

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HEYELAN ALANLARINDA ÜST YÜZEY BİTKİ VE  
AĞAÇLARINA BAĞLI OLARAK KÜTLE HAREKETLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TURAN AKAR**

**DENİZLİ, OCAK - 2021**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**HEYELAN ALANLARINDA ÜST YÜZEY BİTKİ VE**  
**AĞAÇLARINA BAĞLI OLARAK KÜTLE HAREKETLERİNİN**  
**BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TURAN AKAR**

**DENİZLİ, OCAK - 2021**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi tarafından 2019FEBE047 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**TURAN AKAR**

## ÖZET

### HEYELAN ALANLARINDA ÜST YÜZEY BİTKİ VE AĞAÇLARINA BAĞLI OLARAK KÜTLE HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TURAN AKAR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ALİ AYDIN)

DENİZLİ, OCAK - 2021

## ÖZET

Bu çalışmada, heyelan alanlarında üst yüzey bitki ve ağaçlarına bağlı olarak kütle hareketlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı Denizli'nin Merkezefendi ilçesine bağlı Şirinköy Mahallesi'nde gerçekleştirilmiştir. Şirinköy Mahallesi Denizli merkezine yaklaşık 6 km uzaklıkta ve Denizli'nin doğusunda yer almaktadır. Çalışma alanımızda kütle hareketlerinin varlığının o bölgedeki bitki örtüsüne bakılarak belirlenmesi, yüzey incelemesi, jeolojik inceleme (mühendislik jeolojisi ve yapısal jeolojisini) jeofizik yöntemlerden yararlanarak özellikle bölgesel olarak yapılacak olan tez çalışması parametrelerin değerlendirilmesinde izlenecek yöntemlerde, yapılacak olan araştırmalar ve deneylerle birlikte bir heyelanın doğurdukları nasıl önlemler alınması gerektiği hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Kütle hareketlerinin önlenmesi için yapılacak işlemler temel olarak; bu olayları meydana getiren sebepleri ortadan kaldırmak, kaydırıcı kuvvetleri azaltarak ve tutucu kuvvetleri çoğaltmakla olanaklıdır. Çalışmada bir heyelanın incelenmesi, takip edilmesi ve gerekli önlemlerin alınmasına bağlı olarak jeofizik yöntemlerden çok elektrotlu özdirenç, masw(sismik çok kanallı yüzey dalgası) ve yer radarı yöntemleri kullanılarak, ağaçlardan ölçümler alınarak fiziksel parametrelerinden elde edilen bulgular neticesinde, ağaçların köklerinin yana yatarak eğilme durumları incelenerek ve sonuçlandırılmıştır. Dolayısıyla jeofizik yöntemlerin uygulanması, bu tür sorunların çözülmesi ve daha detaylı bilgilere ulaşılması bakımından son derece yararlı ve önemlidir. Yamaçlarda görebildiğimiz yüzeysel kısmının yerçekiminin etkisiyle devamlı fakat çok yavaş olarak eğim yönüne doğru hareket etmesine krip denir. Çalışma alanımızdaki kütle hareketi de krip olarak belirlenmiştir. Krip'e yavaş akma da denilebilir. Bu hareket devamlı gözlenerek veya belirlenen yerlerde ölçümler yapılarak anlaşılır. Yavaş akmanın esas nedeni yerçekimidir. Ancak yer altı suyu, bitki ve ağaçların köklerinin büyümesi, zeminin de yağışın etkisiyle ıslanması, kuruması, donması gibi gelişmeler hareketin hızlanmasına neden olur.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Kütle Hareketi, Heyelan, Bitki Örtüsü, Şev

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF MASS MOVEMENTS IN THE LANDSLIDE AREAS DEPENDING ON THE TOP SURFACE PLANTS AND TREES**

**MSC THESIS**

**TURAN AKAR**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**GEOLOGICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. ALİ AYDIN)**

**DENİZLİ, JANUARY 2021**

In this study, it is aimed to determine the ground movements in landslide areas depending on vegetation cover and trees in a study area located in Şirinköy District of Merkezefendi-Denizli. Şirinköy is approximately 6 km away from Denizli center in the east. The ground movements investigation in the study area by using the data acquired from the vegetation cover, and trees and the integrated methods as geological, geophysical, and structural methods led to characterize the landslide and the adequate precautions needed. The operations to be elaborated in order to prevent landslides are basically laying on eliminating the causes of these events by decreasing the sliding forces and increasing the holding forces. In order to characterize and prevent a landslide in the study area the inclination, height, age of the trees in addition to Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR), and Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) were carried out. The results obtained from the integrated methods testified their effectiveness in such kind of studies. The continuous but very slow movement of the superficial part of the slopes down the slope is called creep and has generally a movement speed limited to few centimeters. The landslide in our study area is also determined as creep. This movement is generally noticed by continuous observation and instrumental measurements. The creeps are mainly caused by the gravity and accelerated by external factors as the presence of groundwater, wetting drying, freezing, melting, the growth of plant roots and the activities of some animals that cave the ground.

