıştır (Şekil 77). Kalibrasyon alanındaki noktalar Total Station ile ölçülerek koordinatları tespit edilmiştir (Şekil 78). Daha sonra yukarıda ismi geçen kameralarla alınan konvergent açılı resimleri değerlendirilerek kamera parametreleri tespit edilmiştir. Test alanındaki noktaların resim koordinatları doğruluğunu arttırmak için noktalar için temin edilen ve hepsi birbirinden farklı olan özel hedefler otomatik yöntemle ölçülmüştür. Elde edilen kalibrasyon sonucu kamera parametreleri Tablo 29'daki gibi belirlenmiştir.



Şekil 77. Özel hedeflerden oluşan kalibrasyon test alanı



Şekil 78. Özel hedeflerden Total Station ile ölçümü

Tablo 29. Geniş açılı kameraların kalibrasyon raporu

Kamera	Canon EOS 650D	EOS M
Objektif	Geniş açı	Geniş açı
Odak uzaklığı	19,2362 mm	18,6970 mm
Sensör genişliği	22,9141 mm	22,7683 mm
Sensör yüksekliği	15,1638 mm	15,1638 mm
Ana nokta (x_0)	11,5437 mm	11,6326 mm
Ana nokta (y_0)	7,7077 mm	7,7821 mm
Radyal distorsiyon K1	4,790e-004	4,947e-004
Radyal distorsiyon K2	-9,293e-007	-8,669e-007
Teğetsel distorsiyon P1	-1,348e-004	-6,402e-005
Teğetsel distorsiyon P2	9,951e-006	1,169e-004

4.1.3 Kullanılan İnsansız Hava Aracının Özellikleri

Proje çalışması kapsamında heyelanların insansız hava aracı destekli dijital fotogrametri yöntemiyle modellenebilmesi için taşıyıcı platform olarak detaylı bir araştırmadan sonra 8 motor ve pervaneli Okto XL havadan görüntüleme sistemi tercih edilmiştir (Şekil 79).

	Teknik Özellikler	
	Boyutlar	73 cm x73 cm x36 cm
Yük kapasitesi	2500 gr	
Maksimum Yükseklik	100m (Kuş Uçuşu)	
Maksimum Mesafe	100m (Kuş Uçuşu)	
Uçuş Süresi	45 dk	
Gerçek Uçuş Süresi	18-28 dk	
Telemetri Verisi	Anlık Gerilim, Kapasite, Akım, Yükseklik, Mesafe, Yön, Hız, Sıcaklık	

Şekil 79. Mikrokoopter Okto XL Havadan Görüntüleme.

Bu aşamada Alman Mikrokopter firmasının elektroniği, TurkUAV şasesi, kamera yuvası ve gelişmiş yüksek titreşimsiz motorları kullanılmıştır. Okto XL ürününün sahip olduğu teknik özellikleri; manuel uçuşta otonom pilot yardımı sayesinde dengeli uçuş yeteneği, irtifa sabitleme, GPS/GNSS ile pozisyon sabitleme, akıllı yönelim kontrolü, yönelim sabitleme (cihazın baktığı yeri sabitleme), GPS/GNSS ile sistemin motorların başladığı noktaya geri dönmesi, cisim (araba-insan) takip edebilme, harita üzerinden planlanmış güzergah uçuşu, full otonom uçuş ve güzergah uçuşunda kameranin bakacağı noktayı belirleme biçiminde sıralanabilir. Ayrıca ürün kablosuz veri aktarımı, OSD ekranı üzerinden cihazın pil durumunu, cihazın harita üzerindeki konumu, yönelimi ve yüksekliği, motor sürücü birimlerinin sıcaklıklarını, cihazın uçuş modlarını, uçuş süresi ve cihaz ile ilgili diğer özellikleri uçuş sırasında anlık izleme, iki eksenli kamera stabilizasyon sistemi, 5.8Ghz 1000mW Kablosuz Görüntü Aktarım birimi ile AV çıkış özelliğine sahip kameranız ile çekilen görüntülerin canlı olarak en çok 1 km mesafeden izlenebilme, gelişmiş fail-safe ile kumanda ile cihazın iletişimi kesildiğinde cihazın motorların başladığı noktaya geri dönmesi ve kontrollü iniş yapması özellikleri nedeniyle tercih edilmiştir.

4.1.4 Uçuş Planının Yapılması ve İHA Uçuşu ile Veri Toplama

Proje kapsamında kullanılan hava fotogrametrisi'ndeki geometrik bağıntılar;

- Mk; Harita Ölçeği
- C; Sabit değer
- f; Odak noktası
- p; Enine Örtü oranı
- q; Boyuna Örtü oranı
- S; Karesel Formatta Resim kenarı
- Lq; Arazi genişliği
- Lp; Uçuş Şeridi uzunluğu
- V; Uçağın hızı
- E; Uçağın Manevra kabiliyeti (Şeritler arası dönüş uzaklığı) biçiminde sıralanabilir.

Bu çalışmada bilinmeyenlerin hesaplanması için sırasıyla;

- Resim Ölçeğinin Hesaplanması: $M_r = C \cdot (M_k)$,

- Şerit Eksenleri arasındaki Uzunluğun hesaplanması; $A = Mr * (1 - (q / 100)) * (S/100)$;
 - Uçuş Bazının hesaplanması; $B = Mr * (1 - (p / 100)) * (S/100)$,
 - Uçuş Yüksekliğinin hesaplanması; $H = (f/100) * Mr$,
 - Resim kenarının yeryüzündeki karşılığının hesaplanması; $s = (S/100) * Mr$;
 - Şerit sayısının hesaplanması; $n = (((Lq*1000) - s) / A) + 1$,
 - Her bir şeritteki resim sayısının hesaplanması; $N = ((Lp * 1000) / B) + 4$;
 - Tüm Bloktaki resim sayısının hesaplanması; $T = n * N$,
 - Toplam Uçuş süresinin hesaplanması; $Ttop = ((n * Lp) + (n - 1) * E) / V$,
 - İki resim çekimi arasındaki sürenin hesaplanması (km/h i m/sn çevirmek için 1000/3600 ile çarpılır.); $t = (B / ((V * 1000) / 3600))$,
 - Yerde Kaplanan Alanın hesaplanması; $ss = ((s/1000)^2)$,
 - Bir Modelin kapladığı alanın hesaplanması; $Fm = (s - B)/1000 * (s/1000)$,
 - Yeni kazanılan stereoskopik alanın hesaplanması;
- $$Fn = (s/1000) * (1 - (p / 100)) * (s/1000) * (1 - (q / 100))$$

eşitlikleri kullanılmıştır. Buna göre oluşturulan ölçü planına ilişkin ayrıntılar Şekil 80'de verilmektedir.

Uçuş planına göre;

- Enine bindirme %70,
- Boyuna Bindirme %80,
- Uçuş yüksekliği: 150 metre,
- Yeryüzünde kaplanan alanın boyu 200 metre,
- Yeryüzünde kaplanan alanın eni 100 metre,
- Fotoğraf sayısı: 80'dir.

Yukarıda ayrıntılı olarak söz edilen uçuş planına göre elde edilen İHA uçuş güzergahı Şekil 80 (a)'da verilmektedir. Koordinatları jeodezik yöntemlerle ve arazi ölçmeleri ile elde edilen, uçuştan önce yapılan hava işaretleri yardımı ile de fotoğraflarda seçilebilen yer kontrol noktaları noktaları kullanılmıştır. Blok çevresine belirli aralıklarla yer kontrol noktaları

yerleştirilir. Proje alanının uygun ölçekli bir haritası üzerinde yapılacak bu tasarımda yer kontrol noktaları arasındaki uzaklıklar fotoğraf ölçeğine bağlı olarak hesaplanır.



Şekil 80. (a) Ambaroba heyelanı için elde edilen uçuş planı, (b) İHA ile toplanan hava fotoğraflarından birkaç örnek, (c) (+) şeklindeki yer kontrol noktası ölçüm işareti, (d) Yer kontrol noktalarındaki RTK/GNSS ölçmeleri, (e) Yer kontrol noktalarının zemindeki görünümü, (f) Yer kontrol noktalarının fotoğraftaki görünümü.

Planlanan uçuş bloğuna tesis edilen yer kontrol noktalarının çekilen hava fotoğraflarında görünebilmesi için (+) şeklindeki ölçüm işaretleri kullanılmıştır (Şekil 80 (c)). Bu noktaların koordinatlandırılması RTK/GNSS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 80 (d)). Yer kontrol noktası ölçüm işaretlerinin zeminde ve fotoğraf üzerindeki görünümü sırasıyla Şekil 80 (e) ve Şekil 80 (f)'de görülmektedir.

Çalışmalar kapsamında planlanan tarihlerde heyelan bölgelerinde İHA destekli veri toplamak için Mikrokopter firmasının kendi geliştirmiş olduğu flight mission yazılımı ile yarı otonom uçuşlar gerçekleştirilmiş ve entegre sayısal kamera ile yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları elde edilmiştir (Şekil 80 (b)). Hava fotoğrafları ilgili araziye tamamen örtecek şekilde ve sistematik bir biçimde planlanmıştır. Birbirine paralel uçuş çizgilerini izleyen uçaktan belirli aralıklarla fotoğraflar çekilmedi. Hava fotoğraflarının çekimi için; bulutsuz ve güneşli bir hava olması, kar örtüsü olmaması, geniş yapraklı ağaçların çok yoğun olduğu alanlarda, yaprakların oluşmadığı ya da döküldüğü mevsimlerde çekim yapılmaması, güneşin yükseklik açısı 30 dereceden büyük olması göz önünde bulundurulmuştur.

4.1.5 Hava Fotoğraflarından Üç Boyutlu Model Üretimi

İHA destekli dijital fotogrametri tekniğine dayalı olarak elde edilen yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları yardımıyla üç boyutlu model üretiminin aşamaları aşağıda verilmektedir:

Demet Dengelemesi: Tam analitik bir yöntem olup, ışın demetlerinin ilgili noktalarda kesiştirilmesi esasına dayanır. Stereo resim çiftindeki iki ayrı resme ait ışın demetlerinin sayısal olarak yöneltmesi yöntemidir. Bu yöntemde, iki resme ait 12 dış yöneltme elemanı ve yeni noktaların (kolon ve model bağlama noktaları) koordinatları bilinen kontrol noktası koordinatları yardımıyla hesaplanır. Yöntem, çok sayıdaki resme (blok oluşturmak suretiyle) aynı anda uygulanabilir. Yöntem, bir arazi noktası (P), alım kamerasının izdüşüm merkezi (O) ve arazi, noktasının resimdeki izdüşümünün (P') bir doğru üzerinde bulunduğu modeli, yani merkezi izdüşümün matematik tanımı olan doğrusallık (colinearity) koşulunu esas alan matematik modele sahiptir. Bu dengelemenin en büyük özelliği, matematik modelin genişletilebilir olmasıdır. Bu olanak sayesinde, dengeleme modeli içine bazı ilave parametreler ve yardımcı ölçüler katılabilir.

Sayısal Görüntü Eşleme: Sayısal görüntü eşleme, en azından kısmen aynı manzarayı içeren iki veya daha fazla sayısal görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin otomatik olarak kurulmasıdır. Temel elemanlar, görüntülerden çıkarılan detaylar veya gri değer pencereleri olabilir.

Fotogrametrik işlem adımlarının birçoğu görüntü eşleme ile ilgilidir. Örnek olarak, karşılıklı yöneltme ve fotogrametrik nirengide nokta transferi, sayısal arazi modelinin üretimi için noktaların diğer görüntülerdeki karşılıklarının bulunması sayılabilir.

Otomatik stereo yöneltmenin ana problemi bindirmeli iki görüntüdeki eşlenik noktaları bulmaktır. Problem genelde iki adımda çözülmektedir. Birinci adımda, görüntülerde ortak alanlar kaba bir eşleme yapılarak belirtilir. İkinci adımda bu işlemi çok hassas bir nokta eşleme işlemi takip eder. Birinci adımda genelde şekle dayalı görüntü eşleme yöntemleri, ikinci adımda ise çok hassas olan alana dayalı görüntü eşleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Nokta Bulutu Oluşturma: Bir nokta bulutu bir koordinat sisteminde veri noktaları kümesidir. Üç boyutlu koordinat sisteminde, bu noktalar genellikle, X, Y ve Z koordinatları olarak tanımlanır ve çoğu zaman bir nesnenin dış yüzeyini temsil eder. Dengeleme işleminden sonra kullanılacak bazı yardımcı algoritmalar ile seyrek nokta bulutları ve yoğun nokta

bulutları modellenir.

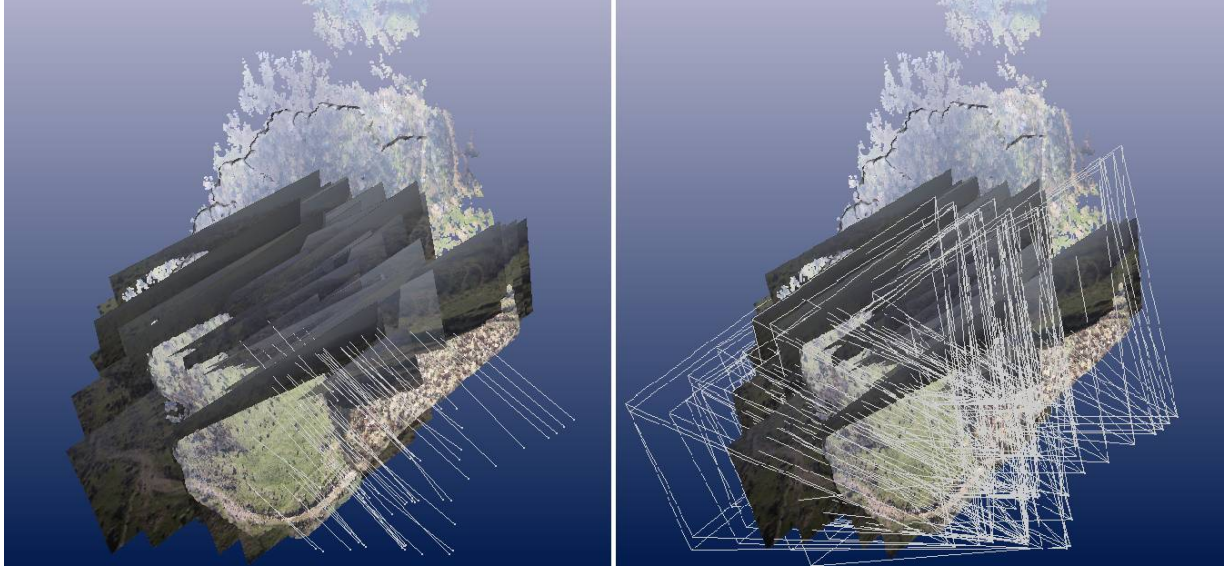
SYM-SAM Üretimi: Sayısal Yükseklik Modeli, yeryüzü topoğrafyasını en sade ve çıplak şekilde X, Y ve Z yükseklik değeriyle üç boyutlu olarak ifade eden model olarak tanımlanabilir. Bu modeller özellikle topoğrafik bir yüzeyin sayısal gösterimi için kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle yeryüzü topoğrafyasını en basit şekilde yansıtan en genel ve yaygın model olarak tanımlanmaktadır.

Sayısal Arazi Modeli (SAM), arazi yüzeyinin belirgin topografik özelliklerinin ve arazinin çıplak şeklinin sayısal olarak sunulmuş biçimi iken Sayısal Yüzey Modeli topoğrafya üzerindeki bina, bitki örtüsü, orman vb. farklı yükseklik değerlerine sahip detayları içerir, yani görünür yeryüzünü yansıtır (Höhle ve Potuckova, 2011). SAM, yeryüzünün bir parçasının kesikli bir temsilidir. Topoğrafik bir yüzeyin sayısal gösterimi için SAM daha genel bir terim olmasına karşın SYM daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SAM kullanılarak üretilen eşyükselti eğrileri arazinin gerçek şeklini daha iyi sunmaktadır.

Ortofoto Üretimi: Ortofoto, geometrik niteliği çizgi harita düzeyinde olan fotografik bir üründür. Genellikle bu foto-haritanın üzerine eşyükselti eğrileri de çizilmiştir. Kullanımı kolaylaştırıcı yazılar ve rakamlar eklenmiştir. Hava fotoğraflarından üretilen bu tür haritalar alışılmış çizgi haritalar gibi kullanılabilir. Bunun için arazinin yükseklik bilgisi gereklidir.

Analiz: Farklı yazılımların parametre girişi, görüntü eşleme ve SYM üretimi bakımından karşılaştırılması ile ise son adım olan analiz adımı gerçekleştirilir.

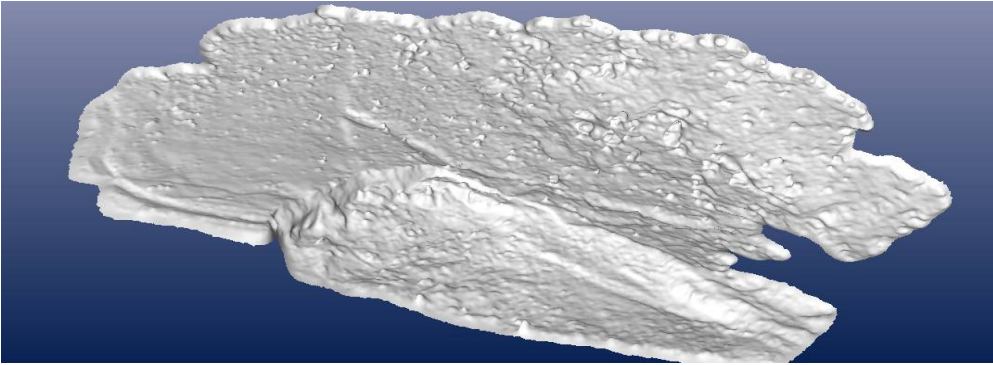
Ambaroba heyelan alanında yapılan fotogrametrik çalışmaların sonuçları; Bu bölgede toplam 68 adet hava fotoğrafı Canon EOS M ile elde edilmiştir. Ambaroba heyelanının üç boyutlu modellenmesinde nokta bulutundan görüntü düzlemleri ve görüntü konileri elde edilmiştir (Şekil 4.7). Ambaroba heyelanı için elde edilmiş beyaz nokta bulutu, tek renk dokusu, gerçek renkli üç boyutlu nokta bulutu, doku giydirilmiş yüzeyi, 10 cm'lik gridlerle sayısal yükseklik modeli, 3D eş yükseklik eğrileri ve eş yükseklik eğrili ortofotosu ilerleyen Şekil 81 ile Şekil 88 arasında verilmektedir.



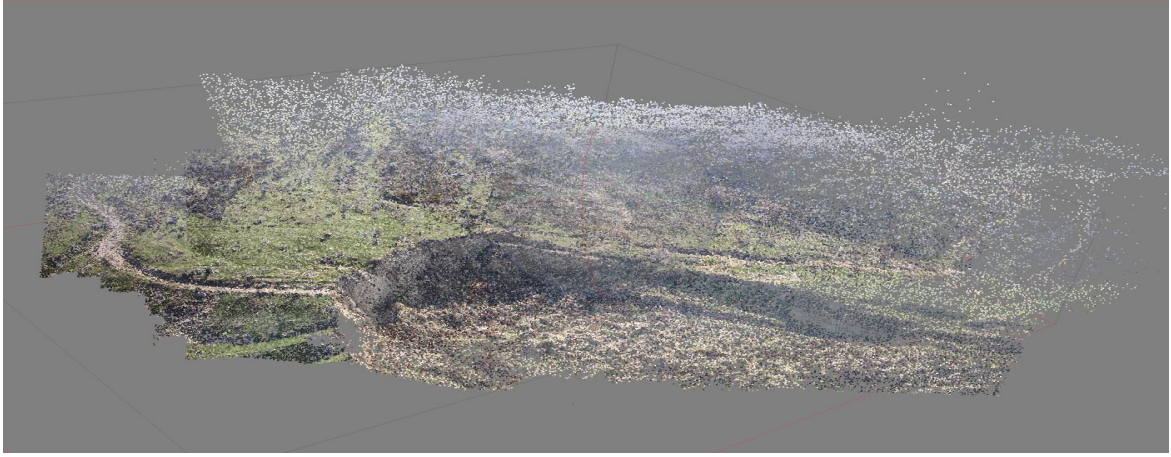
Şekil 81. Ambaroba heyelanının üç boyutlu modellenmesinde nokta bulutundan türetilen görüntü düzlemleri ve görüntü konileri



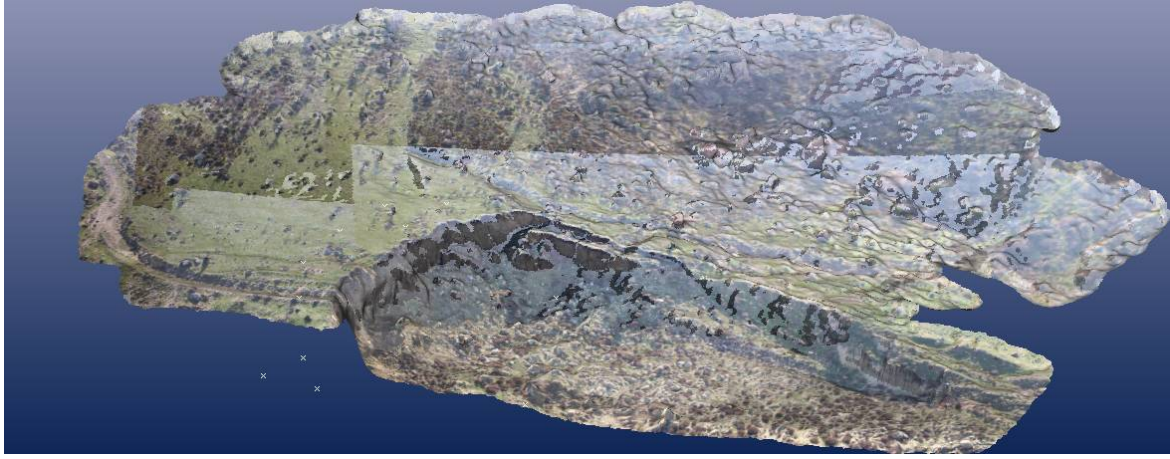
Şekil 82. Ambaroba heyelanının beyaz nokta bulutu



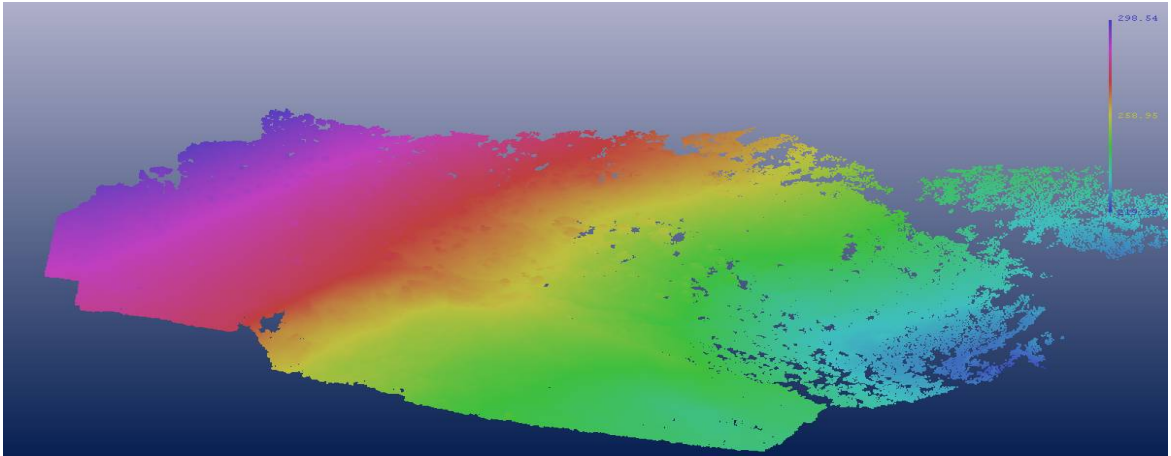
Şekil 83. Ambaroba heyelanının tek renk dokusu