**KEYWORDS:** Mass movements, Landslide, Vegetation cover, Slope

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
3. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	3
3.1 Konum .....	3
3.2 Morfoloji .....	4
3.3 İklim ve Yağış .....	5
3.4 Bitki Örtüsü .....	5
3.5 Literatür Özeti .....	5
4. MATERYAL VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ .....	11
4.1 Jeofizik Yöntemler .....	14
4.1.1 Sismik çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemi.....	15
4.1.2 Elektromanyetik Yer Radarı (GPR) Yöntemi.....	20
4.1.2.1 Yer Radarı Yönteminin Çalışma Prensipleri.....	20
4.1.2.2 Yöntemin Üstünlük ve Zayıflıkları .....	24
4.1.3 Doğru Akım Özdirenç Yöntemi .....	25
4.1.3.1 Yöntemin Esasları .....	26
4.1.3.2 Kayaç Özdirençini Etkileyen Etmenler.....	27
4.1.3.3 Elektronik Elektrolitik ve Dielektrik İletim .....	28
4.1.3.4 Görünür Özdirenç Kavramı .....	29
4.1.3.5 Özdirenç Ölçü Alma Teknikleri (Elektrot Dizilimleri).....	31
4.1.3.5.1 Schlumberger Elektrot Dizilimi.....	31
4.1.3.5.2 Wenner Elektrot Dizilimi.....	32
4.1.3.5.3 Wenner-Schlumberger Elektrot Dizilimi.....	33
4.1.3.5.4 Dipol-Dipol Elektrot Dizilimi.....	34
4.1.3.5.5 Pol-Dipol Elektrot Dizilimi .....	35
4.1.3.5.6 Pol-Pol Elektrot Dizilimi .....	35
5. GENEL JEOLJİ.....	36
5.1 Genel Jeoloji.....	36
5.1.1 Neojen Öncesi Temel Birimler .....	36
5.1.1.1 Bayıralan Formasyonu (Tob).....	36
5.1.2 Denizli Grubu .....	37
5.1.2.1 Kızılburun Formasyonu (Tk) .....	37
5.1.2.2 Sazak Formasyonu (Ts).....	37
5.1.2.3 Sakızcılar Formasyonu .....	38
5.1.2.4 Kolonkaya Formasyonu .....	38
5.1.3 Kuvaterner Yaşlı Çökelleri .....	39
5.1.3.1 Asartepe Formasyonu.....	39
5.2 Yapısal Jeoloji .....	41

<b>6. HEYELAN VE ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>43</b>
6.1 Heyelan.....	43
6.2 Heyelan Çeşitleri .....	43
6.3 Heyelanın Kısımları .....	46
6.4 Kütle Hareketlerinin Oluşum Şekilleri.....	47
6.4.1 Düşme .....	47
6.4.2 Devrilme .....	48
6.4.3 Kayma .....	48
6.4.4 Yayılmalar .....	50
6.4.5 Akmalar .....	51
6.4.5.1 Hızlı Akma.....	51
6.4.5.2 Yavaş Akma (Krip).....	52
6.5 Heyelanların Nedenleri ile İlgili Yaklaşımlar .....	54
6.5.1 Morfolojik Nedenler .....	54
6.5.2 Jeolojik nedenler .....	54
6.5.3 Fiziksel Nedenler .....	55
6.5.4 İnsan Nedenleri .....	55
6.6 Şev Stabilitesi .....	55
6.7 Arazide Yapılabilecek Deneyle.....	56
<b>7. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR .....</b>	<b>57</b>
7.1 Çalışma Alanındaki Zemin ve Ağaçlardan Elde Edilen Veriler .....	57
7.1.1 Çalışma Alanındaki Ağaçların Genel Özellikleri .....	66
7.1.2 Arazinin Topoğrafya Haritası .....	69
7.1.3 Zeminin ve Ağaçların Doğrultu Haritası .....	70
7.1.4 Zeminin ve Ağaçların Eğim Haritası .....	71
7.1.5 Arazide Bulunan Ağaçların Yaş Haritası.....	73
7.1.6 Arazide Bulunan Ağaçların Boy Haritası .....	74
7.1.7 Arazide Bulunan Ağaçların Gövde Kalınlık Haritası.....	75
7.1.8 Gül Diyagramları .....	76
7.1.8.1 Zemin İçin Gül Diyagramları.....	77
7.1.8.2 Ağacın 0,5 m Yüksekliği İçin Gül Diyagramları.....	78
7.1.8.3 Ağacın 1,0 m Yüksekliği İçin Gül Diyagramları.....	79
7.1.8.4 Ağacın 1,5 m Yüksekliği İçin Gül Diyagramları.....	80
7.2 Jeofizik Çalışmalar .....	81
7.2.1 Çoklu Elektrot Özdirenç Yöntemi Veri Toplama ve Veri İşleme.....	81
7.2.2 Yer Radarı Yöntemi Veri Toplama ve Veri İşleme.....	84
7.2.3 MASW Yöntemi Veri Toplama ve Veri İşleme .....	85
7.2.4 Jeofizik Veri Toplanmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler .....	87
7.2.5 Jeofizik Verilerin Yorumlanması.....	88
<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>96</b>
<b>9. KAYNAKÇA .....</b>	<b>98</b>
<b>10. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>110</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası. ....	3
Şekil 3.2: Arazinin topoğrafya haritası. ....	4
Şekil 4.1: İnceleme alanında drone ile çekilen hava fotoğrafları. ....	11
Şekil 4.2: Artım burgusu ile ağaçlardan örnek alınması. ....	12
Şekil 4.3: Arazide yapılan jeofizik ölçümler(yer radarı, ç.e.ö. masw yöntemleri). ....	13
Şekil 4.4: Arazide yapılan diğer çalışmalar (gövde kalınlığının ölçülmesi ve pusula ile yapılan ölçümler). ....	14
Şekil 4.5: Aktif kaynaklı MASW yönteminin temel işlem adımları (Dikmen ve diğ. 2009)'dan düzenlenerek alınmıştır).....	16
Şekil 4.6: MASW veri toplama düzeneği (Park ve diğ. 1998). ....	17
Şekil 4.7: Homojen ortamda faz hızı (A), düşey olarak homojen olmayan ortamda faz hızını dalga boyuna bağlı değişimi (B) (Strobbia 2005).....	18
Şekil 4.8: Faz hızının frekansın bir fonksiyonu olması sonucu oluşan dispersiyon eğrisi (Strobbia 2005). ....	18
Şekil 4.9: Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrilerindeki temel mod ve yüksek modların görünümü (Dikmen ve diğ. 2009). ....	19
Şekil 4.10: EM dalganın yayılımı (Conyers 2004). ....	20
Şekil 4.11: GPR yönteminde ölçü almanın genel görünümü (Kesemen 2007).....	21
Şekil 4.12: Yarı sonsuz homojen ortamda akım ve potansiyel çizgilerinin dağılımı.....	27
Şekil 4.13: Akımın verildiği (A) ve gerilimin ölçüldüğü (B) varsayılan noktalar (Başokur 2004).....	29
Şekil 4.14: Akım ve gerilim elektrotları arasındaki uzaklıklar (Başokur 2004).....	30
Şekil 4.15: Schlumberger elektrot dizilimi (Karaaslan 2015). ....	32
Şekil 4.16: Wenner elektrot dizilimi (Karaaslan 2015). ....	32
Şekil 4.17: Wenner elektrot dizilimleri çeşitleri (Dağlı 2011). ....	33
Şekil 4.18: Wenner-Schlumberger elektrot diziliminde elektrotların konumları ve çok kanallı veri toplama düzeneği (Loke, 2000; Öztürk (2004) tarafından düzenlenmiştir).....	34
Şekil 4.19: Dipol-Dipol elektrot dizilimi (Başol 2005). ....	34
Şekil 4.20: Pol-Dipol elektrot dizilimi (Başol 2005). ....	35
Şekil 4.21: Pol-pol elektrot dizilimi (Karaaslan 2015). ....	35
Şekil 5.1: İnceleme alanının jeoloji haritası (Semiz 2018). ....	39
Şekil 5.2: Denizli havzasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Şimşek ve diğ. 1984).....	40
Şekil 5.3: Türkiye'nin üç ana Neotektonik bölgesi vardır (Şengör 1980).....	41
Şekil 6.1: Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türleri (Varnes 1978). ....	45
Şekil 6.2: Heyelan kesiti ve kısımları (Erguvanlı 1982).....	46
Şekil 6.3: Düşmeye örnek bir heyelan (Pehlivan 2019). ....	47
Şekil 6.4: Devrilmeye örnek bir heyelan. ....	48