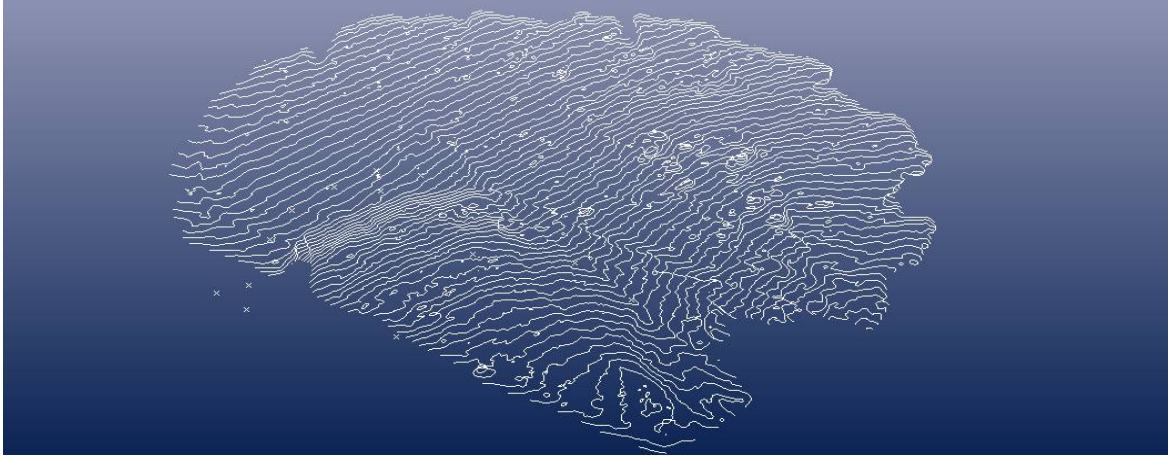
Şekil 84. Ambaroba heyelanının gerçek renkli üç boyutlu nokta bulutu



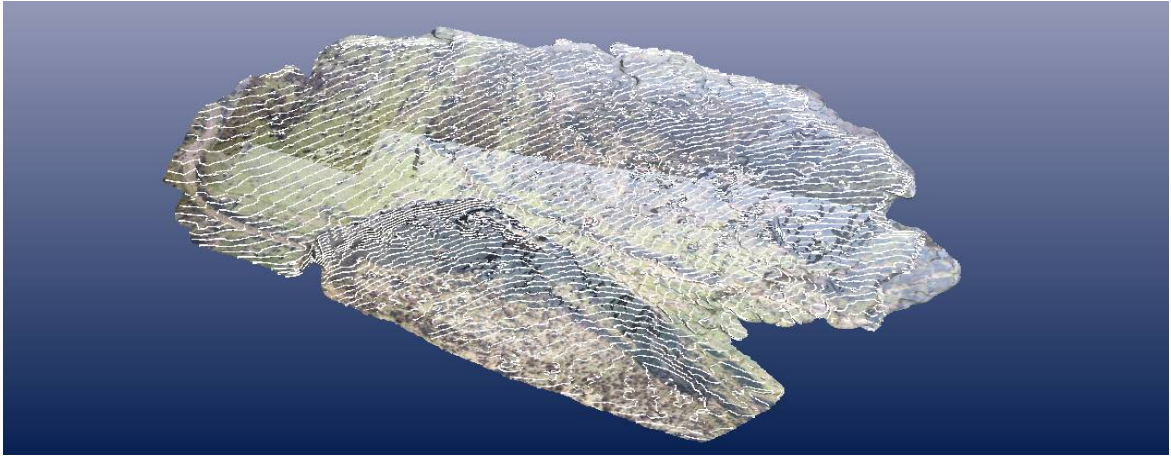
Şekil 85. Ambaroba heyelanının doku giydirilmiş yüzeyi



Şekil 86. Ambaroba heyelanının 10 cm'lik gridlerle sayısal yükseklik modeli

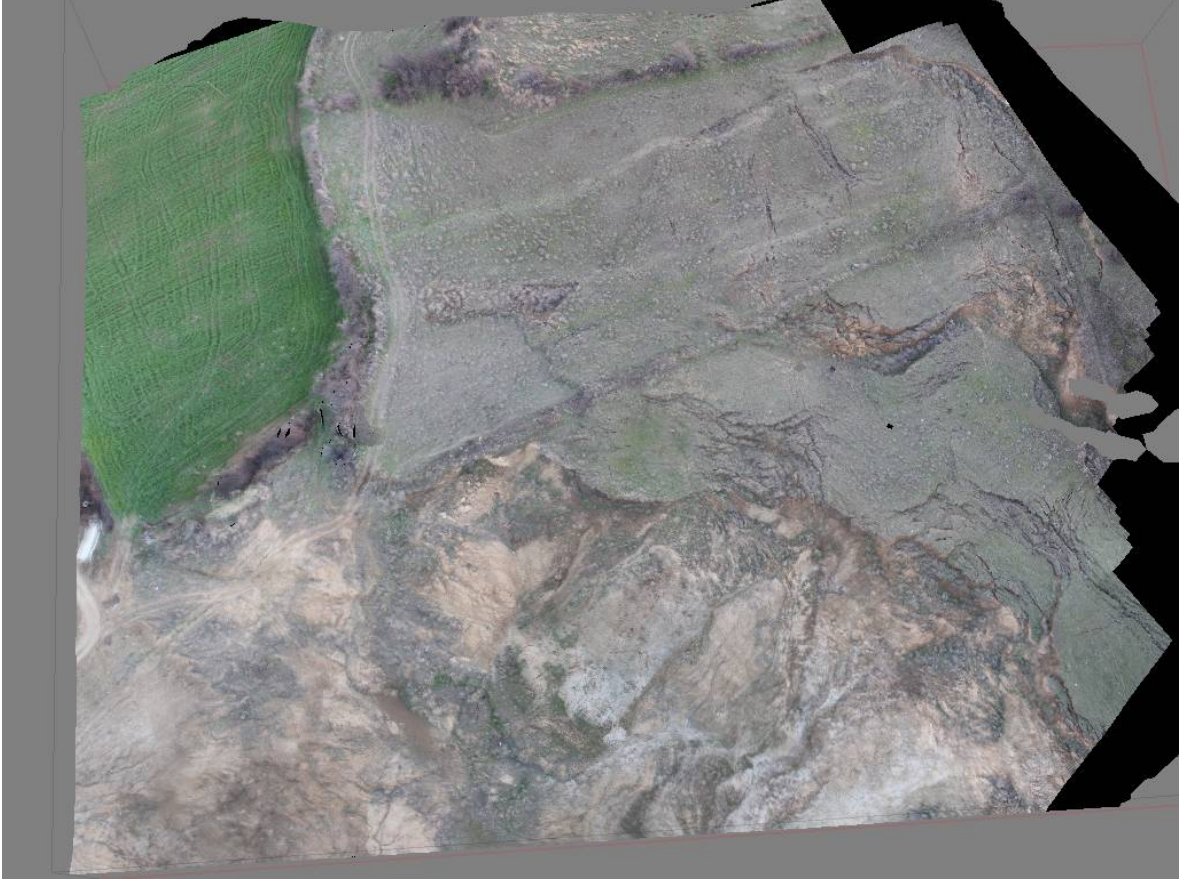


Şekil 87. Ambaroba heyelanının 3D eş yükseklik eğrileri

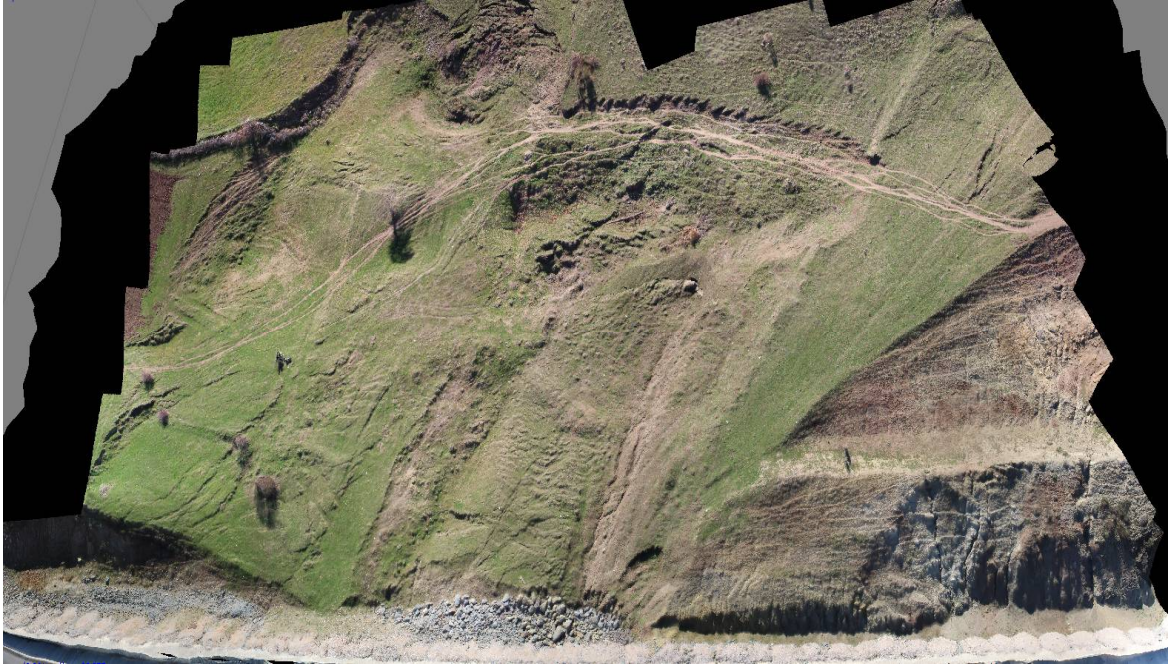


Şekil 88. Ambaroba heyelanının eş yükseklik eğrili ortofotosu

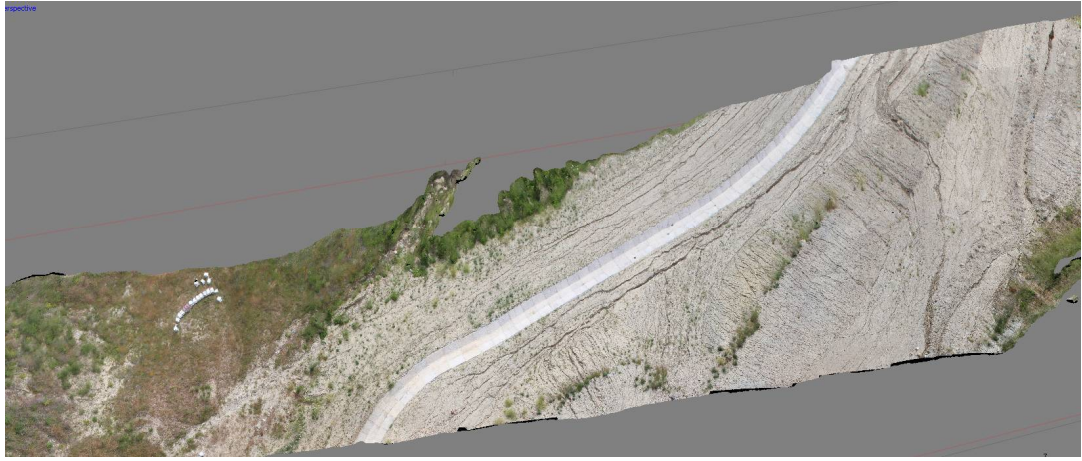
Ambaroba heyelanının yanı sıra sırasıyla Adatepe, Şevketiye ve İntepe heyelanlarında da insansız hava aracı destekli fotogrametri ile farklı periyotlarda 3D sayısal arazi modeli üretilmesi gerçekleştirilmiştir. (+) biçimindeki hedef noktalarının üretilen ortofotolardan alınan koordinatlarıyla aynı noktaların RTK GPS/GNSS tekniği ile elde edilen koordinatları karşılaştırılmıştır. Aradaki fark en çok santimere düzeyinde olup X koordinatları yönündeki karesel ortalama hata $4.6683e-004$, Y koordinatları yönündeki karesel ortalama hata ise $4.3633e-004$ biçiminde elde edilmiştir. İHA destekli fotogrametrik verilerle üretilen diğer 3D modeller Adatepe, Şevketiye ve İntepe heyelanları için Şekil 89, Şekil 90 ve Şekil 91'de görülmektedir.



Şekil 89. Adatepe heyelanı 3D sayısal arazi modeli



Şekil 90. Şevketiye heyelanı 3D sayısal arazi modeli



Şekil 91. İntepe heyelanı 3D sayısal arazi modeli

İntepe heyelanı için İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutuna ilişkin istatistiksel bilgiler aşağıdaki Tablo 30 verilmektedir. Herbir İHA ölçme periyodunda ayrı ayrı üç boyutlu sayısal arazi modelleri elde edilmiştir.

Tablo 30. Nokta bulutuna ilişkin istatistiksel bilgiler

Büyükük	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı
Min.	4451924.587	533368.268	230.619
Maks.	4452121.406	533510.907	281.659
Aralık	196.819	142.639	51.040
Ortalama	4451972.720	533454.895	265.717
Median	4451967.355	533472.868	269.072
Tile yüzdesi: 25%	4451943.628	533424.775	257.178
Tile yüzdesi: 75%	4451995.413	533485.772	274.119
St. Sapma	33.273	40.187	10.414
Varyans	1107.093	1614.995	108.451

4.2 Üretilmiş Üç Boyutlu Modellerle CBS Destekli Tematik Harita Üretimi

4.2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin, farklı zamanlarda, farklı bilim adamlarına göre değişik tanımlamaları yapılmıştır. Bu bağlamda CBS; araç (toolbox), yönetim (management) ve sistem (system) gibi üç temel yaklaşımla irdelenir. Buna göre, CBS bilgi teknolojisine dayalı bir veri toplama, işleme ve sunma aracı olarak; veya yoğun ve karmaşık konum bilgilerinin etkin bir şekilde denetlenebildiği bir yönetim tarzı; veya coğrafi verilerin daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir sistem ya da bunların bir bütünü olarak algılanmaktadır.

Özellikle çevresel uygulamalarda farklı katmanların bir bütün içinde değerlendirilmesi gerekliliği de yine CBS'nin gerçek dünyaya yönelik uygulamalarda yer almasına neden olmuştur. Son yıllarda küresel ısınmanın da katkısıyla artan doğal afetler, yöneticilerin konumsal bilgiyi daha iyi yönetmesi gerekliliğini ortaya koymuş ve böylece CBS doğal afet yönetiminin önemli bir bileşeni olmuştur.

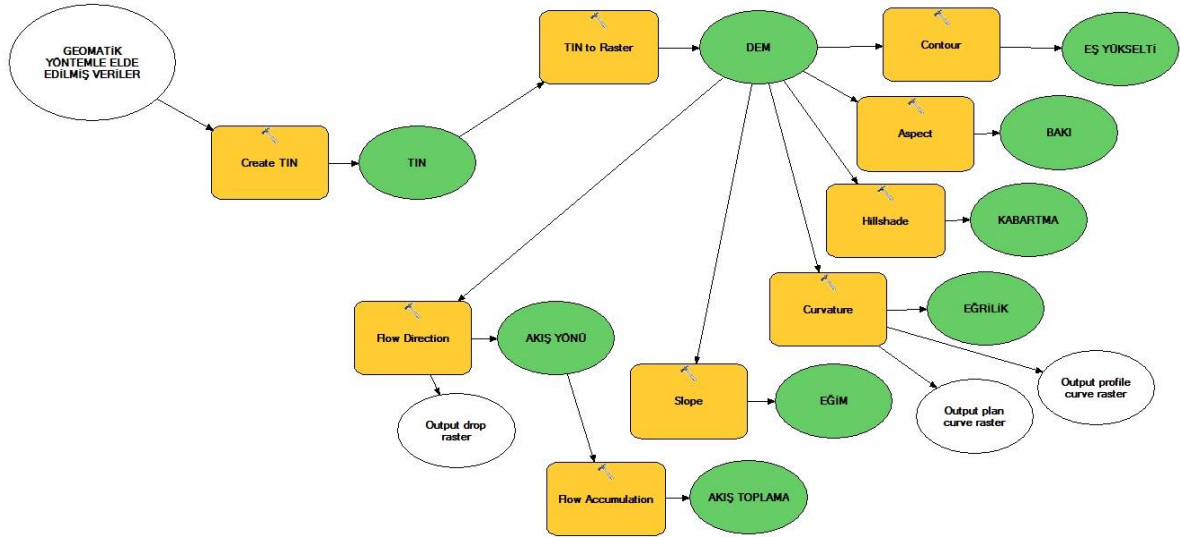
Tematik haritalar bir topografik altlık üzerinde o bölge ile mekansal referanslı olan her konuda bilgi aktaran kartografik ürünlerdir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) temel olarak topoğrafyanın dijital gösterimi olarak adlandırılmaktadır . Yeryüzünün sürekli değişmesinden dolayı topoğrafik yüzeyini göstermek sayısal yükseklik modeli uygun bir yapıdır . Arazi analizleri ve diğer 3 boyutlu uygulamalar için genel bir veri kaynağı olduğundan dolayı SYM çok önemli bir etmendir. TIN(Triangulated Irregular Network) veri modeli, süreklilik gösteren yüzeylerin raster olarak gösterimine alternatif bir veri modeli şeklindedir. Arazi veya üçüncü boyut özelliği taşıyan diğer diğer yüzeylerin analizi ve gösterimini etkin şekilde sağlar. TIN veri modelinde, yüzey, birbirine komşu dolayısıyla link edilmiş üçgenler serisiyle ifade edilir. Üçgenler herhangi bir konumda düzensiz olarak dağılmış üç noktadan üretilir. Bu açıdan raster veri modelinden farklıdır. Çünkü raster modelde her bir nokta düzenli kafes (lattice) sistemi şeklinde dağılım gösterir. Sonuçta TIN modeli topolojik olarak ilişkilendirilmiş üçgenleri oluşturduğu bir ağ (network) yapısına sahiptir.

Üç boyutlu (3D) görüntülerin elde edilmesi için öncelikle yüzey detaylarının x,y ve z değerlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunun için veri girişi esnasında bu değerlerin doğrudan bilgisayara girilmesi yanında sayısallaştırma sırasında detayların yükseklikleri yine bilgisayara kayıt edilir. Detayların sayısallaştırması nokta-nokta şeklinde ise x,y yanında z değeri de hayıt edilir. Böyle bir durumda kullanılacak uygun yazılım ve hesap yöntemi ile enterpolasyon işlemi yapılarak yüzey üzerindeki örnekleme noktaları yoğunlaştırılarak,

yüzeyin gerçeği daha fazla yansıtması sağlanabilir. Böylece sayısal arazi modeli (SAM) veya diğer deyişle üç boyutlu (3D) yüzey oluşturulmuş olur.

4.2.2 CBS Yardımıyla Tematik Harita Üretimi ve Modelleme

Proje kapsamında üretilen üç boyutlu sayısal arazi modelleri yardımıyla eğim, akış yönü ve bakı çıkarma gibi bazı özel fonksiyonlar kullanılarak heyelan alanlarına ilişkin izleme amaçlı farklı tematik haritalar üretilmektedir. Bu aşamada heyelan alanlarında periyodik olarak insansız hava aracı destekli fotogrametri tekniği ile üretilmiş sayısal arazi modellerinden türetilen altlıklar kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi programı olarak ArcGIS yazılımının ArcMAP modülü kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaların iş-akış diyagramı aşağıda görülmektedir. İHA verilerinden elde edilen modellerde TIN, DEM, akış yönü, eş yükselti, bakı, kabartma, eğrilik, eğim ve akış toplama gibi heyelan alanlarına ilişkin anlık tematik haritalar üretilmiştir.



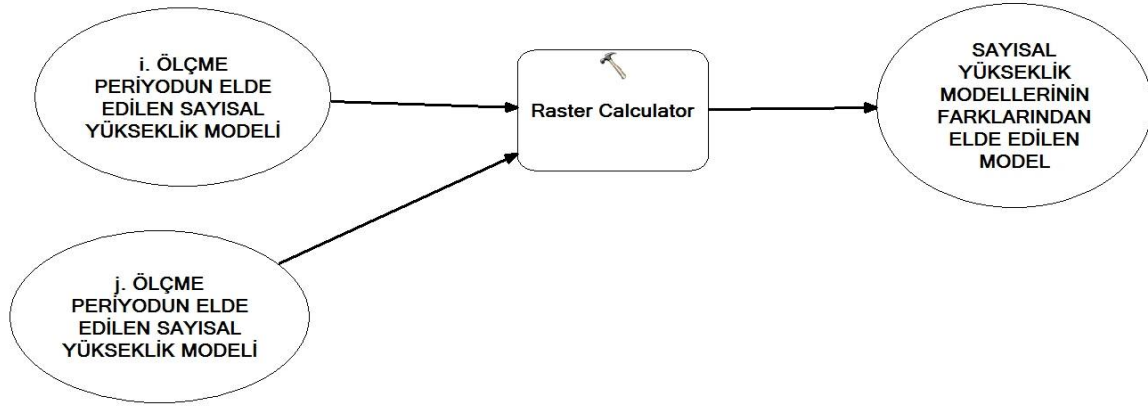
Şekil 92. İHA ile üretilen 3D modellerden tematik harita üretimi

Şekil 92’de verilen tematik harita üretimi amaçlı iş akış diyagramı kullanılarak:

- Ambaroba Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),
- Adatepe Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),
- Şevketiye Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),
- Güzelyalı Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),

- İntepe Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016) yukarıda sözü edilen tematik haritalar türetilmiştir.

Ayrıca farklı ölçüm epoklarına ilişkin üretilen tematik haritaların birbirleriyle karşılaştırılıp heyelan deformasyonlarının 3D sayısal modellere ve diğer tematik haritalara olan etkileri de ortaya çıkarılmak istenmiştir. Bu amaçla Şekil 92’te sunulan iş-akış diyagramı verilen ve üretilen tematik haritaların farklandırılmasını gerçekleştiren algoritma kullanılmıştır.

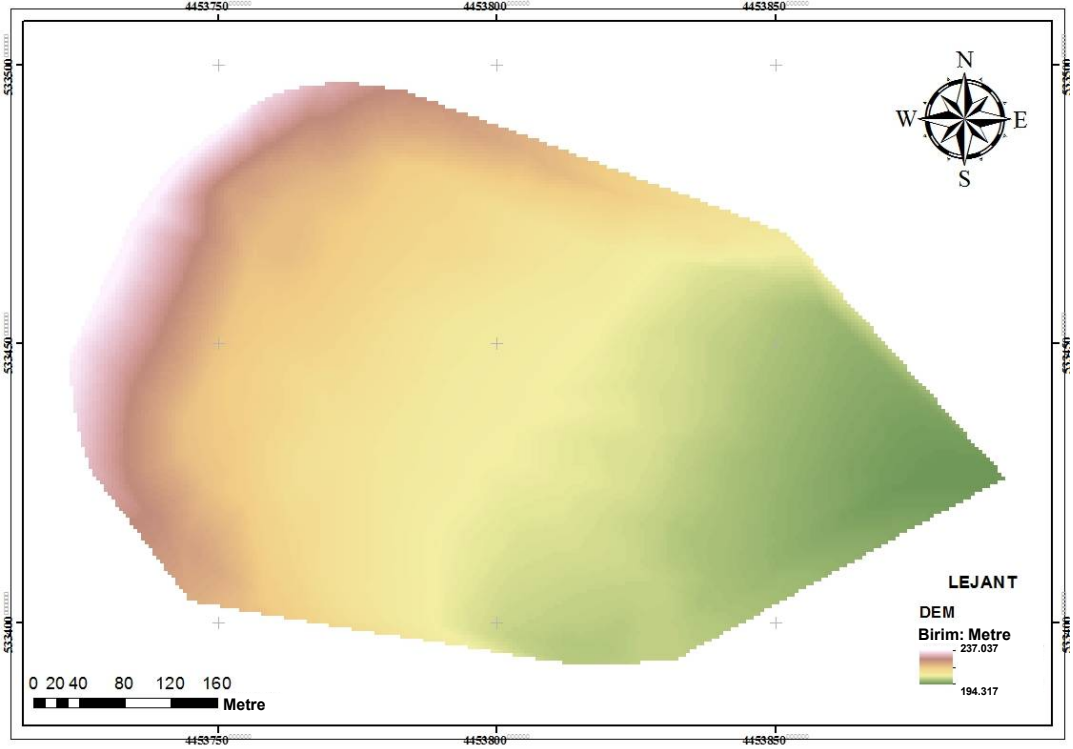


Şekil 93. Üretilen tematik haritaların farklandırma iş-akış diyagramı

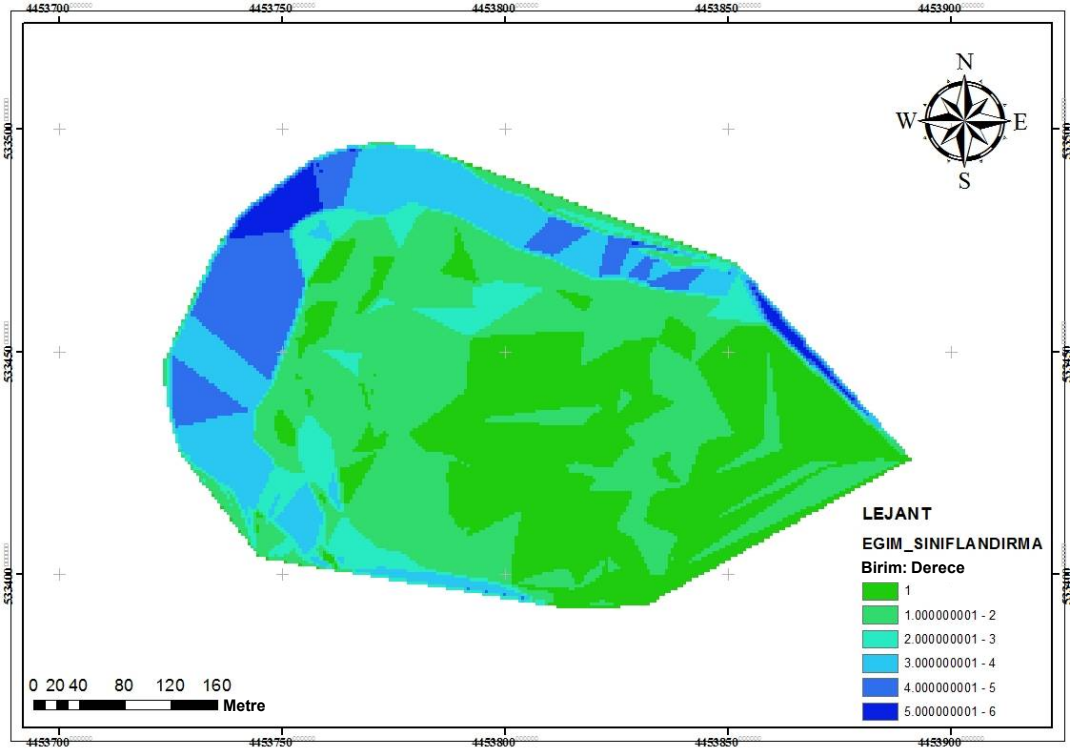
Bu kapsamda Ambaroba Heyelan alanında Nisan 2013 ayında gerçekleştirilen insansız hava aracı destekli fotogrametrik çalışmalardan elde edilen veriler değerlendirilerek ilgili ölçüm periyoduna ait tematik haritalar üretilmiştir. Söz konusu modeller sırasıyla Şekil 94 ile Şekil 102 arasında verilmektedir. Ambaroba Heyelanının Nisan 2013 dışındaki tematik haritalarının yanısıra aşağıdaki diğer modeller de üretilmiştir.

- Adatepe Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),
- Şevketiye Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),
- Güzelyalı Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016),
- İntepe Heyelanı: 3D İHA modeli (Nisan 2013, Nisan 2014, Nisan 2015, Nisan 2016).

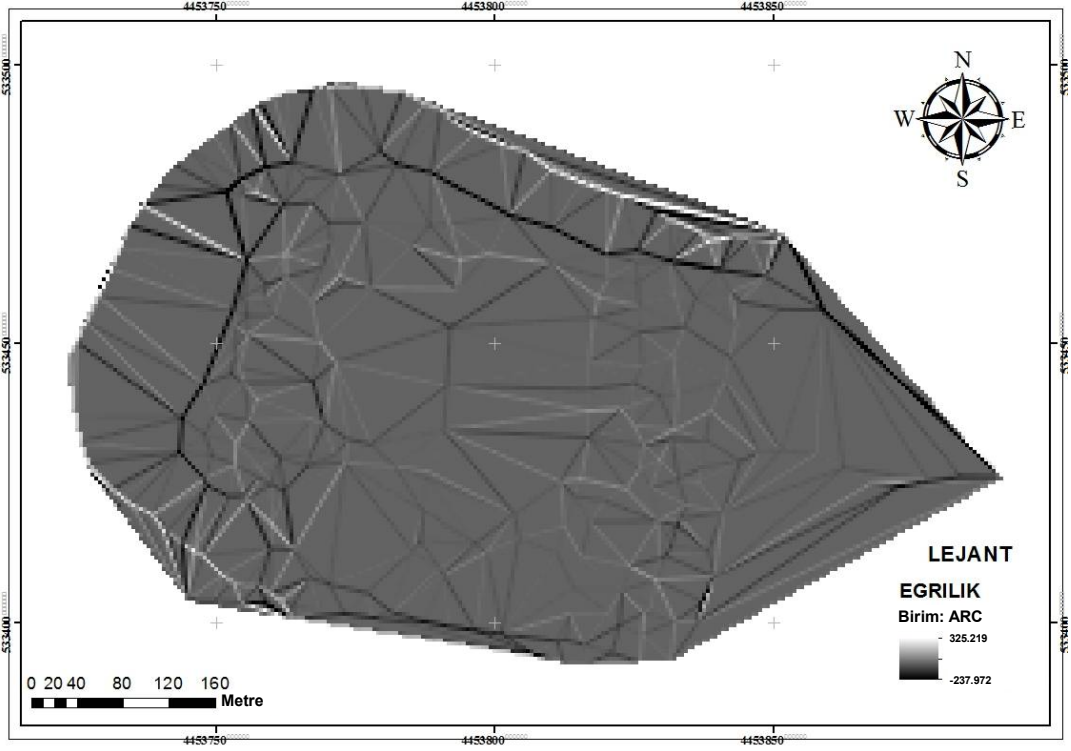
Tüm tematik haritalar hazırlanarak dijital ortamda kaydedilmiş olup multi-media ortamı olarak sisteme yüklenmiştir.



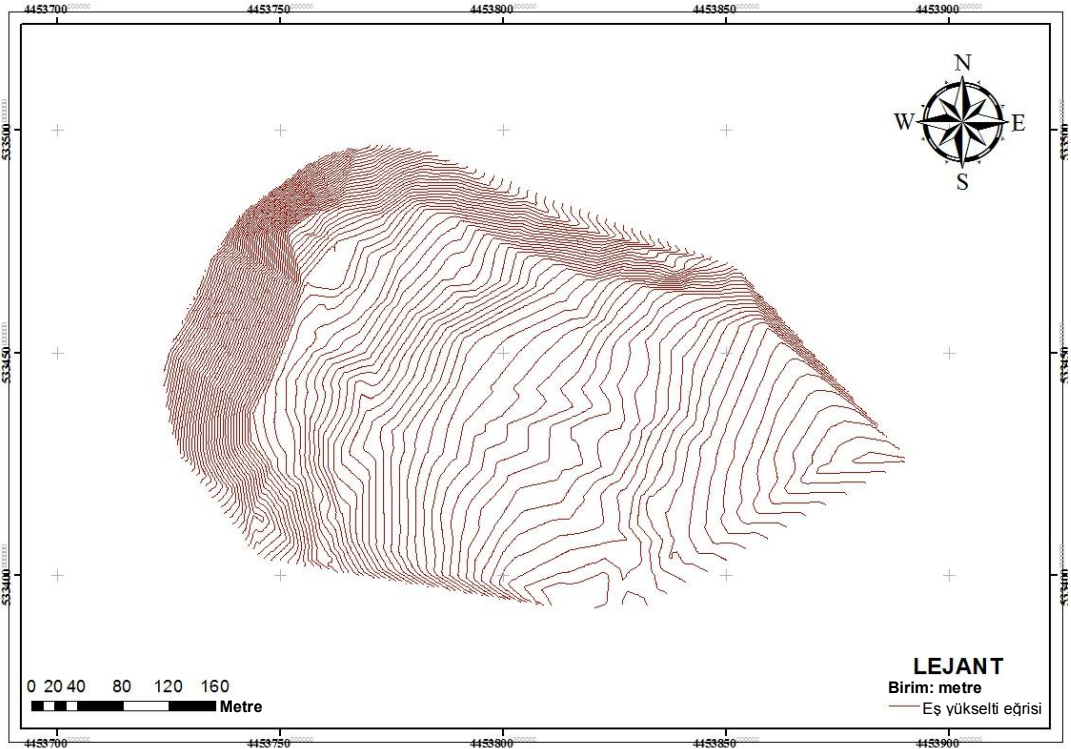
Şekil 94. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş sayısal yükseklik modeli



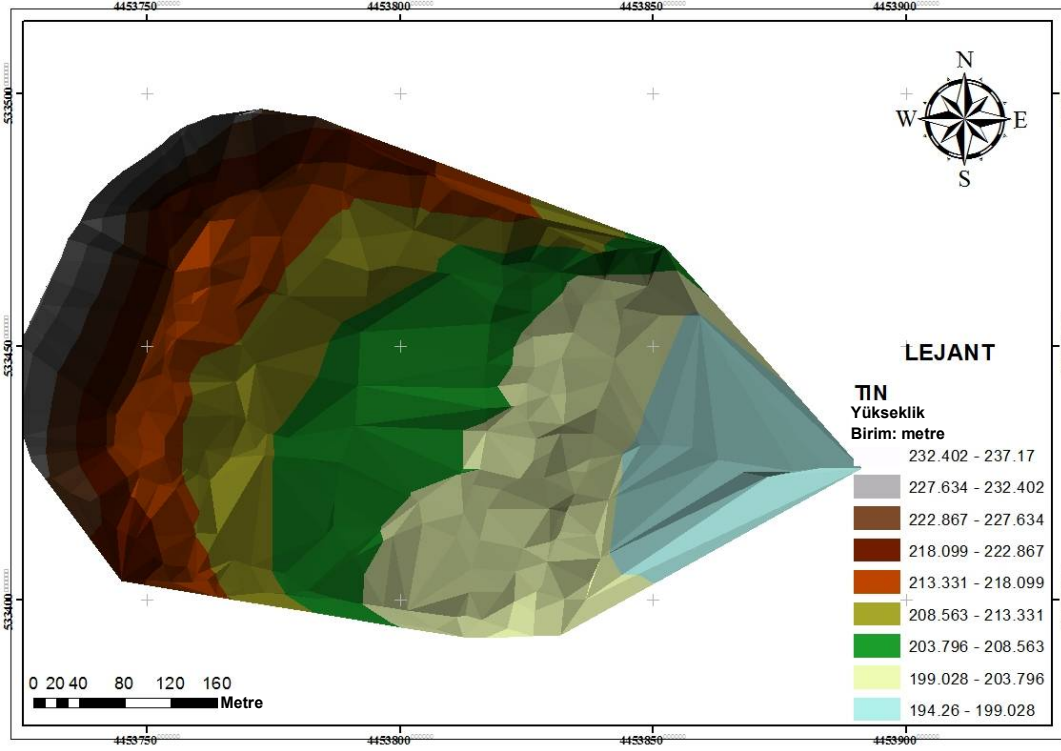
Şekil 95. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik eğim haritası



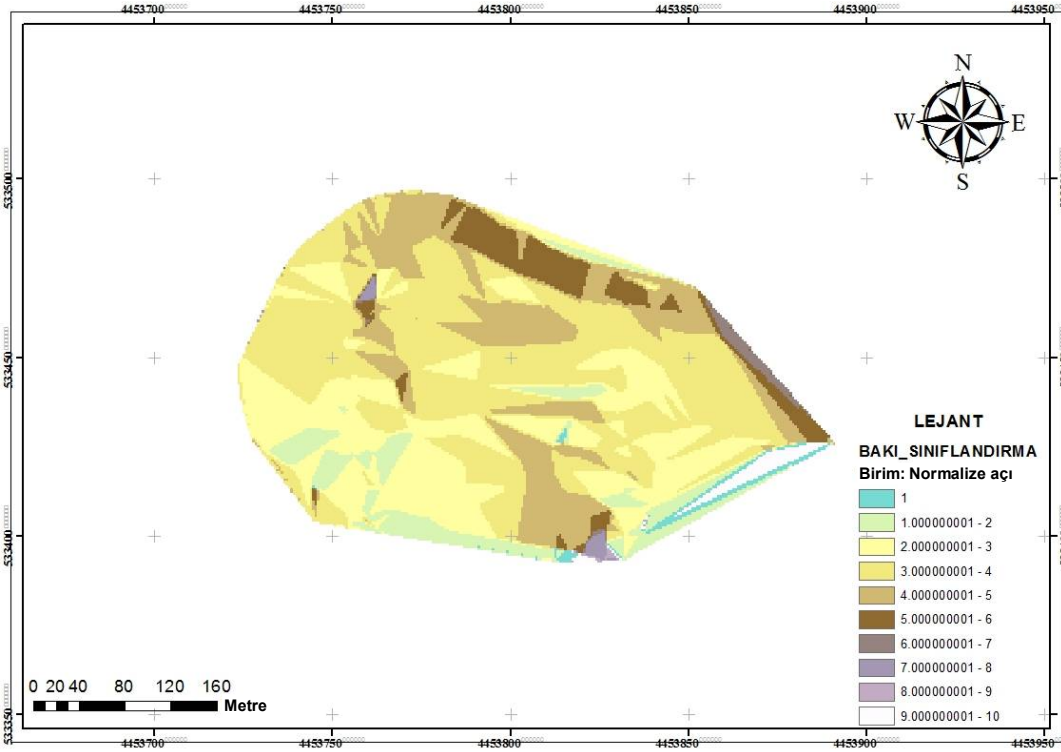
Şekil 96. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik eğrilik modeli



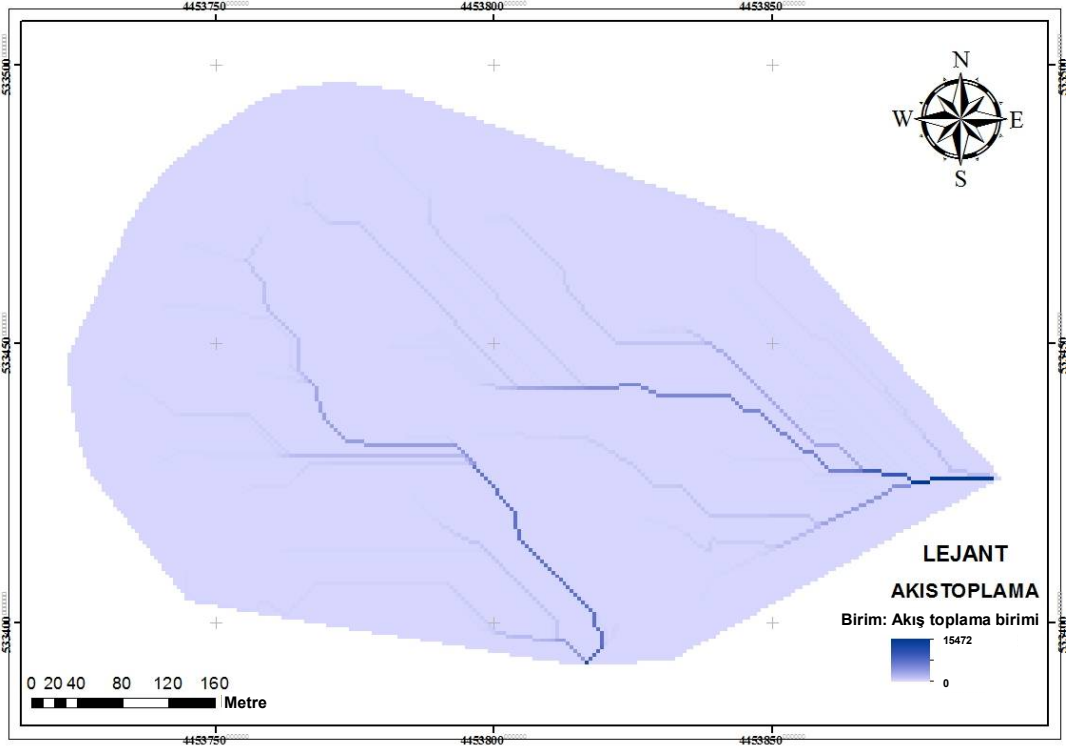
Şekil 97. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik eş yükseklik modeli



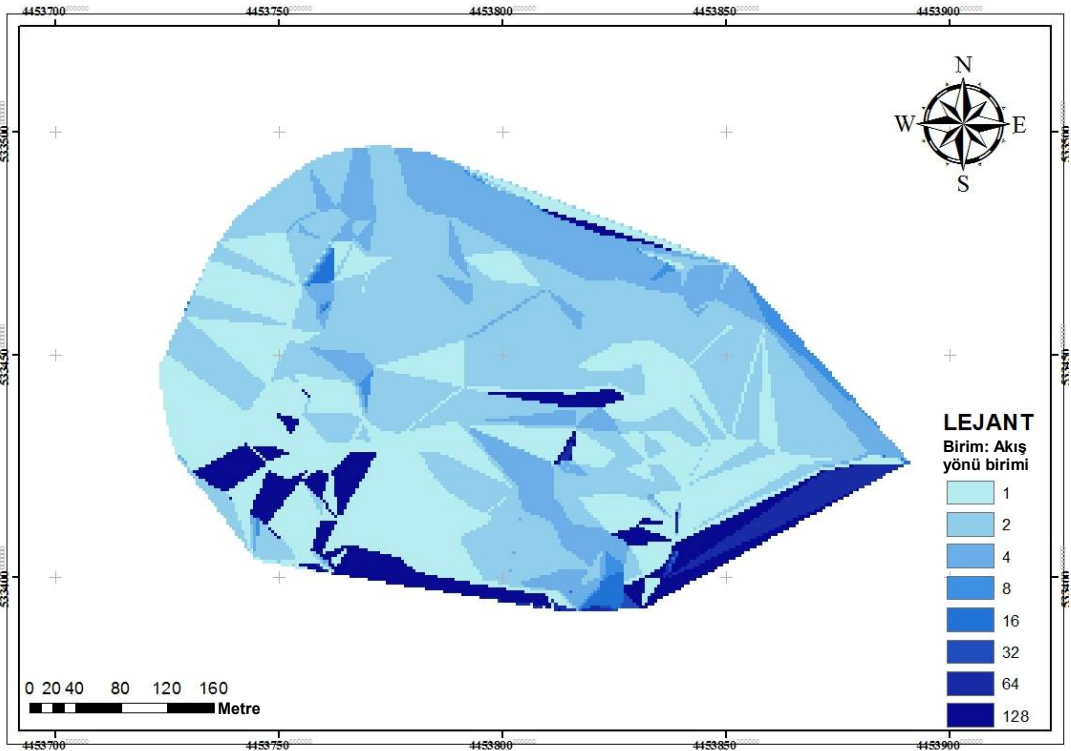
Şekil 98. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik TIN modeli



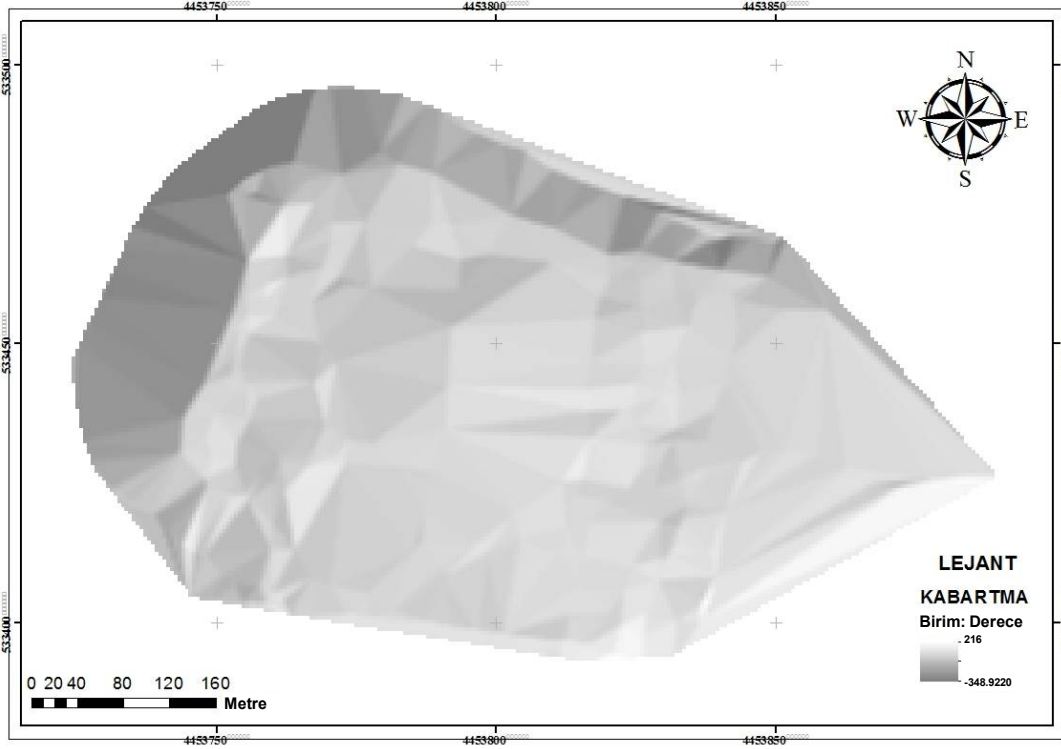
Şekil 99. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik baki modeli



Şekil 100. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik akış toplama modeli



Şekil 101. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik akış yönü modeli

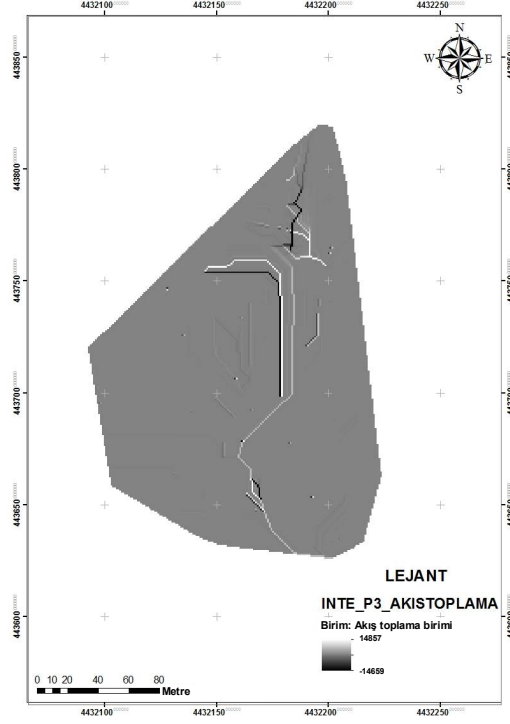


Şekil 102. Ambaroba Heyelanı Nisan 2013 döneminde İHA verisinden üretilmiş tematik kabartma modeli

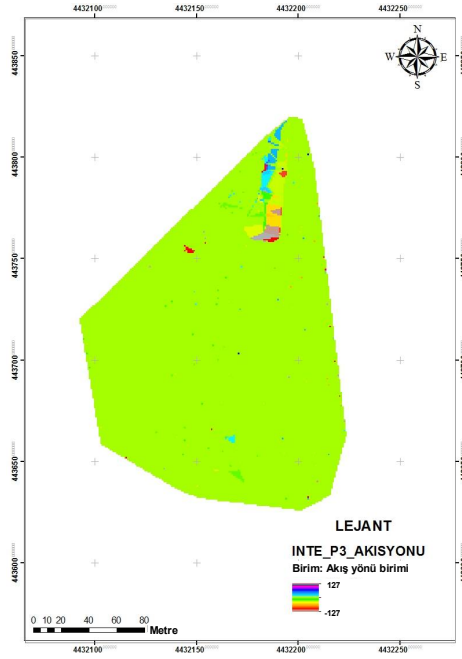
Yukada sözü edilen algoritma ile çalışılan heyelan alanlarının 2013, 2014, 2015 ve 2016 yıllarındaki arazi modelleri ve tematik haritaları farklıdır. 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yılları farkları ile aktif heyelan hareketlerinin yüzeye ve dolayısıyla üretilen 3D modellere olan yansımaları da ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda;

- Ambaroba Heyelanı: 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yılları farkları,
- Adatepe Heyelanı: 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yılları farkları,
- Şevketiye Heyelanı: 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yılları farkları,
- Güzelyalı Heyelanı: 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yılları farkları,
- İntepe Heyelanı: 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yılları farkları detaylı olarak çalışılmıştır.

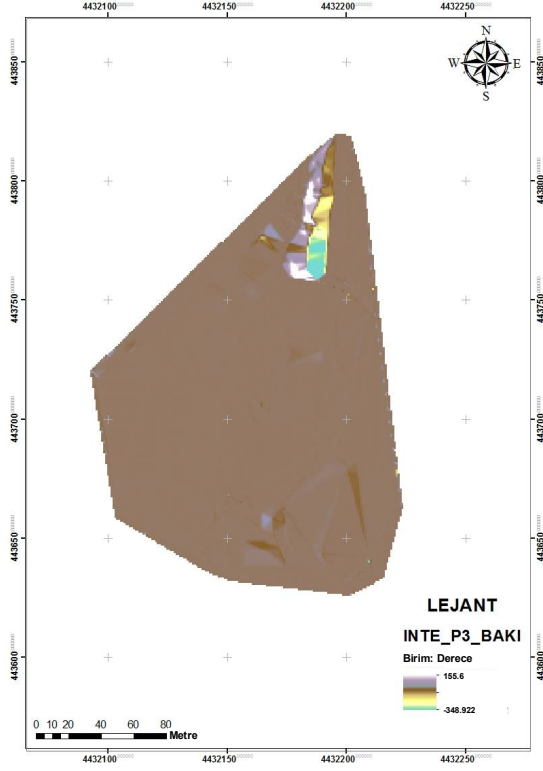
Bu kapsamda, İntepe Heyelan alanında 2013-2015 yılları arasındaki değişimin İHA ile üretilen 3D modellerde etkileri Şekil 103 ile Şekil 109 arasında sunulmaktadır. Farklandırma yöntemi ile elde edilmiş sırasıyla akış toplama, akış yönü, bakı, sayısal yükseklik modeli, eğim, eğrilik ve kabartma haritalarında aktif İntepe Heyelanının 2013 ve 2015 yılları arasındaki etkileri görülmektedir.



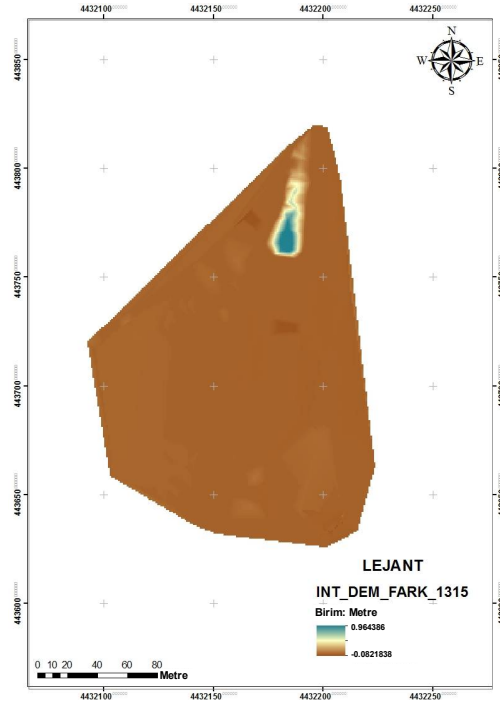
Şekil 103. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik akış toplama modelleri farkı



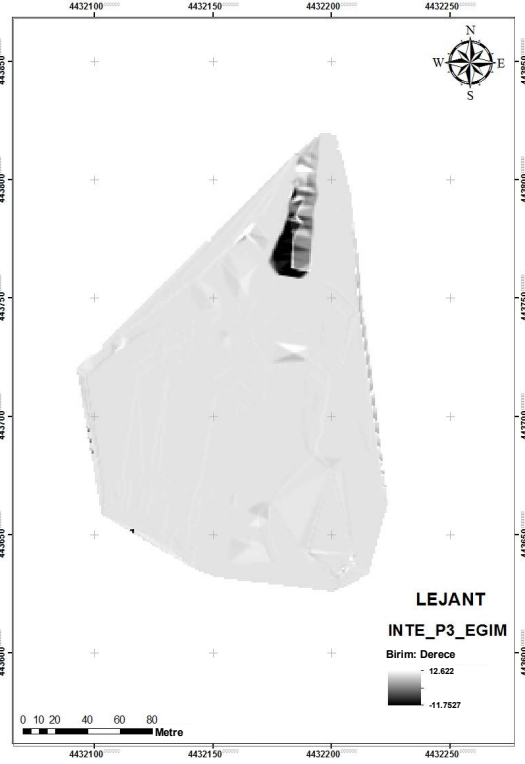
Şekil 104. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik akış yönü modelleri farkı



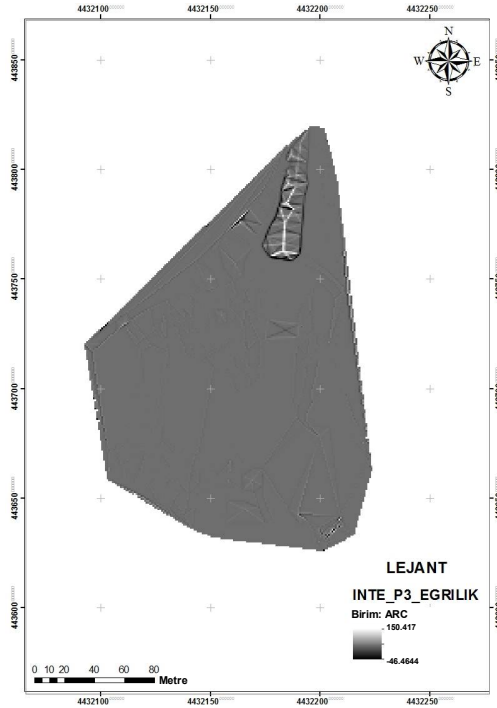
Şekil 105. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik bakı modelleri farkı



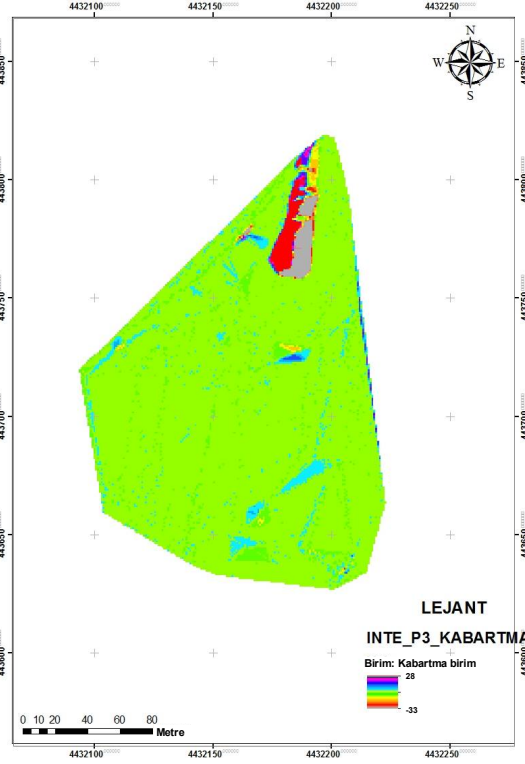
Şekil 106. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik sayısal yükseklik modelleri farkı



Şekil 107. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik eğim modelleri farkı



Şekil 108. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik eğrilik modelleri farkı



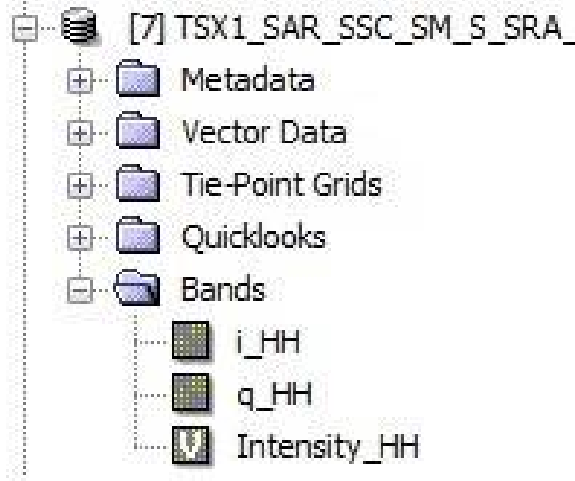
Şekil 109. İntepe Heyelanı 2013 ve 2015 yıllarında İHA verisinden üretilmiş tematik kabartma modelleri farkı

Ambaroba, Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İntepe Heyelanlarına ilişkin 2013-2014, 2013-2015 ve 2013-2016 yıllarına ilişkin tüm diğer karşılaştırmalarda detaylı olarak çalışılarak tematik fark haritaları üretilmiştir. Hazırlanmış olan bu tematik fark haritaları dijital ortamda kaydedilmiş olup multi-media ortamı olarak sisteme yüklenmiştir.

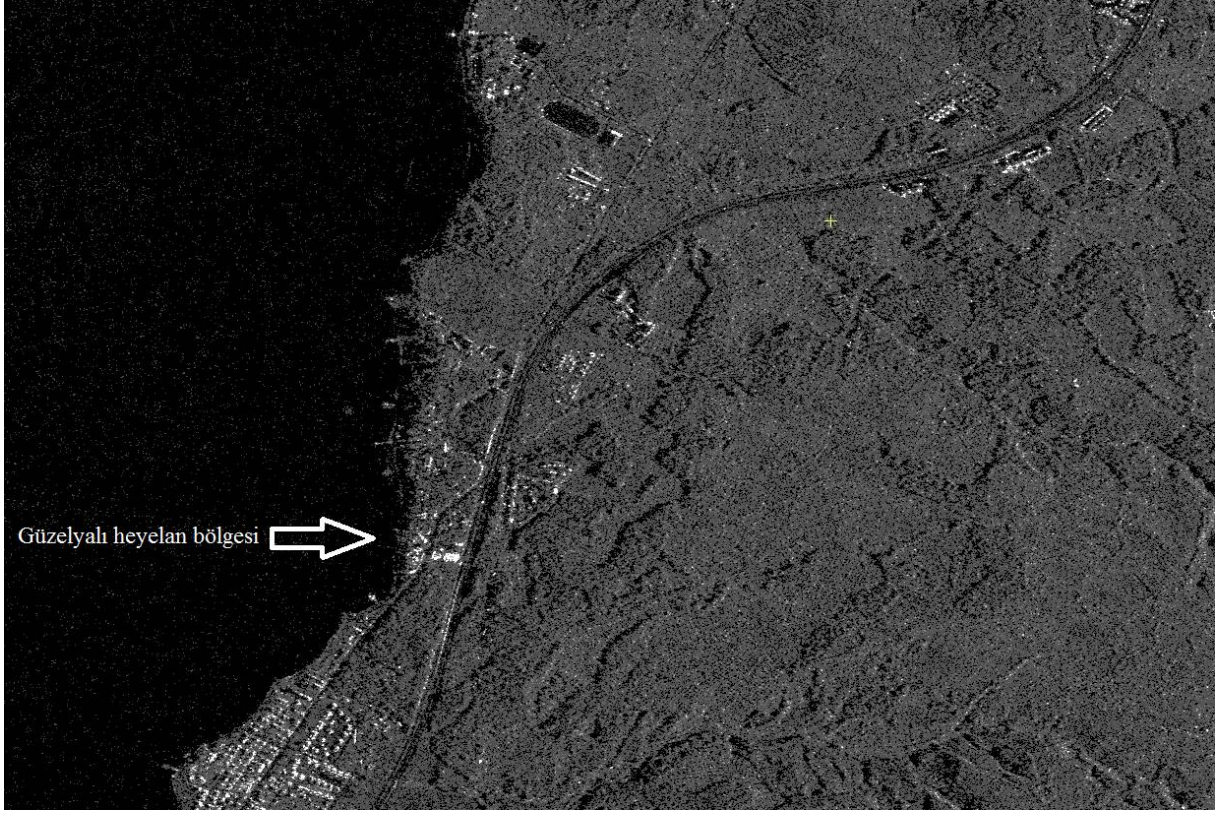
Üretilen fark haritalarında yüzey deformasyonu olarak ortaya belirlenen alanların koordinat değerleri ile jeodezik GPS/GNSS yöntemiyle önceki bölümlerde gerçekleştirilen deformasyon analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Tematik fark haritalarında genellikle çökme veya kabarma biçiminde ortaya çıkan bozulmaların bölgeye civarındaki izleme noktası sonuçlarıyla uyumlu olduğu aradaki farkların birkaç santimetre düzeyinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak İHA destekli fotogrametrik yöntemlerle hızlı, etkin ve ekonomik olarak üç boyutlu sayısal arazi modellerinin güncel ve anlık üretilebilirliği test edilmiştir. Bunun yanısıra farklı dönemlerde periyodik olarak üretilen sayısal arazi modelleri ve diğer tematik altlıklarla da heyelan yapısının ortaya çıkarılması, heyelan alanlarının modellenmesi, yatay ve düşey kütle hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilirliği somut olarak ortaya konulmuştur.

5. İNTERFEROMETRİK YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (INSAR) TEKNİĞİ İLE HEYELAN MODELLEME

Interferometrik SAR görüntüleri, arazideki deformasyonları ortaya koyması nedeniyle heyelan izleme çalışmalarında kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 17 Eylül 2014, 25 Şubat 2015 ve 3 Ocak 2016 tarihli Terrasar-X Single Look Complex (SLC) Stripmap Single Polarizasyon (HH) Ascending görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 110'da, projeye ait SLC SAR veri yapısı gösterilmektedir. Genliği temsil eden bant i_{HH} gerçel kısmı, fazı temsil eden bant q_{HH} sanal kısmı ve bu iki bantın karelerinin toplamı şeklinde oluşturulmuş temsili bant Intensity_HH görülmektedir. Genlik görüntüsü arazinin fiziksel yapısı hakkında önemli bilgiler içermektedir. Güzelyalı bölgesinin 17 Eylül 2014 tarihine ilişkin yakınlaştırılmış genlik görüntüsü Şekil 111'de görülmektedir. Çalışma kapsamındaki görüntüler yersel arazi çalışmaları ile senkronize temin edilmiştir. Yersel çalışmalar ile zamansal farklar sırasıyla 4 gün, 5 gün ve 4 gün olarak belirlenmiştir. Interferometri üretimi için Şekil 112'de görülen 1 saniye (30 m) çözünürlüklü SRTM sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. 23 Eylül 2014 tarihli yükseklik modeli USGS Earth Explorer sitesinden indirilmiştir.



Şekil 110. SLC veri yapısında yer alan genlik bandı, faz bandı ve temsili üretilen yoğunluk bandı



Şekil 111. Güzelyalı bölgesine ait 17 Eylül 2014 tarihli radar görüntüsünden üretilen arazinin fiziksel yapısı hakkında bilgi veren genlik görüntüsü



Şekil 112. Heyelan bölgelerine ait Google Earth uydu görüntüsü ve kullanılan 23 Eylül 2014 tarihli sayısal yükseklik modeli

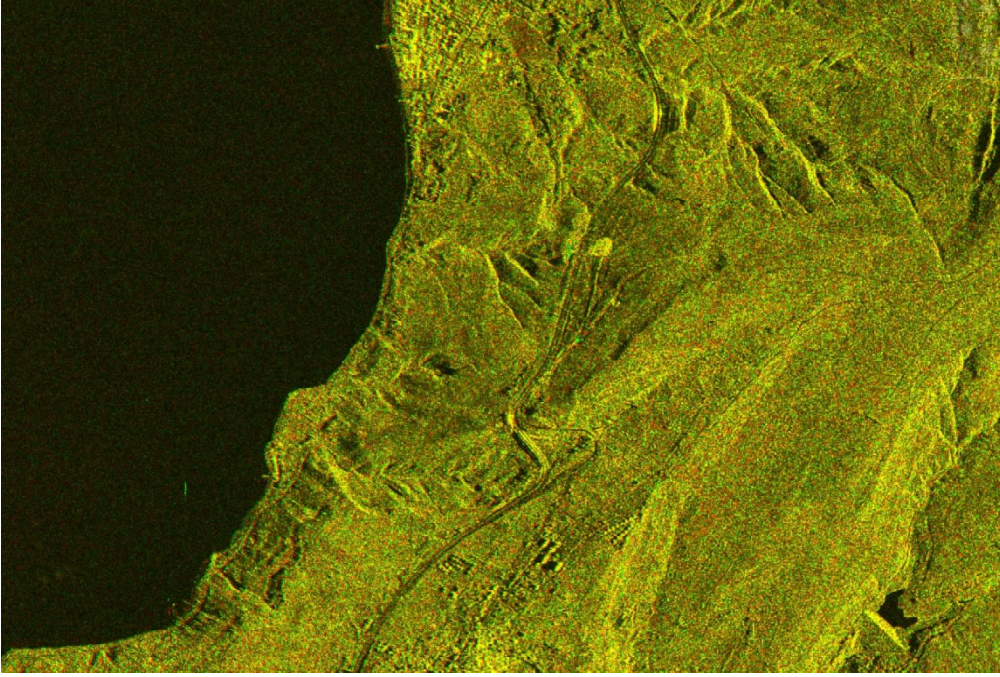
ENVI programında işlenen görüntülere ait girdi-çıkı örnekleri aşağıda belirtilmiştir. Öncelikle veriler programın çalışabileceği formata dönüştürülmüştür. Interferometri oluştururken görüntüler master ve slave olarak ele alınmıştır. Tablo 31'de master ve slave veri için dönüşüm işlemi gösterilmektedir.

Tablo 31. Veri aktarımı tablosu

Özellik	Tür
Sensör	Terrasar-x1
Veri tipi	ssc-sm single polarization
Parametre dosyası	TSX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20140917T041950.xml
Çıktı dosyası	master / slave

InSAR yöntemi ile sayısal yükseklik modeli üretiminde uzak baz uzaklıkları daha ideal iken, deformasyon analizlerinde kısa baz uzaklıkları tercih edildiğinden görüntü çiftleri arasındaki bazın kritik baz değerinin altında kaldığı denetlenmiştir. Bu denetlemeye göre kritik baz değeri 3500 m civarında iken, proje için kullanılan SAR görüntü çiftleri 200 m ile 500 m arasında tespit edilmiştir.

İnterferometrik SAR görüntülerini oluşturmadan önce ikinci aşama olarak master ve slave görüntüler coregistering olarak adlandırılan geometrik açıdan karşılıklı kayıtlama işlemi yapılmıştır. Coregistering işlemi interferometrik çalışmaların iyi sonuçlanması açısından önem taşımaktadır. Bu işlemde öncelikle master görüntü üzerindeki karakteristik noktalar belirlenir. Daha sonra bu noktaların slave görüntüdeki karşılıkları cross-correlation yöntem ile bulunur. Geniş alanları görebilen SAR görüntüleri için en fazla 1000 karakteristik nokta olacak şekilde eşleme ile coregistering işlemleri yapılmıştır. Arama pencerelerinin boyutları 128x128 piksel olarak seçilmiştir. Ancak master ve slave görüntüdeki offsetin görece fazla olduğu durumlarda pencere boyutları 512 piksele kadar artırılmıştır. Eşlemedeki hata ölçütü olarak 0.01 piksel karesel ortalama hata (KOH) değeri kullanılmıştır. Kayıtlama sonucu oluşturulan genlik görüntülerinin farklı kırmızı-yeşil-mavi bantlarında karşılaştırılması arazideki fiziksel değişimler hakkında bilgi vermektedir. Şekil 113'te görüldüğü gibi İntepe heyelan bölgesinde master görüntü olarak 17 Eylül 2014 için kırmızı renk, slave görüntü olarak 25 Şubat 2015 için sarı renk atanırsa, sarı rengin yoğun olması eşlemenin iyi yapıldığı anlamına gelmektedir. Kırmızı ve yeşil renkler ise arazideki değişim alanlarına ve diğer bir ifadeyle oluşan farklılıklara işaret etmektedir.

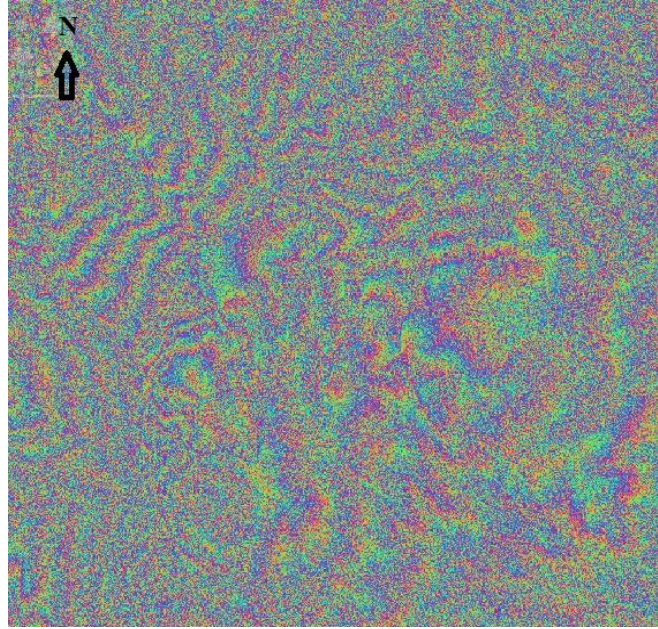


Şekil 113. İntepe heyelan bölgesine ait 17 Eylül 2014 ve 25 Şubat 2015 tarihli radar görüntülerinden üretilen karşılıklı kayıtlama yapılmış iki genlik görüntüsü

Bir sonraki aşamada, master görüntü ile slave görüntünün karmaşık eşleniğinin çarpımı sonucu elde edilen interferogram oluşturulur. InSAR verileriyle eş zamanlı olarak toplanan GPS/GNSS verilerini kullanarak gerçekleştirilen jeodezik deformasyon analizi sonucu elde edilen obje noktalarına ilişkin yatay ve düşey hız alanları 2013 ile 2016 yılları arasında olup deformasyon analizlerinde başlangıç zaman epöğü olarak 2013 yılı alınarak 2016 yılına kadar olan noktasal mutlak deformasyon hareketleri saptanmıştır. Bununla uyumlu olması dolayısıyla InSAR analizleri, görüntülerin ilk temin edildiği zaman olan 17.09.2014 tarihinden itibaren gerçekleştirilmiş olup bu tarih her iki interferogram için master olarak seçilmiştir (başlangıç zaman epöğü). Burada temel amaç 2014 – 2015 değişimini ve 2014 – 2016 değişimini saptayarak sonuçlarla özdeş olan GPS/GNSS deformasyon analiz sonuçlarını karşılaştırabilmektir. Bunun dışında, 2014-2016 görüntü çifti analizini önerilen 2015-2016 görüntü çiftinin analizlerinin etkileri kapsamaktadır. Adatepe ve Şevketiye bölgelerine ait 17 Eylül 2014 ve 25 Şubat 2015 tarihli radar görüntülerinden üretilen interferogram faz görüntüsü Şekil 114’te görülmektedir. Daha sonra Şekil 114’te görülen interferogram düzleştirilmiş (yeryüzü eğikliği nedeni ile oluşan etki), SYM ile topoğrafik ve geometrik faz elemine edilerek yeniden elde edilmiştir. Şekil 115’te Adatepe ve Şevketiye bölgelerine ait 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen sonuç interferogram görülmektedir (Tablo 32). Topoğrafik fazın elimine edildiği interferometrik görüntüler iki farklı zamanda arazide meydana gelen fiziksel farklılaşmayı ortaya koyar. Bu etkiler zamana bağlı

bitki örtüsündeki değişimlerin yanısıra yapay veya doğal nedenlerle meydana gelen topoğrafik değişimler, yükselme ve çökme şeklindeki yeryüzü deformasyonları içerebilmektedir. Şekil 115'teki renk skalasında, arazideki değişime bağlı yükselme ve çökmeler sırasıyla mavi ve kırmızı renklerle temsil edilmektedir.

İnterferogram ile birlikte master ve slave görüntüler arasındaki uyumluluk (coherence) belirlenmiştir. Master ve slave arasındaki uyumluluk, 0-1 değerleri arasındaki gri seviyeli bir uyumluluk görüntüsü ile temsil etmektedir. "0" değerini temsil eden siyah renkler farklı tarihli iki görüntü arasında farklılaşma olduğunu ifade ederken, "1" değerini temsil beyaz renkler ise iki görüntünün birbiriyle özdeş olduğunu belirtmektedir. Şekil 116'da Ambaroba bölgesine ait ait 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen uyumluluk görüntüsü verilmiştir. Uyumluluğu azaltan sebepler, görüntü zaman aralıklarının fazla olmasından ve yörünge hatalarından kaynaklanabilir.



Şekil 114. Adatepe ve Şevketiye bölgelerine ait 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen topoğrafik fazı da içeren interferogram faz

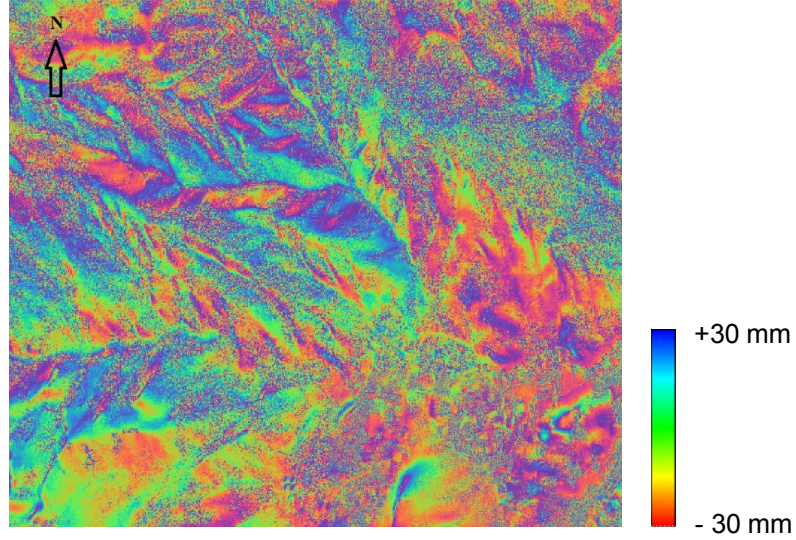
Tablo 32. Interferogram ve uyumluluk tablosu

Özellik	Tür
Girdi dosyası	master, slave, dem
Çıktı dosyası	interferogram, coherence

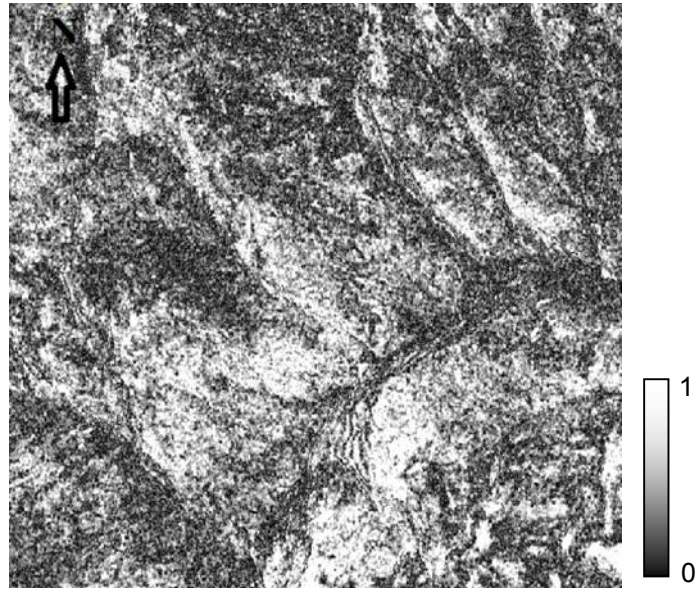
Oluşturulan interferogramların normal baz, kritik baz ve ambiguity değerleri Tablo 33'te görülmektedir.

Tablo 33. Görüntü çifti arasında hesaplanan değerler

Özellik	Int. I	Int. II
Tarih Aralığı	17.09.2014-25.02.2015	17.09.2014-03.01.2016
Normal Baz (m)	225.818	89.258
Kritik Baz (m)	3472.042	3473.564
2 PI Ambiguity Height (m)	15.411	45.236



Şekil 115. Adatepe ve Şevketiye bölgelerine ait 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen topoğrafik etkinin giderildiği sonuç interferogram örneği



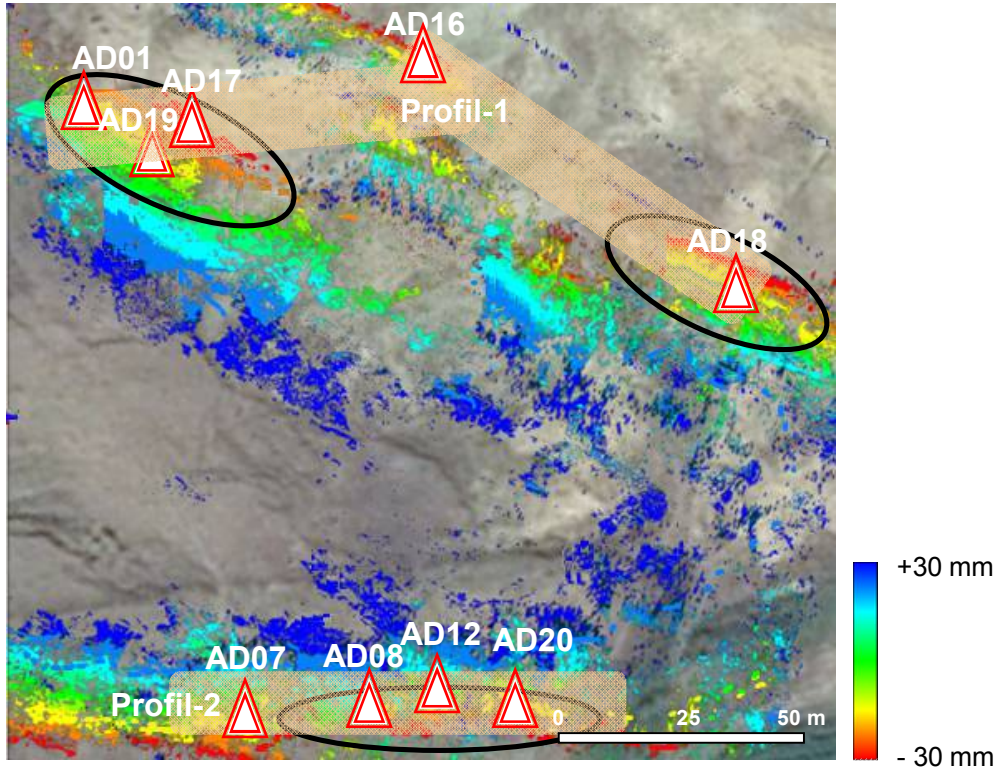
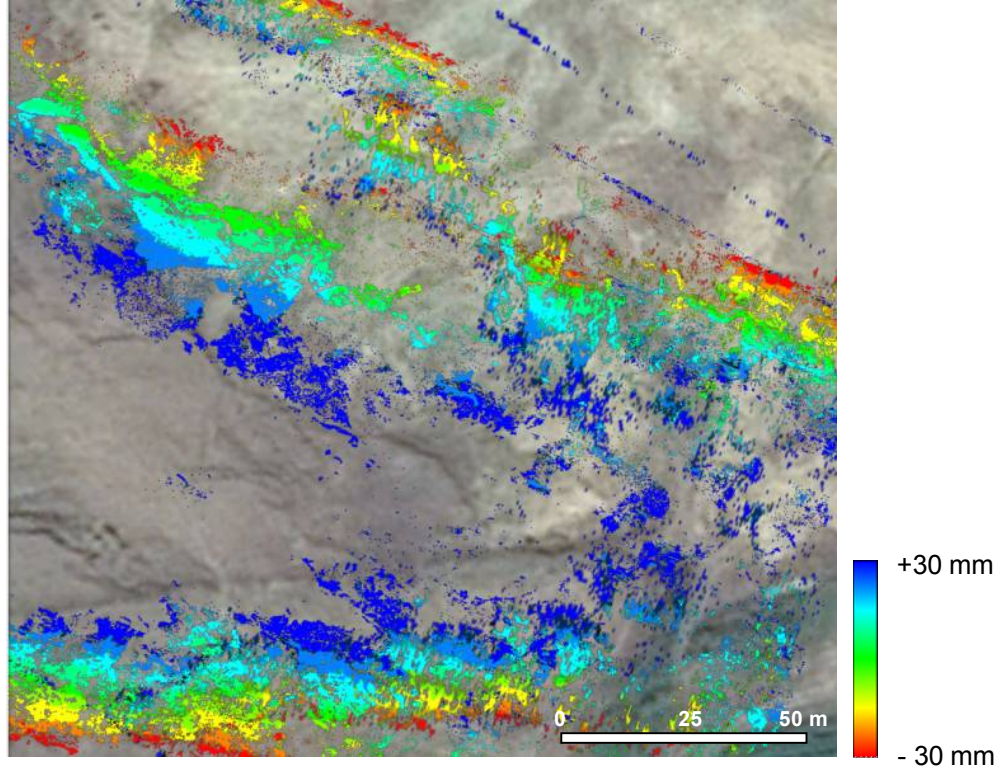
Şekil 116. Ambaroba bölgesine ait 23 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden elde edilen uyumluluk görüntüsü

Interferometrik fazın, zamansal değişim, geometrik değişim, arazideki bitki örtüsündeki değişim ve işleme hatalarından kaynaklanan gürültüyü azaltmak için adaptif filtreleme uygulanmıştır. Ayrıca interferometrik uyumluluk faz kalitesini ortaya koymak için hesaplanmıştır (Tablo 34). Daha sonra ise faz açılımı ile 2π modülündeki faz belirsizliği çözülmüştür.

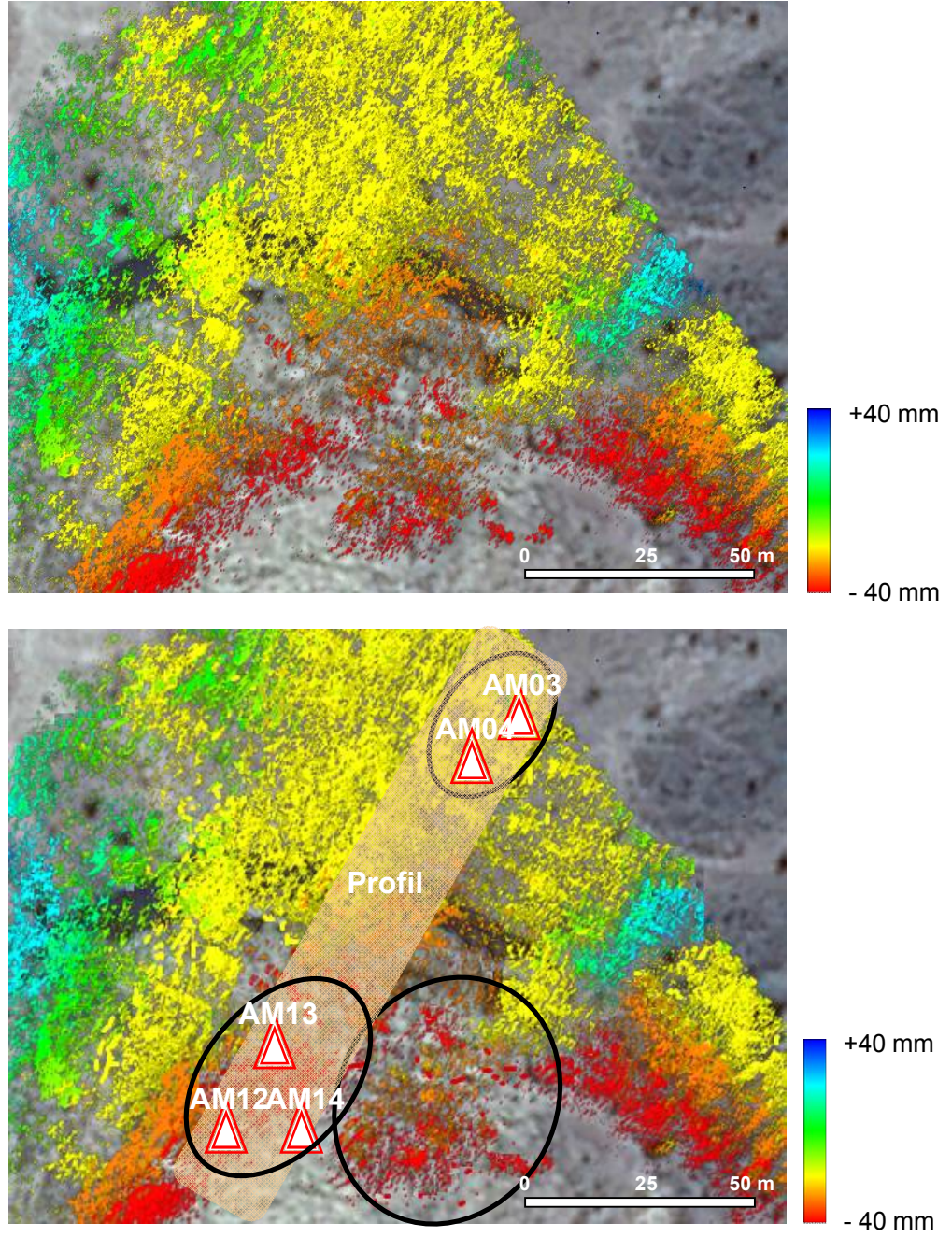
Tablo 34. Filtrelenmiş interferogram

Özellik	Tür
Girdi dosyası	interferometrik faz (deformasyonu temsil eden)
Filtre	Adaptif filtre
Çıktı dosyası	filtre edilmiş interferometrik faz

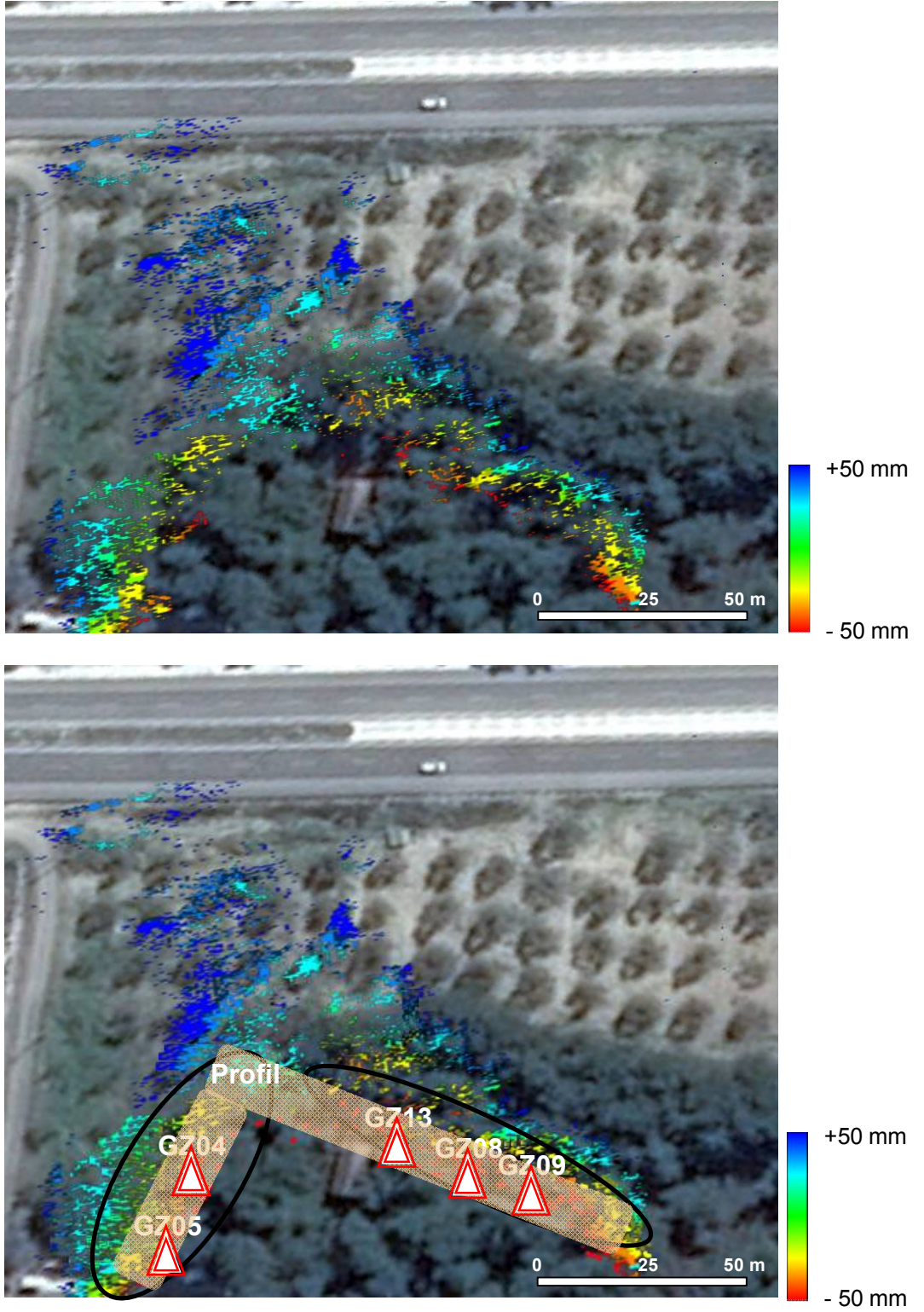
Tüm heyelan alanları için değerlendirmelerden elde edilen InSAR çökme sonuçları Şekil 117, Şekil 118, Şekil 119, Şekil 120 ve Şekil 121'de Google Earth uydu görüntüleri üzerinde görülmektedir. İlk görüntüler 17 Eylül 2014 ve 25 Şubat 2015 çiftinden, ikinci görüntüler 17 Eylül 2014 ve 3 Ocak 2016 çiftinden elde edilmiştir. İki çıktı arasındaki yer alan ve deformasyonların devam etmesine işaret eden önemli farklar ikinci çıktılar üzerinde işaretlenmiştir. Şekil 117, 118, 119, 120 ve 121'de sunulan InSAR sonuçları üzerinde denk gelen GPS/GNSS noktaları gösterilmiştir. Bu noktalar Şekil 117'de Adatepe heyelan alanı için AD01, AD07, AD08, AD12, AD17, AD18, AD19 ve AD20; Şekil 118'de Ambaroba heyelan alanı için AM03, AM04, AM12, AM13 ve AM14; Şekil 119'da Güzelyalı heyelan alanı için GZ04, GZ05, GZ08, GZ09 ve GZ13; Şekil 120'da Şevketiye heyelan alanı için SV02, SV03, SV12, SV13 ve SV14; Şekil 121'de İntepe heyelan alanı için IN09, IN10 ve IN11'dir.



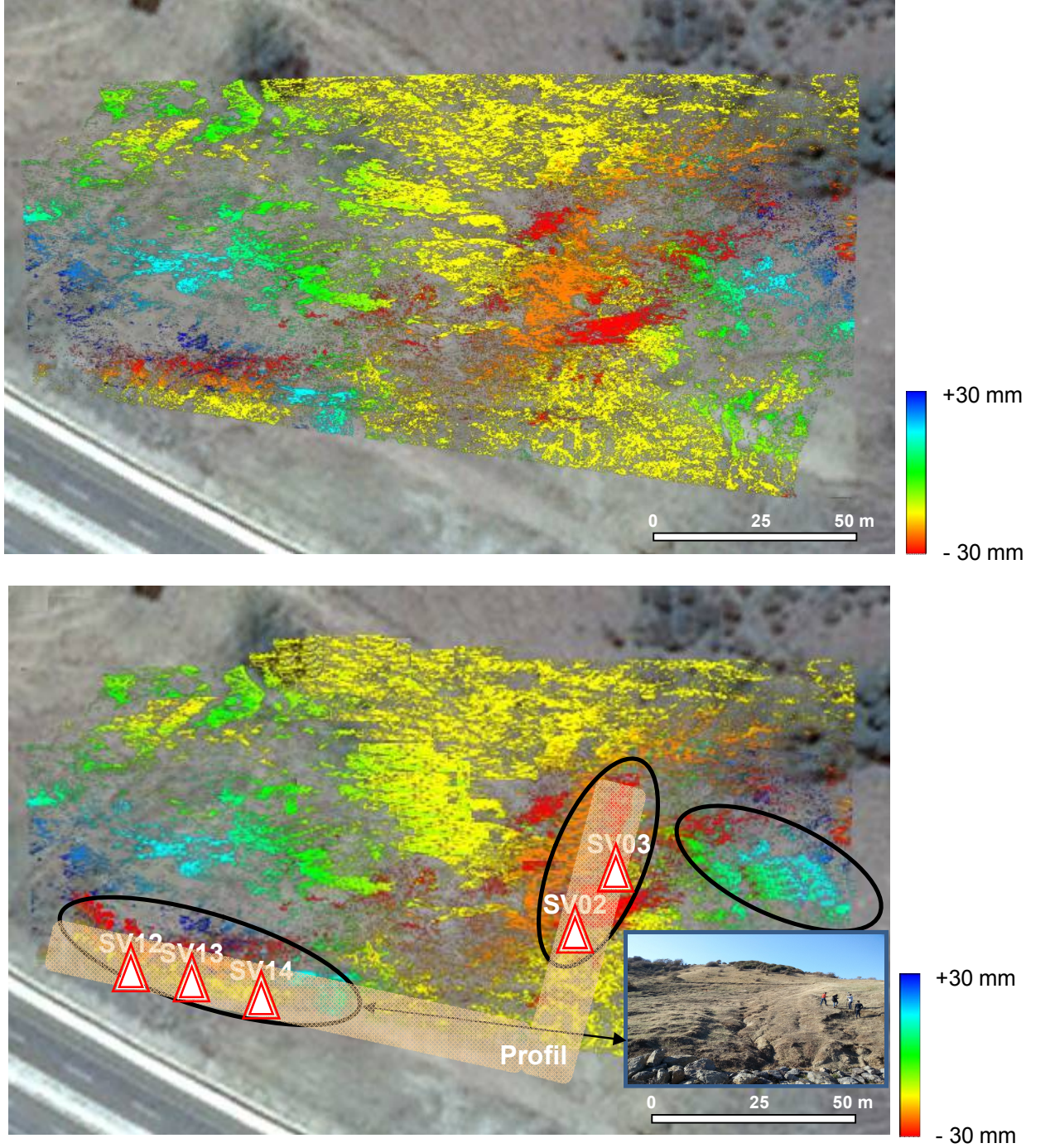
Şekil 117. Adatepe heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri



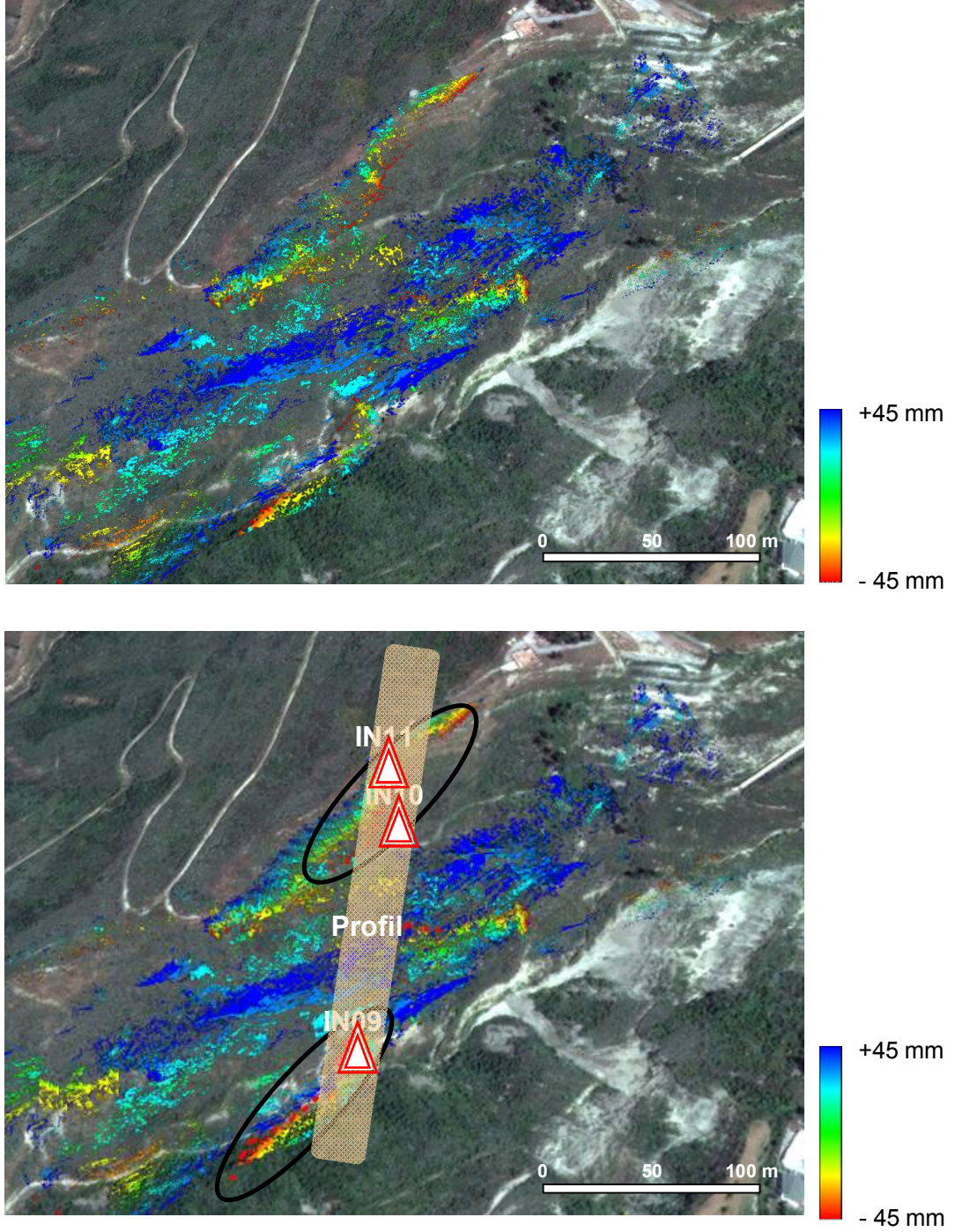
Şekil 118. Ambaroba heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri



Şekil 119. Güzelyalı heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 3 Ocak 2016 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri



Şekil 120. Şevketiye heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri



Şekil 121. İntepe heyelan bölgesi için 17 Eylül 2014 ile 3 Ocak 2016 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri

Şekil 120'de görülen Şevketiye Heyelan alanına ilişkin 17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 tarihli görüntülerden üretilen arazi değişimleri sonuçlarında, bazı alanlarda yükselme ve/veya çökmelerin iç içe kümelendiği diğer bir ifadeyle değişimlerin birbirine çok yakın noktalarda farklı yönlerde meydana geldiği görülmektedir. Arazi çıplak gözle incelendiğinde hareket

yönlerinin farklı karakterler gösterecek ortaya çıktığı açıktır (Şekil 120). Bunun yanı sıra eş zamanlı olarak gerçekleştirilen jeofizik öz direnç ölçülerinde söz konusu alanın heyelanın topuk bölgesine denk geldiği ve kompleks deformasyonun süregeldiğini doğrulamaktadır (Şekil 60-62).

Uyumluluk (coherence) görüntüsü interferogram kalitesini belirlemek için kullanılmıştır. Burada yer alan korelasyon, olası ölçme hatalarının kestirilmesinde kullanılmıştır. Sonuç raporundaki radar çiftlerinden üretilmiş uyumluluk görüntüleri incelendiğinde zamansal aralığın kısa olduğu durumlarda (17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 arası) ortalama 0.425 değeri ile yüksek uyumluluk söz konusudur. Buna karşın daha uzun zamansal aralığa sahip görüntü çiftinde (17 Eylül 2014 ile 3 Ocak 2016 arası) ortalama uyumluluk 0.271 değerine düşmektedir.

Diğer yandan söz konusu görüntü çiftlerinin konumsal aralıkları karşılaştırıldığında; kısa zaman aralığı için 225.8 metre, daha uzun zaman aralığı içinse 89.3 metre ile konumsal açıdan çok etkin bir farkın olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak uyumluluğun dolayısıyla standart sapmanın doğruluk ölçütü olarak göz önüne alındığında zamansal çözünürlüğün interferometre kalitesi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Tablo 35 incelendiğinde birinci interferogramın (17 Eylül 2014 ile 25 Şubat 2015 arası) daha yüksek uyumluluk göstermesi nedeniyle maksimum-minimum aralığı geniştir. Dolayısıyla standart sapma değeri de yüksektir. İkinci interferogramda (17 Eylül 2014 ile 3 Ocak 2016 arası) ise uyumluluğun az olması sebebiyle maksimum-minimum aralığı daralmış ve standart sapma değeri daha düşüktür.

Tablo 35. Korelasyon ve standart sapmaları

İnt.No	Master	Slave	min	maks.	ort	Std. sapma
1	17.09.2014	25.02.2015	0.046	0.938	0.582	0.235
2	17.09.2014	03.01.2016	0.052	0.694	0.312	0.112

Elde edilen sonuçlar irdelenecek olursa renk tonu kırmızıya yaklaştıkça çökme büyüklüğü artmaktadır. Buna karşın mavi renk tonları yükselmeye bağlı olarak koyulaşmaktadır. Dolayısıyla şekillerdeki ölçek barlarında yeşil renkten kırmızıya doğru çökme ve yeşilden maviye doğru yükselti ifade edilmektedir. Farklı tarihlerdeki SAR uydu görüntülerinden elde edilen sonuçlarda ortaya çıkan bu yükselti ve/veya çökme; aktif heyelan alanlarındaki

topoğrafyaya ilişkin kütle değişiminin büyüklüğünü göstermektedir. Bu projeden elde edilen sonuçlara ilişkin yükselti - çökme değişimlerin büyüklükleri sayısal olarak Şekil 117 – 121’de sunulan bar tipi lejantlarda verilmektedir. Çalışma bölgesinde tesis edilen ve her kampanya döneminde izlenen GPS/GNSS noktalarında meydana gelen düşey yer değiştirmeler InSAR görüntüsü bakış doğrultusunda (Line of Sight) indirgenmiştir. Üç boyutlu GPS/GNSS hızları (5.1) ve (5.2) eşitlikleri kullanılarak tek boyutlu hızlara dönüştürülmüştür. Yüzey deformasyonunun üç boyutlu ortogonal bileşenleri (doğu, kuzey ve yükseklik bileşenleri) $D=(d_x, d_y, d_z)^T$ biçimindedir. Dolayısıyla elde edilen D vektörü LOS doğrultusuna aşağıdaki eşitlikler yardımıyla dönüştürülür:

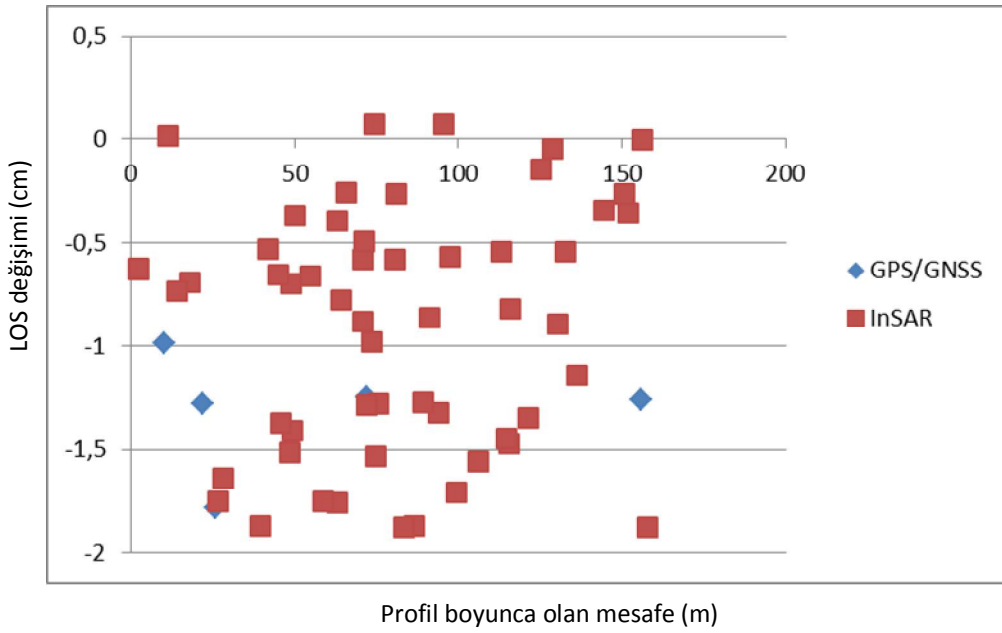
$$d_{LOS} = s^T D \quad (5.1)$$

$$s = (-\cos \alpha_H \sin \theta \quad \sin \alpha_H \sin \theta \quad \cos \theta)^T \quad (5.2)$$

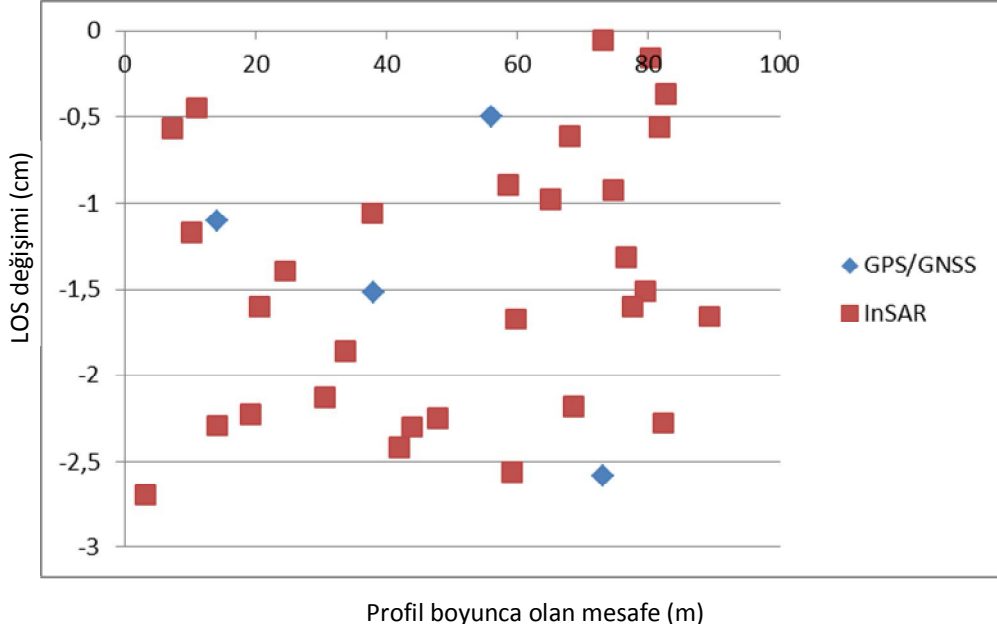
Eşitliklerde geçen d_{LOS} ; LOS yönündeki deformasyon miktarı, s ; uydu birim vektörü, D ; üç boyutlu deformasyon (hız) vektörüdür (α_H ve θ master görüntüsünün uydu parametrelerinden elde edilen bakış ve geliş açısı değerleridir).

(5.1) ve (5.2) eşitlikleri yardımıyla LOS değerlerine dönüştürülmüş GPS/GNSS değerleri ve InSAR sonuçları sırasıyla Adatepe Heyelanı için Şekil 122 ve Şekil 123’te, Ambaroba Heyelanı için Şekil 124’te, Güzelyalı Heyelanı için Şekil 125’te, Şevketiye Heyelanı için Şekil 126’da ve İntepe Heyelanı için Şekil 127’de karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucu, InSAR tekniğiyle elde edilen noktasal çökme ve/veya yükselti ile LOS yönüne dönüştürülmüş toplam 32 adet GPS/GNSS noktası karşılaştırılmıştır. LOS değerlerine dönüştürülmüş GPS/GNSS sonuçları genel olarak InSAR sonuçları ile çökme ve/veya yükselti hareketi bakımından benzer eğilim gösterdiği görülmektedir. Bu durum, tüm heyelan bölgesinin alansal hareket eğiliminin belirlenmesinde InSAR yöntemi yardımıyla kullanılabilirliğini göstermektedir. Özellikle InSAR görüş hattındaki (LOS) GPS/GNSS noktalarının büyük bölümü heyelanlardan kaynaklanan çökme ve/veya yükselti eğiliminde benzer yönde ve büyüklükte hareket etmişlerdir. Bununla birlikte Şekil 122 – 127’de seçilen profillerdeki toplam 6 GPS/GNSS noktasında hareket yönü çevresindeki InSAR noktalarıyla özdeş olmasına karşın hareket büyüklüğünde santimetre düzeyinde farklar gözlenmiştir. Bu noktaların GPS/GNSS hızları incelendiğinde düşey hareketlerin yanısıra yatay hareketlerin de var olduğu ve bunların diğer GPS/GNSS noktalardakinden büyüklük olarak fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda heyelanın genel hareketinden bağımsız yerel (lokal) bir yer değiştirmenin neden olduğu ve ilgili noktanın yakın çevresinde InSAR noktası bulunmaması

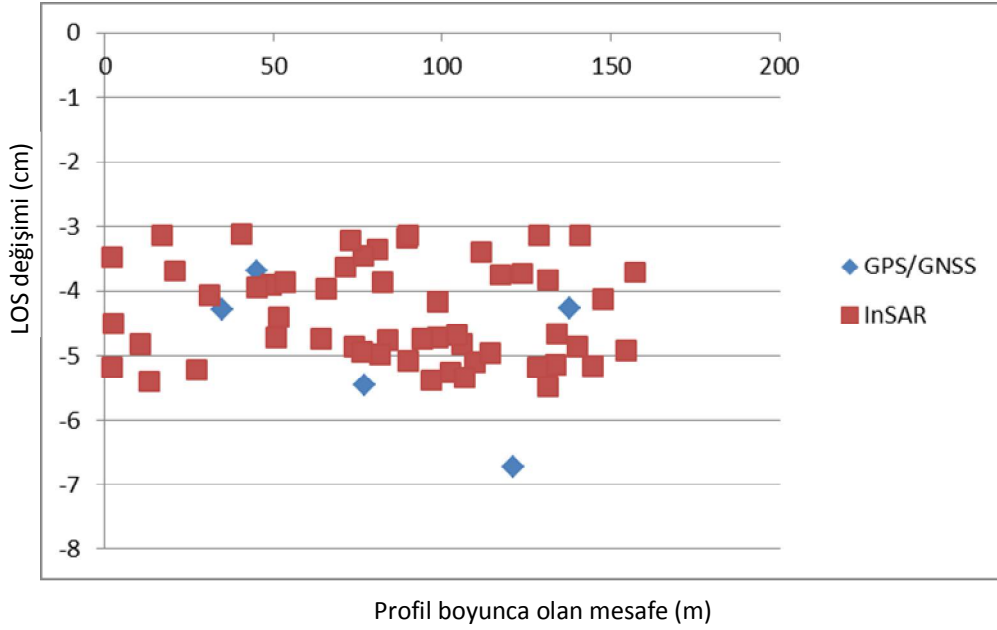
nedeniyle lokal yer değiştirmenin InSAR sonuçlarına yansımadiğı sonucuna varılmıştır. Bunun ana nedeninin; eş zamanlı olarak yürütülen jeolojik çalışmalarda söz konusu heyelan alanlarında dayanımsız sedimanter alt birimlerin varlığı olduğu düşünülmektedir. Özellikle üretilen büyük ölçekli jeoloji haritaları incelendiğinde GPS/GNSS noktalarının bir kısmının söz konusu alt birimlere denk geldiği ve özellikle GPS/GNSS lme kampanyalarına denk gelen yoğun yağışlar sonrasında heyelan çatlak sistemlerinden heyelan kitlesine sızan suların GPS/GNSS noktası ve çevresindeki malzemeyi doldurarak yerel (lokal) bir çökmeye neden olduğu yorumlanmaktadır. Ana kitle hareketinden bağımsız olarak ortaya çıkan bu yerel (lokal) noktasal deformasyonların belirlenmesinde GPS/GNSS yönteminin daha etkin olduğu görülmektedir. Buna karşın InSAR yöntemi yardımıyla tüm heyelan bölgesinin alansal hareket eğilimi belirlenmiştir. Sonuç olarak her iki yöntem bütünleşik olarak kullanılarak hem heyelan bölgesinin alansal hareket eğilimi hem de bölge içindeki anlamlı lokal deformasyonların saptanabileceği söylenebilir.



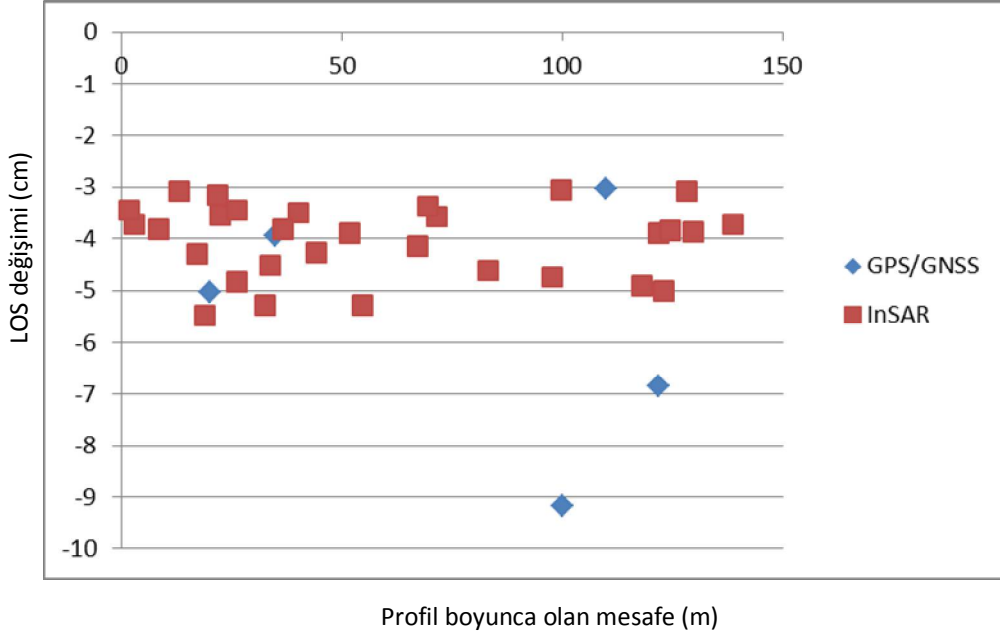
şekil 122. Adatepe heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi (Profil 1)



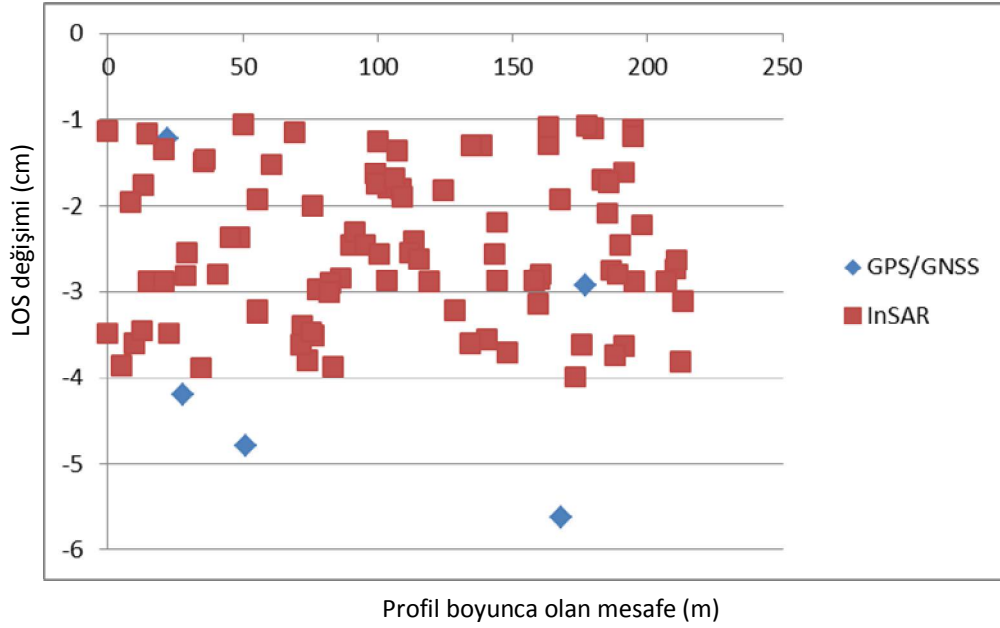
Şekil 123. Adatepe heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi (Profil 2)



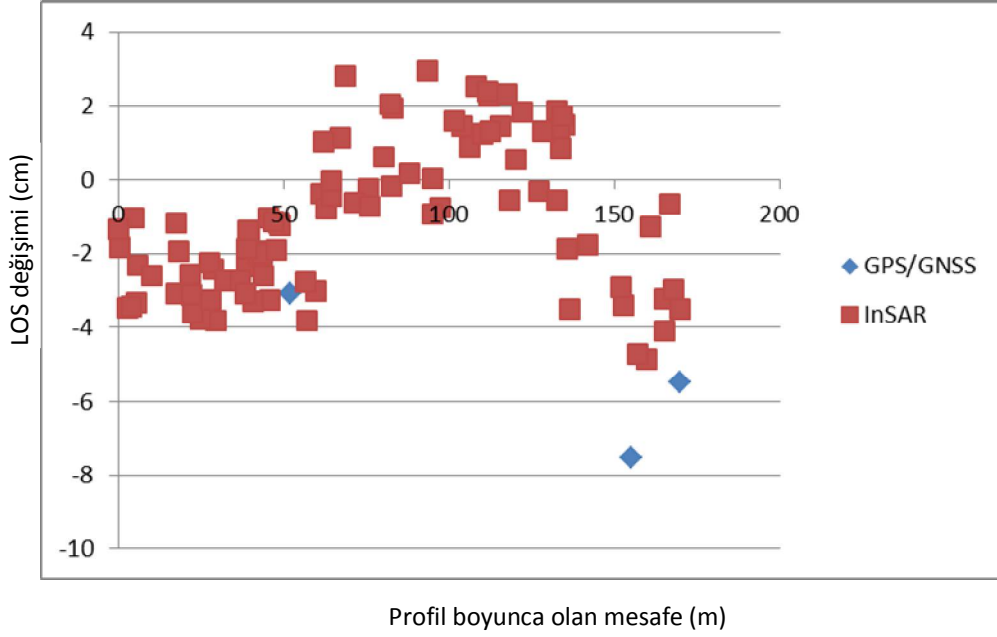
Şekil 124. Ambaroba heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi



Şekil 125. Güzelyalı heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi



Şekil 126. Şevketiye heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi



Şekil 127. İntepe heyelanında seçilen profil boyunca GPS/GNSS ve InSAR noktalarındaki LOS değişimi

Ayrıca LOS yönündeki deformasyon miktarları ile InSAR sonuçları arasındaki farkların olası kaynaklarının arazi çalışmaları tarihi ile görüntü tarihi arasındaki zamansal farklılıklardan, atmosferik etkinin yeterince modellenememesinden ve iki uydu görüntüsü arasındaki korelasyon düşüklüğünden de olabileceği yorumlanabilir (Cheng vd., 2012). Bilindiği gibi GPS/GNSS'in yükseklik bileşenindeki konumlama sorunları nedeniyle de sonuçlarda kendi içinde istatistiksel yönden anlamlı sapmalar beklenebilir. Bu çalışma için bakış doğrultusundaki çökmeler ile GPS/GNSS noktalarına ait yükseklik bileşenindeki değişimindeki farkların kendi arasında ortalama olarak gerçekleşen KOH değerleri $\pm 2-3$ cm arasında değiştiği gözlenmiştir.

Heyelan alanlarındaki yer yüzeyindeki kitle değişimlerinin dönemsel olarak milimetre düzeyinde belirlenmesinde InSAR yöntemi başarıyla kullanılmıştır. Böylece interferometrik farklandırma tekniğine dayalı olarak heyelanlardan kaynaklanan yeryüzü hareketleri modellenebilmiştir.

Proje önerisinde, projedeki InSAR çalışmaları kapsamında ENVISAT uydu görüntülerinin satın alınacağı ve bunların DORIS ve STAMPS akademik yazılımlarda değerlendirileceği belirtilmiştir. Ancak önceki gelişme raporunda da belirtildiği gibi çalışma bölgelerine ilişkin güncel ENVISAT uydu görüntüleri 2012 yılı sonundan itibaren ilgili Türkiye Distribütörü firma

tarafından sağlanamamaktadır. Dolayısıyla proje kapsamında planlanan InSAR çalışmalarında firma tarafından da önerilen ENVISAT verisi yerine güncel TerraSAR-X uydu görüntülerinin ve bu görüntüleri destekleyen ENVI ve SARSCAPE yazılımlarının kullanılması stratejisi zorunlu olarak tercih edilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; iyonosfer tabakasındaki toplam elektron yoğunluğu, troposferdeki ıslak ve kuru bileşenlerin neden olduğu sinyal gecikmeleri diferansiyel interferogramlarda birtakım bozucu etkilere sebep olabilmektedir. Balss vd., 2013a, Balss 2013b de açıklandığı üzere TerraSAR-X radar görüntülerinin GNSS alıcı sinyallerindeki atmosferik etki ile benzer şekilde olmasından dolayı bu düzeltme, araziye konumlandırılmış köşe yansıtıcıların (corner reflectors) kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Köşe yansıtıcılarda gerçekleştirilen GPS/GNSS ölçmeleriyle hesaplanan atmosferik düzeltmelerin TerraSAR-X radar görüntülerine dönüştürülmesi yoluyla görüntülerin kalibrasyonu yapılabilir (Gisinger 2012). Buna karşın köşe yansıtıcıların kullanılmadığı çalışmalarda da interferogramların başarılı olarak üretildiği görülmektedir (Sefercik ve Yastıklı 2014). Ayrıca proje kapsamında köşe yansıtıcıların tesisi ve ölçmesi planlanmadığından çalışma bölgelerinde tespit edilen çökme ve/veya yükselme hareketlerinin atmosferik etkiden kaynaklanmadığı varsayılabilir (Gisinger 2012). İnterferogramların üretildiği yazılımda TerraSAR-X ve birçok diğer radar uydu verisi için geliştirilmiş atmosferik modelleme modülü bulunmamaktadır.

İzleyen dönemde de TÜBİTAK ve üniversitenin bilimsel araştırma projeleri koordinatörlüğü birimlerinden sağlanacak fonlar kullanılarak temin edilecek InSAR verileri benzer şekilde değerlendirilerek heyelan hareketlerinden kaynaklanan güncel yüzey deformasyonları belirlenmeye devam edilecektir. Ayrıca sonuçlar eş zamanlı GPS/GNSS ve İHA fotogrametri yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğruluk analizi gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Afet olaylarını insanoğlunun tarafından engellenmesi mümkün olmayan bir doğa olayıdır. Bir yamaçtaki kaya, toprak zeminin veya molozların yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlanan heyelanlar nedeniyle, dünyada her yıl yaklaşık 600 kişinin yaşamını yitirdiği bilinmektedir. Özellikle Türkiye’de heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından depremlerden sonra ikinci sırada yer almaktadırlar. Heyelanlar, can kayıplarının ve ekonomik zararlarının yanı sıra, kentleşmeye zarar vermekte, tarım ve orman alanları ile akarsuların kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Bu projede, temel olarak geomatik tabanlı ölçme yöntemleri kullanılarak heyelan alanlarındaki deformasyon modellerinin zamana bağlı olarak üç boyutlu modellenmesi, aktif heyelanların zamana bağlı olarak izlenmesi, bölgelerdeki rölatif yer değiştirmelerin tespit edilerek yorumlanması ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak tematik deformasyon haritalarının hazırlanması hedeflenmiştir. Bu amaca ulaşabilmek için GPS/GNSS, InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) ve İHA (İnsansız Hava Aracı) gibi geomatik tabanlı ölçme yöntemleri tercih edilmiştir. Biga Yarımadasının kıyı kesimleri boyunca birçok aktif heyelan yer almaktadır. Bu kapsamda son yıllarda oldukça aktif olan Ambaroba, Şevketiye, Adatepe, Güzelyalı ve İntepe Heyelanları çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Proje kapsamında gerçekleştirilen jeolojik çalışmalarda aşağıdaki temel sonuçlara varılmıştır:

- Heyelan bölgelerinde gerçekleştirilen jeolojik çalışmalar sonucunda; tüm heyelan alanları için dayanımsız sedimanter birimlerin varlığının başlıca etkenlerden biri olduğu söylenebilir.
- Ambaroba heyelan bölgesinin kumtaşı ve tutturulmamış konglomeradan oluştuğu görülmüştür. Bunun yanı sıra heyelan alanı, Türkiye diri fay haritasında Sinekçi fay hattının tam üzerinde bulunmaktadır. Bu aktif tektoniğin etkisinin heyelanın gelişiminde önemli bir yer aldığı düşünülmektedir.
- Şevketiye ve Adatepe heyelan alanlarında mevcut zayıf karakterli tutturulmamış kumtaşı ve çakıltaşı birimleri üzerinde kıyıya çok yakın inşa edilmiş karayolu çalışmaları muhtemelen heyelanların aktif hale gelmesinde önemli bir çevresel faktör olmuştur.
- Güzelyalı heyelan alanı, içinde önemli ölçüde kil bantları barındıran çamurtaşlarından ve tutturulmamış kumtaşlarından oluşmaktadır. Bu bölgede jeolojik birimler ve topografyanın yanı sıra yağmur sularının aktarılması için kullanılan drenaj menfezi gibi çevresel bazı faktörlerin heyelanı tetiklediği söylenebilir.

- İntepe heyelan alanı oldukça dik bir topografyaya sahip ve dayanımsız kalkarenitik kumtaşları ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Bu birimler üzerindeki derin ve geniş vadi aktif olarak yağışın bol olduğu zamanlarda tutturulmamış malzemeyi taşımaktadır. Ayrıca son yıllarda inşa edilen Çanakkale viyadüğü bölgede zaten heyelana duyarlı bu birimlerin daha etkili hareket etmesini sağlamıştır.

- Proje kapsamında gerçekleştirilmesi planlanan jeolojik çalışmalar, proje takvimine göre başarıyla uygulanmış, başarı ölçütleri içerisinde hedeflenen amaçlara ulaşılmıştır.

Çalışılan heyelan alanlarındaki deformasyonların izlenmesi amacıyla gerçekleştirilen GPS/GNSS çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Heyelan alanına mikro-jeodezik jeodezik izleme ağının optimizasyon, planlama ve tesis aşamalarından önce jeofizik ölçme yöntemiyle bölgede çalışılarak heyelan çekincesi olan öncelikli olan yerler önsel olarak belirlenmiştir. Jeodezik ağ tasarımında bu veriler göz önünde bulundurulmuştur.

- Tesis edilen jeodezik ağlar planlanan ölçme periyotlarında GPS/GNSS tekniğiyle ölçülmüştür. Elde edilen veriler bilimsel araştırma programı yardımıyla değerlendirilmiştir.

- GPS/GNSS verilerinin değerlendirilmesinden elde edilen hızlar; 2013 – 2014 yılları arasında yatayda 5 cm, düşeyde 7 cm; 2014 – 2015 yılları arasında yatayda 6 cm, düşeyde 10 cm; 2015 – 2016 yılları arasında yatayda 8 cm, düşeyde 12 cm'e varmaktadır. Özellikle son iki yılda bahar aylarındaki yoğun yağışlar hem yatay hem de düşey bileşende noktasal deformasyon olarak ortaya çıkmıştır.

- Çalışılan heyelan alanlarında deformasyon analizleri neticesinde belirlenen yatay hareketler, proje kapsamında jeolojik ve jeofizik tekniklerle saptanan heyelan yapılarıyla uyumlu olarak görülmektedir. Düşey yönde büyük bir çoğunlukla çökme hareketi, yer yer de zemin yapısına bağlı olarak kabarma olduğu görülmektedir. Noktasal hızların tümü genellikle azalan eğim yönünde yani taç kısmından topuk kısmına doğrudur.

- GPS/GNSS izleme çalışmaları kapsamında heyelan bölgelerindeki noktalara etkiyen yüklere karşı benzer geometrik tepkiler vermektedir. Yatay ve düşey hızlar genellikle benzer yön eğiliminde olmalarına karşın farklı büyüklüklerde ortaya çıkmaktadırlar. Hemen yakınında karayolu mevcut olan Adatepe, Şevketiye, Güzelyalı ve İntepe Heyelanlarında heyelan yatay kitle hareketleri genellikle karayoluna dik doğrultuda oluşmuştur. Ayrıca Ambaroba ve Şevketiye Heyelanlarındaki deformasyonların bir diğer nedeni de

deformasyonu tetikleyen mevcut yüzey ve yer altı sularının bu bölgede toplanması ve heyelan alanlarının eğimidir.

- Proje kapsamındaki jeodezik çalışmalar proje takvimine uygun olarak işletilmiş ve öngörülen başarı ölçütleri içerisinde hedeflere ulaşılmıştır.

Bu proje çalışması kapsamında uygulanan jeofizik yöntemle sayesinde aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Buna göre Güzelyalı ve Şevketiye bölgelerinde elektrik tomografi ölçüleri ile ilişkili heyelanların zamansal izlemesi yapılmıştır.

- Elde edilen sonuçların mevsimsel değişimlere ve hareketin düşey ve yatay hızlarına bağlı olarak önemli olduğu somut olarak görülmüştür. Bütün alanlarda su varlığının (doğun zonun) heyelan hareketinde önemli bir unsur olduğu elektrik kesitlerinde ortaya konmuştur. Yapılan sismik çalışmalarla elde edilen ortama ilişkin hızların yer elektrik kesitlerinde gösterilen sınırlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

- Genel olarak bütün alanların elektriksel değişimi haritalanabilmiştir. Sadece İntepe Bölgesinde projenin desteklenmesinde hemen sonra yapılan yoğun yol yapım ve yamaç iyileştirme çalışmaları nedeniyle yeterli oranda yapılamamıştır.

- Jeofizik yöntemlerle alanların zamansal izlenmesine devam edilmesi bölge için çok önemlidir ve önerilmektedir. Derin yapılara ilişkin (>15 m) jeofizik ölçümlerin yapılması göreceli olarak derin deformasyonların belirlenmesinde tavsiye edilmektedir. İncelenen alanların hepsinin aktif heyelan bölgeleri olduğu düşünüldüğünde ileride yapılacak çalışmalarda (yol inşaatı, mühendislik ve sanat yapıları vb.) veri sağlaması bakımından yer elektrik kesitler gibi proje çıktıları önem taşımaktadır.

- Sonuç olarak proje kapsamında önerilen jeofizik çalışmalar, ilgili heyelan alanlarında proje takvimine göre uygulanmış, beklenen başarı ölçütleri içerisinde hedeflenen amaçlara ulaşılmıştır.

İHA destekli modelleme ve CBS destekli tematik harita üretimi aşamalarında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Geliştirilen strateji ile üretilecek modellerden beklenen doğruluk kriterlerinin saptanması, değerlendirme için gerekli öncül (önsel) bilgilerin belirlenmesi, uçuş planının yapılması ve İHA uçuşu ile veri toplama, üç boyutlu arazi modeli üretimi ve tematik harita üretimi

konularında deneyim sağlanmıştır.

- Kamera kalibrasyonları ile farklı nitelikteki sensörlerin İHA destekli fotogrametri çalışmalarında kullanılabilirliği test edilmiştir. Edinilen deneyimler sonrasında taşıyıcı platform olarak insansız hava araçlarının kullanıldığı uygulamalar için aynasız model dijital kameraların kullanımının en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

- Detaylı uçuş planlaması ile enine bindirme %70, boyuna Bindirme %80, uçuş yüksekliği: 150 metre, yeryüzünde kaplanan alanın boyu 200 metre, yeryüzünde kaplanan alanın eni 100 metre olması durumunda en az 80 adet hava fotoğrafı elde edilmelidir. Ayrıca Proje alanının uygun ölçekli bir haritası üzerinde yapılacak bu tasarımda yer kontrol noktaları arasındaki uzaklıklar fotoğraf ölçeğine bağlı olarak hesaplanmalıdır.

- İHA uçuşunda yarı otonom uçuş, gerektiğinde müdahale edebilme seçeneği sayesinde elde edilecek görüntü kalitesi düşünüldüğünde fayda sağlamaktadır.

- Heyelan alanlarından elde edilen yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraflar yardımıyla uygun değerlendirme stratejisi kullanılarak yüksek doğruluklu üç boyutlu sayısal arazi modelleri elde edilmiştir. Model üzerinden yapılan nokta koordinat okumaları arazide gerçekleştirilen RTK GPS/GNSS ölçümleri ile karşılaştırıldığında karesel ortalama hataların oldukça düşük olduğu görülmektedir.

- Elde edilen üç boyutlu sayısal arazi modelleri coğrafi bilgi sistemi ortamında işlenerek TIN, DEM, akış yönü, eş yükselti, bakı, kabartma, eğrilik, eğim ve akış toplama gibi heyelan alanlarına ilişkin anlık tematik haritalar bulunmuştur. Farklı ölçü dönemlerine ilişkin tematik haritaların farklandırılması suretiyle aktif heyelanların yüzeye yansımalarına ilişkin çeşitli çıkarımlar gerçekleştirilmiştir. Tematik fark haritalarında genellikle çökme veya kabarma biçiminde ortaya çıkan bozulmaların bölgeye civarındaki izleme noktası sonuçlarıyla uyumlu olduğu aradaki farkların birkaç santimetre düzeyinde olduğu görülmektedir.

- Sonuç olarak İHA destekli fotogrametrik yöntemlerle hızlı, etkin ve ekonomik olarak üç boyutlu sayısal arazi modellerinin güncel ve anlık üretilebilirliği test edilmiştir. Elde edilen ortofotoların yer örnekleme çözünürlüğü cm altı düzeyinde elde edilmiştir. GPS/GNSS ölçmeleri ile fotogrametrik ölçmeler karşılaştırıldığında X yönünde 26 mm, Y yönünde 38 mm ve Z yönünde 28 mm'lik ortalama farklar elde edilmiştir. İHA destekli fotogrametrinin heyelan izlemede elde edilebilen doğruluk yönünden kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir. İHA görüntüleri ile elde edilen ortofoto ve sayısal yükseklik modellerinden hem topoğrafik özellikler hem de görsel özellikler ile heyelan çatlakları tespit yüksek doğrulukta tespit

edilebilmektedir. Geliştirilen yapay sinir ağları ve istatistiksel lojistik regresyon yöntemleri ile heyelan çatlakları güvenilir şekilde belirlenebilmektedir (Akçay, 2015).

- İHA görüntüleri yardımıyla üretilen sayısal yükseklik modelleri GPS/GNSS ve yersel yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomik olarak elde edilmektedir. Ayrıca heyelanların neden olduğu yeryüzü deformasyonlarının alansal ve hacimsel etkilerinin belirlenmesinde İHA destekli üç boyutlu modelleme çok daha etkin sonuçlar sunmaktadır. Bu kapsamda özellikle heyelan sınırlarındaki bitki örtüsü değişiminin zamansal ve mekânsal olarak izlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Erenoglu, 2016).

- İHA destekli modelleme ve CBS destekli tematik harita üretimi aşamaları çalışma planına uygun olarak tamamlanmış ve beklenen hedeflere ulaşılmıştır.

İnterferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR) tekniği ile heyelan modelleme aşamalarında - saptanan bulgular şöyle özetlenebilir:

- InSAR çalışmaları kapsamında Terrasar-X Single Look Complex (SLC) Stripmap Single Polarizasyon (HH) Ascending görüntüler tercih edilmiştir.

- Heyelan bölgelerinde jeodezik izleme amacıyla tesis edilen GPS/GNSS noktalarında meydana gelen düşey yer değiştirmeler InSAR görüntüsü bakış doğrultusunda (Line of Sight) indirgenmiştir. InSAR ve GPS/GNSS yöntemleriyle elde edilen sonuçlar çökme ve/veya yükselti hareketi bakımından benzer eğilim göstermektedir. Buna karşın heyelanın genel hareketinden bağımsız yerel yer değiştirmenin neden olduğu durumlarda ilgili noktanın yakın çevresinde InSAR noktası bulunmuyorsa GPS/GNSS yönteminin daha etkin olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak tüm heyelan bölgesinin alansal hareket eğiliminin belirlenmesinde InSAR yönteminin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak her iki yöntemin bütünleşik olarak kullanılmasıyla hem heyelan bölgesinin alansal hareket eğiliminin hem de bölge içindeki anlamlı lokal deformasyonların saptanabileceği söylenebilir. Genel olarak İnterferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR) tekniğine dayalı çalışmalar öngörülen plana uygun olarak tamamlanmış, sonuçları GPS/GNSS tekniği ile karşılaştırılmış ve beklenen hedeflere ulaşılmıştır.

Benzer şekilde yine Üniversite desteğiyle eş zamanlı olarak heyelan ölçme kampanyaları düzenlenmesi planlanmaktadır.

Proje kapsamında, gerek proje için arazi öncesi elde edilen veriler, gerekse arazi çalışmalarından elde edilen veriler ile, bölgeye ait bir veri bankası oluşumu gerçekleşmiştir. Böylelikle bu çalışma, kendinden sonra yapılacak olan projelere de kaynak teşkil edecektir.

Proje kapsamında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi bünyesinde, proje bursiyerleri tarafından üç yüksek lisans tezi tamamlanmış, bir yüksek lisans tezi de yazım aşamasındadır..

Bu projeden, 12 adet uluslararası ve ulusal bildiri üretilmiştir.

Ayrıca, 2 adet SCI-Expanded indeksi kapsamında dergilerde makale yayımlanmıştır. 2 adet makale de yine SCI-Expanded indeksi kapsamında dergilerde yayınlanmak değerlendirme aşamasındadır.

Biga Yarımadasında yer alan heyelanlar bölge için depremlerin ardından büyük tehlike oluşturmaktadır. Bu proje kapsamında, neden-sonuç ilişkisi ile irdelenerek özellikle disiplinler arası bir yaklaşımla heyelan mekanizmasının çözümlenmesi, modelleme ve zamansal izleme konularında çalışılmıştır. Özellikle heyelan ve heyelana neden olan/tetikleyen faktörler irdelenmiştir. Proje sonunda; çalışılan tüm heyelan alanlarında temel sorunu çözmeye yönelik olarak yer altı drenajı yapılması ve alt yapının iyileştirilmesi, heyelan alanını etkileyebilecek yüzey sularının daha heyelanın taç bölgesine ulaşmadan tepe hendekleri vasıtasıyla bölgeden uzaklaştırılması, heyelan bölgesi içerisinde yüzey sularının drene edilerek zemine süzülmesinin önlenmesi önerilmektedir. Ayrıca yol, köprü ve viyadük gibi mühendislik yapıları ile sanat yapıları inşa edilmeden önce heyelan mekanizması çözümlenmeli ve gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu bağlamda, Biga Yarımadası ve Marmara Bölgesi başta olmak üzere heyelan tehlikesi olan bölgelerde, heyelanı etkileyecek tüm faktörler dikkate alınarak zamansal ve mekânsal olarak izleme, modelleme ve yorumlama yapılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

Akcay, O. 2015 Landslide Fissure Inference Assessment by ANFIS and Logistic Regression Using UAS-Based Photogrammetry. ISPRS Int. J. Geo-Inf. , 4, 2131-2158.

Aksoy, A., Güneş, İ.H. 1990. "Jeodezi I ve II", İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı: 1421-1422, Gümüşsuyu.

Atabey, E., Ilgar A., Sakıtaş, A. 2004. "Çanakkale Havzasının Orta-Üst Miyosen Stratigrafisi, Çanakkale, KB Türkiye", MTA Dergisi, 128, 79-97.

Avcı, N. 2006. "Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi tekniği ve yorumlanması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniv., Fen Bil. Enst., 55 s.

Ayan, T. 1992. "Uyuşumsuz Ölçüler Testi", Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 72, 38-46.

Balss, U., Gisinger, C., Cong, X.Y., Brcic, R., Steigenberger, P., Eineder, M., Pail, R., Hugentobler, U. 2013a. "High Resolution Geodetic Earth Observation With Terrasar-X: Correction Schemes And Validation" IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 4499 – 4502.

Balss, U., Gisinger, C., Cong, X. Y., Eineder M. , Brcic, R. 2013b. "Precise 2-D and 3-D Ground Target Localization with TERRASAR-X", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W1, 23-28.

Bari, C., Lapenna, V., Perrone, A., Puglisi, C. and Sdao F. 2011. "Digital photogrammetric analysis and electrical resistivity tomography for investigating the Picerno landslide (Basilicata region, southern Italy)", Geomorphology, 133, 34–46.

Batayneh, A.T., Al-Diabat, A. 2002. "Application of a two-dimensional electrical tomography technique for investigating landslides along the Amman-Dead Sera Highway, Jordan", Env. Geol., 42, 399-403.

Bekler, T., Ekinçi, Y.L., Demirci, A., Erginal, A.E., Ertekin, C. 2011. "Characterization of a Landslide using Seismic Refraction, Electrical Resistivity and Hydrometer Methods, Adatepe-Canakkale, NW Turkey", JEEG, 16 (3): 115–126.

Bill, R. 1985. "Kriteriummatrizen ebener geodätischer Netze", Front Cover. Ralf. Beck, München.

Bogoslovsky, V., Ogilvy, A. 1977. "Geophysical methods for the investigation of landslides", *Geophysics*, 42, 562–571.

Cerdà, A. 2007. "Soil water erosion on road embankments in eastern Spain", *Science of the Total Environment*, 378, 151–155.

Cheng, S., Perissin, D., Lin, A., Chen, F. 2012. "Atmospheric delay analysis from GPS meteorology and InSAR APS", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 86, 72–81.

Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., Rinaudo, F. 2011. "UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: two tests in the Piedmont region (Italy)", *Journal of Archaeological Science*, 38, 697-710.

Çakır, T., 2011. "Çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) yöntemi ile kırılma mikrotremor (REMI) yönteminin karşılaştırması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniv., Fen Bil. Enst. 87 s.

Çaylak, Ç., Sarı, S. 2008. Çok-kanallı yüzey dalgası analizi kullanılarak yüzeye-yakın yapıların araştırılması", *Yerbilimleri*, 29 (2), 65–75.

Demirel, H. 2005. Dengeleme Hesabı (2. Basım), Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını.

Demirel, H. 1987. "Nirengi Ağlarının Dengelenmesi ve Sonuçlarının Test Edilmesi", *Harita Dergisi*, 98, 22-33.

Dikmen, Ü., Başokut, A.T., Akkaya, İ., Arısoy, M.Ö. 2010. "Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi", *Yerbilimleri*, 31 (1), 23–32.

Dönmez, M., Akçay, A.E., Duru, M., Ilgar, A. ve Pehlivan, Ş. 2008. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:101 Çanakkale H17 Paftası, MTA.

Drahor, M.G., Göktürkler, G., Berge, M.A., Kurtulmus, T.Ö. 2006. "Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey", *Environmental Geology*, 50: 147–155.

Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Ilgar, A. ve Akçay A.E. 2007. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:102 Bandırma H18 Paftası, MTA.

Eisenbeis, H. 2009. UAV Photogrammetry (1. Basım). Zürich: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie.

Erenoglu, R.C. 2016, "Generating a digital elevation model using unmanned aerial system for a deep seated rotational landslide on forest cover and vegetation", Austrian Journal of Forest Science, 133: 47-61.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001. "Permanent Scatterers in SAR Interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39 (1), 8-20.

Gens, R., Van Genderen, J.L. 1996. "SAR interferometry-issues, techniques, applications", Int. J. Remote Sens., 17(10), 1803-35.

Geometrics. "Geoelectrical Products".

<http://www.geometrics.com/geometrics-products/geometrics-electro-magnetic-products/>

Son erişim tarihi: 7 Ocak 2014.

Gisinger, C., 2012. "Atmospheric Corrections for TerraSAR-X Derived from GNSS Observations", Master Thesis, TU Munich.

Glade, T., Stark, P., Dikau, R. 2005. "Determination of potential landslide shear plane depth using seismic refraction. A case study in Rheinhessen, Germany", Bull. Eng. Geol. Environ., 64, 151-158.

Göktürkler, G., Balkaya, C., Erhan, Z. 2008. "Geophysical investigation of a landslide: The Altındağ landslide site, İzmir (western Turkey)", Journal of Applied Geophysics, 65, 84-96.

Gözler, M.Z., Ergül, E., Akçaören, F., Genç, Ş., Akat, U., Acar, Ş. 1984. "Çanakkale Boğazı doğusu-Marmara Denizi güneyi-Bandırma-Balıkesir-Edremit ve Ege Denizi arasındaki bölgenin jeolojisi", MTA Derleme No: 7430 (yayınlanmamış).

GF Instruments. "ARES ölçü aleti kontrol birimi ve donanımı".

<http://www.gfinstruments.cz>

Son erişim tarihi: 7 Ocak 2014.

Griffiths, D.H., Barker, R.D. 1993. "Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology", Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.

Gürbüz, M., Koç, N., Hamzaçelebi G. 2005. "Jeofiziksel yaklaşımlarla heyelan yapısının araştırılması", Kocaeli Deprem Sempozyumu, 1154-1156.

Hagedorn, S. 2014. "Landslide investigation using seismic refraction techniques, Testing the performance of MASW and combined P- and S-wave SRT at the Hollin Hill Landslide

Observatory”, Master of Science Thesis for the degree of Master of Science in Applied Geophysics at Delft University of Technology ETH Zürich RWTH Aachen University, 79 pp.

Hooper, A., Segall, P., Zebker, H. 2007. “Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcán Alcedo, Galápagos”, *J. Geophys. Res.*, 112, 1-21.

Höhle, J. ve Potuckova, M. 2011. “Assessment of the quality of digital terrain models”, *European Spatial Data Research, EuroSDR*, pp:12.

Ilgar, A., Demirci, E.S., Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M. ve Akçay, A.E. 2008. 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:100 Çanakkale H15 ve H16 Paftaları, MTA.

Jongmans, D. and Garambois S. 2007. “Geophysical investigation of landslides: a review”, *Bulletin of the Geological Society of France*, 178, 101-112.

Kearey, P., Brooks M., Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration* (3. Basım). Blackwell, Oxford.

Koch, K.R. 1999. *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models* (2. Basım). Springer-Verlag, Berlin.

Krige, D.G. 1951. “A statistical approach to some mine valuations and allied problems on the Witwatersrand”, *Master’s Thesis, University of the Witwatersrand, Faculty of Engineering*.

Lebourg, T.S, Binet, S., Tric, E., Jomard, H., El Bedoui, S. 2005. “Geophysical survey to estimate the 3D sliding surface and the 4D evolution of the water pressure on part of a deep seated landslide”, *Terra Nova*, 17(3), 399–406.

Loke, M.H., Acworth, I., Dahlin. T. 2003. “A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys: Exploration”, *Geophysics*, 34, 182–187.

Loke, M.H., Barker, R.D.. 1996. “Rapid leastsquares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method”, *Geophys. Prospect*, 44, 131–152.

Mc Cann, D.M., Forster, A. 1990. “Reconnaissance Geophysical Methods in Landslide Investigations”, *Engineering Geology*, 29 (1), 59-78.

Ohnishia, Y., Nishiyamaa, S., Yanoa, T., Matsuyamab, H., Amano, K. 2006. “A study of the application of digital photogrammetry to slope monitoring systems”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 43, 756–766.

Okay, İ.A., Siyako, M., Burkan, K.A. 1990. “Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi”,

Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, C.2/1, 83-121.

Royston, J.P. 1982. "Expected normal order statistics (exact and approximate)", Applied Statistic, 31, 161-165.

Reynolds, J.M.1997. An introduction to applied and environmental geophysics (2. Basım). Wiley-Blackwell.

Saltık, O. 1974. Şarköy-Mürefte sahaları jeolojisi ve petrol olanakları. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Rap. no: 879, (yayımlanmamış) Ankara.

Schmutz, M., Albouy, Y., Guérin, R., Maquaire, O., Vassal, J., Schott, J-J., Descloitres, M. 2000. "Joint electrical and time domain electromagnetism (TDEM) data inversion applied to the Super Sauze earthflow (France)", Surveys in Geophys., 21, 371-390.

Sefercik, U. G., Yastıklı, N. 2014. "Assessment of Interferometric Dems from TERRASAR-X Stripmap and Spotlight Stereopairs: Case Study in Istanbul", Photogrammetric record, 29(146), 224-240.

Sfondrini, G. 1961. Surface Geological Report on AR/TGÜ/1/338 ve 537 (Eceabat-Çanakkale areas). Turkish Gulf Oil Co. Ankara.

Siyako, M., Burkan, K.A., Okay, İ.A. 1989. "Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları", Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 1/3, 183-199.

Schuster, R.L. Fleming, R.W. 1986. "Economic Losses and Fatalities due to Landslides", Bulletin of Association of Engineering Geologists, 23 (1), 11-28

Schuster, R.L. 1996. "Socioeconomic significance of landslides". In A.K. Turner and R.L. Schuster, eds., Landslides – investigation and mitigation, National Res. Council, Washington, D.C., Transp. Res. Board Spec. Report 247, 12-35.

Şentürk, K., Karaköse, C. 1987. Çanakkale Boğazı ve dolayının jeolojisi. MTA Rap. No: 9333.

Taner, G., 1997. "Das Pliozan des östlichen Dardanellen-Beckens, Türkei. Molluskenfauna und Stratigraphie", Annual Naturhistory Museum Wien, 98A, 35-37.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sherif, R.E., Keys, D.A. 1990. Applied Geophysics (2. Basım). Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Vaníček, P., Krakiwsky, E.J. 1986. Geodesy: the Concepts (2. Basım). Elsevier.

Webster, R., Oliver, M.A. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey (1. Basım). Oxford University Press.

Wolf., P.R. 1983. Elements of photogrammetry (2. Basım). New York.

Yiğitbaş, E., Baba, A., Kaya, M.A. 2005. Güzelyalı (Çanakkale) 27 J Paftası Kuzeydoğu kesiminde heyelan etüd raporu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.

T.C. Bayındırlık Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü. "Türkiye heyelan yoğunluk haritası".

<https://www.afad.gov.tr/Dokuman/TR/96-2014060215311->

heyelan_yogunluk_a1_olceksiz.pdf,

Son erişim tarihi: 15 Mayıs 2016.

TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 112Y336
Proje Başlığı: Geomatik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Tematik Haritaların Oluşturulması: Biga Yarımadası (Çanakkale) Örneği
Proje Yürütücüsü, Araştırmacılar, Bursiyerler: Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU Doç. Dr. Özgün AKÇAY Doç. Dr. Tolga KOMUT Yrd. Doç. Dr. Ebru ŞENGÜL ULUOCAK Yrd. Doç. Dr. M. Ali YÜCEL Yrd. Doç. Dr. Oya ERENOĞLU Y. Müh. Mustafa BEDİR Y. Müh. Çağlar AYDIN
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü 17100 Çanakkale / Türkiye
Destekleyen Kuruluşun Adı ve Adresi: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Tunus Caddesi No:80 06100 Kavaklıdere Ankara
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.04.2013-15.04.2016
Öz Projedeki heyelan alanları kuzey-batı Anadolu'da Biga Yarımadasının kıyı kesimleri boyunca kuzeyden güneye doğru Ambaroba, Şevketiye, Adatepe, Güzelyalı ve İntepe bölgeleri içinde yer almaktadır. Bu projede, geomatik, jeofizik ve jeolojik tekniklerine dayalı disiplinler arası bir yaklaşımla Biga Yarımadasındaki farklı özelliklere sahip ve farklı lokasyonlardaki belirtilen aktif heyelanların zamansal olarak izlenmesi, bölgelerdeki rölatif yer değiştirmelerin tespit edilerek yorumlanması ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak tematik deformasyon haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Heyelan, İzleme, GPS/GNSS, İnsansız hava aracı, jeofizik, elektrik tomografi, InSAR, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Biga Yarımadası.

[Fikri Ürün Bildirim Formu](#) Sunuldu mu?

Evet

Gerekli Değil

Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

Bu projeden;

- 12 adet uluslar arası ve ulusal bildiri,
- 2 adet SCI-expanded kapsamında yayımlanmış uluslararası makale,
- 2 adet SCI-expanded kapsamında yayımlanmak üzere değerlendirme aşamasında uluslararası makale,
- 3 adet yüksek lisans tezi üretilmiştir. Bir adet yüksek lisans tezi de yazım aşamasındadır.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. RAMAZAN CÜNEYT ERENOĞLU
Proje No:	112Y336
Proje Başlığı:	Geomatik Yöntemlerle Heyelanların İzlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Tematik Haritaların Oluşturulması: Biga Yarımadası (Çanakkale) Örneği
Proje Türü:	3501 - Kariyer
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	MEHMET ALİ YÜCEL, TOLGA KOMUT, EBRU ŞENGÜL ULUOCAK, ÖZGÜN AKÇAY
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ÇANAKKALE ONSEKİZ MART Ü. MÜHENDİSLİK MİMARLIK F. GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/04/2013 - 15/04/2016
Onaylanan Bütçe:	326115.0
Harcanan Bütçe:	278955.94
Öz:	<p>Projedeki heyelan alanları kuzey-batı Anadolu'da Biga Yarımadasının kıyı kesimleri boyunca kuzeyden güneye doğru Ambaroba, Şevketiye, Adatepe, Güzelyalı ve İntepe bölgeleri içinde yer almaktadır. Bu projede, geomatik, jeofizik ve jeolojik tekniklerine dayalı disiplinler arası bir yaklaşımla Biga Yarımadasındaki farklı özelliklere sahip ve farklı lokasyonlardaki belirtilen aktif heyelanların zamansal olarak izlenmesi, bölgelerdeki rölatif yer değiştirmelerin tespit edilerek yorumlanması ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak tematik deformasyon haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır.</p> <p>Proje kapsamında Geomatik olarak çalışılan yöntemlerle sonuç ürün olarak güncel üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modelleri, sayısal yükseklik modelleri ve heyelan nedeniyle ortaya çıkan noktasal ve alansal ölçekteki değişimler elde edilmiştir. Jeofizik tomografi ölçümleriyle çalışma alanlarının 2B yer elektrik kesitleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca jeolojik çalışmalar sayesinde heyelan alanlarındaki litolojik birimlerin jeolojik ve yapısal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanında insansız hava aracı destekli dijital fotogrametri tekniği yardımıyla heyelanların anlık üç boyutlu modellenmesi gerçekleştirilmiş ve farklandırma yöntemiyle alansal değişimler belirlenmiştir. Ayrıca Interferometrik SAR görüntüleri ile arazideki yüzey deformasyonlarının ortaya konması hedeflenmiştir. Tematik harita üretimi aşamasında ise coğrafi bilgi sistemi araçları kullanılmıştır.</p> <p>Deformasyonların izlenmesi amacıyla tesis edilen mikro-jeodezik izleme ağlarında gerçekleştirilen GPS/GNSS ölçmeleri ile yüksek doğruluklu konum bilgisi sağlanmıştır. Dolayısıyla heyelanlardan kaynaklanan noktasal deformasyonlar izlenebilmiştir. İnsansız hava aracı destekli ve yersel fotogrametri yaklaşımı ile üç boyutlu modeller üretilmiş ve heyelanların neden olduğu alansal yüzey deformasyonları belirlenmiştir. Heyelan alanlarındaki yeryüzündeki kitle değişimlerinin dönemsel olarak mm düzeyinde belirlenmesinde InSAR yöntemi başarıyla kullanılmıştır. Böylece interferometrik farklandırma tekniğine dayalı olarak heyelanlardan kaynaklanan yeryüzü hareketleri modellenmiştir. Jeolojik olarak ise heyelan alanlarının tümü sedimanter, az pekleşmiş, düşey ve yatay hareketlere duyarlı duyarlı birimlerden oluşmaktadır. Jeofizik yöntemler ile çok boyutlu jeofiziksel görüntülemenin yanı sıra, mevsimsel koşullara bağlı olarak heyelan alanlarına ilişkin zamansal değişimi başarıyla izlenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri sayesinde ise heyelan riskine karşı gerekli tedbirlerin önceden alınmasına katkı sağlayacak tematik haritalar üretilmiştir. Bu çalışma ile aktif heyelanlar hem disiplinler arası yaklaşım ile zamansal olarak izlenmiş, hem de ortaya çıkarılan tematik haritalar ile mekânsal olarak modellenmiştir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Heyelan, İzleme, GPS/GNSS, İHA, jeofizik, InSAR, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Biga Yarımadası.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

<p>Projejen Yapılan Yayınlar:</p>	<p>1- Earthquake Strategy for Sustainable Infrastructure in Turkey (Makale - Diğer Hakemli Makale),</p> <p>2- Earthquake Strategy for Sustainable Infrastructure in Turkey (Makale - Diğer Hakemli Makale),</p> <p>3- Tekrarlı Kinematik GPS Ölçüleri ile Heyelanlarının İzlenmesi: Adatepe Heyelanları (Biga Yarımadası, Çanakkale, Türkiye) Örneği (Bildiri - Ulusal Bildiri - Poster Sunum),</p> <p>4- Monitoring of Landslides using Repeated Kinematics GPS Observables in Sevketiye Town, Biga Peninsula, Çanakkale, NW Turkey (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),</p> <p>5- Effect of Climatic Change on Guzelyalı Landslides, NW Canakkale, Turkey (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),</p> <p>6- UAV Based Monitoring of Adatepe Landslide, Canakkale, NW Turkey (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>7- Determination Surface Characteristics and Alteration of Koru Mining Area (NW Turkey) by UAV Photogrammetry (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>8- Monitoring of Landslides Using Geomatics and Geophysical Methods: The First Findings from Sevketiye Landslide, Canakkale, NW Turkey (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>9- Preliminary Results on the Geology and Alteration Characteristics Obtained by UAV. A Case Study from Biga Peninsula (NW Turkey) (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>10- ÇOMÜ'den Bir İlk Daha Heyelan Araştırmalarında İnsansız Hava Araçları (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>11- İHA'yla Heyelan Araştırması (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>12- Heyelan bölgelerinde insansız hava araçlarıyla araştırma yapılıyor (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>13- Ambaroba'daki Heyelan İHA İle İzlenecek (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>14- ÇOMÜ heyelan araştırmalarını insansız hava araçlarıyla yapacak (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>15- TRT HABER - Yrd. Doç. Dr. R. Cüneyt ERENOĞLU İnsansız Hava Aracı (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>16- İnsansız Hava Aracıyla Heyelan araştırması (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>17- Heyelan Bölgelerinde insansız hava araçlarıyla araştırma yapılıyor (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>18- ÇOMÜ Heyelan Araştırmalarını İnsansız Hava Araçlarıyla Yapacak (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>19- İnsansız Hava Aracıyla Heyelan Araştırması (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>20- Heyelan Bölgelerinde İnsansız Hava Araçlarıyla Araştırma yapılıyor (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>21- İHA'yla Heyelan araştırması yapıyorlar (Yayılım - Ulusal - Medyada Haber),</p> <p>22- Generating a digital elevation model using unmanned aerial system for a deep seated rotational landslide on forest cover and vegetation (Makale - İndekli Makale),</p> <p>23- Landslide Fissure Inference Assessment by ANFIS and Logistic Regression Using UAS-Based Photogrammetry (Makale - Diğer Hakemli Makale),</p> <p>24- Geological and Geomorphological Characterizations of Landslides on the Coast of the Biga Peninsula (Çanakkale, NW Turkey) (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),</p> <p>25- GNSS assisted UAS based Monitoring of Ambaroba Landslide, Canakkale, NW Turkey (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),</p> <p>26- Heyelan İzleme Amaçlı İHA Destekli Uzaktan Algılama ve GPS/ GNSS Yöntemlerinin Doğruluk Analizi Karşılaştırılması (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>27- A Novel Approach based on GPS/GNSS Surveying to Monitor Excessive Active Landslide: A Case Study of Intepe Landslide (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>28- Estimating Of Landslide By Repeated Gps/Gnss Measurements In The Ambaroba Region, Canakkale, Nw Turkey (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>29- Heyelanların Deformasyonlarının GPS/GNSS Ölçme Tekniği ile Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),</p> <p>30- Doğal Afetler Sonrası Hasar Tespiti Verileriyle Yapısal / Mekânsal Modelleme (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),</p> <p>31- Heyelan Alanlarının Fotogrametrik İzlenmesinde Yazılım Çözümleri (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),</p> <p>32- Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesinde Oyun Teorisinin Kullanılması: İntepe, Çanakkale Örneği (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p>
-----------------------------------	--