<b>Şekil 6.5:</b> Düzlemsel kayma (1, 2) ve kama tipi kayma (3, 4) türü stabilite yenilmeleri (Varnes 1978).....	49
<b>Şekil 6.6:</b> Düzlemsel kayma ve kama tipi kayma türü stabilite yenilmelerinin kinematik analizi (Varnes 1978).....	49
<b>Şekil 6.7:</b> Dairesel kayma yapısının genel şematik görünümü (Varnes 1978).	50
<b>Şekil 6.8:</b> Yanal yayılmaya örnek kütle hareketi (Yıldırım 2002).	51
<b>Şekil 6.9:</b> Arazi de yer alan ağaçların gövdelerinde gerçekleşen bükülmeler.	53
<b>Şekil 6.10:</b> Kripin karakteristik belirtileri; eğilmiş ağaç gövdeleri bükülmüş çit sırtıkları, telgraf direklerinin sapsması, dışa eğimli yerli kaya uçları, kırılıp aşağı doğru bükülmesi ve sonra yamaç boyu dökülmesidir.....	53
<b>Şekil 7.1:</b> İnceleme alanındaki ağaçların özellikleri ( <a href="https://denizliobm.ogm.gov.tr/">https://denizliobm.ogm.gov.tr/</a> ) düzenlenerek alınmıştır.....	66
<b>Şekil 7.2:</b> Heyelandan etkilenen ağaçların ortaya çıkardığı bazı durumlar (ağaç gövdelerinin moloz akması sonucu toprağa gömülmesi, eksantrik gövde oluşumu, ağaç köklerinin ortaya çıkması).....	67
<b>Şekil 7.3:</b> Arazide çekilmiş ağaçların eğim yönünü gösteren hava fotoğrafı...	68
<b>Şekil 7.4:</b> Topoğrafya haritası üzerinde yavaş akmanın hangi yönlerde olduğunun basit gösterimi.....	69
<b>Şekil 7.5:</b> Zeminin ve ağaçların doğrultu haritası.....	70
<b>Şekil 7.6:</b> Zeminin ve ağaçların eğim haritası.....	71
<b>Şekil 7.7:</b> Arazide yer alan ağaçların yaş haritası.....	73
<b>Şekil 7.8:</b> Arazide yer alan ağaçların boy haritası.....	74
<b>Şekil 7.9:</b> Arazide bulunan ağaçların farklı yüksekliklerden (0.5-1.0-1.5)m ölçülerek hazırlanan gövde kalınlıkları haritası.....	75
<b>Şekil 7.10:</b> Doğrultuya ait gül diyagramı.....	77
<b>Şekil 7.11:</b> Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.....	77
<b>Şekil 7.12:</b> Doğrultuya ait gül diyagramı.....	78
<b>Şekil 7.13:</b> Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.....	78
<b>Şekil 7.14 :</b> Doğrultuya ait gül diyagramı.....	79
<b>Şekil 7.15:</b> Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.....	79
<b>Şekil 7.16:</b> Doğrultuya ait gül diyagramı.....	80
<b>Şekil 7.17:</b> Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.....	80
<b>Şekil 7.18:</b> Ç.E.Ö yönteminde ölçü alınan yerlerin arazide gösterimi.....	81
<b>Şekil 7.19:</b> a) Ç.E.Ö yöntemin ana bileşenleri b) 2B örnek görüntüsü.....	83
<b>Şekil 7.20:</b> a), b) GPR yönteminin ana bileşenleri ve c) örnek radagram görüntüsü.....	84
<b>Şekil 7.21:</b> GPR yönteminde ölçü alınan yerlerin arazide gösterimi.....	85
<b>Şekil 7.22:</b> MASW yönteminde ölçü alınan yerlerin arazide gösterimi.....	86
<b>Şekil 7.23:</b> a), b) MASW yönteminin ana bileşenleri ve c) örnek tomografi görüntüsü.....	87
<b>Şekil 7.24:</b> 1.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri....	88
<b>Şekil 7.25:</b> 2.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri....	90
<b>Şekil 7.26:</b> 3.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri....	92
<b>Şekil 7.27:</b> 4.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri....	94

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
.....	
<b>Tablo 4.1:</b> Aktif ve Pasif kaynaklı MASW yöntemleri (Dikmen 2006). ....	15
<b>Tablo 4.2:</b> Bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri Aloğlu (2006)'dan düzenlenmiştir. ....	23
<b>Tablo 4.3:</b> GPR parametreleri arasındaki ilişki (Takahashi 2004). ....	23
<b>Tablo 6.1:</b> Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes 1978). ....	44
<b>Tablo 7.1:</b> Arazide yapılmış olan ölçümlerin sonucunda hazırlanmış tablo (Koordinatlar UTM 35 G'dir). ....	58
<b>Tablo 7.2:</b> Çok elektrotlu öz direnç yöntemine ait serimlerin koordinatları. ....	82

## SEMBOL LİSTESİ

<b>km</b>	:	Kilometre
<b>m</b>	:	Metre
<b>%</b>	:	Yüzde
<b>ms</b>	:	Milisaniye
<b>ns</b>	:	Nanosaniye
<b>m/s</b>	:	metre / saniye
<b>V<sub>s</sub></b>	:	Makaslama/Kayma hızı
<b>(λ)</b>	:	Dalga boyu
<b>V</b>	:	Faz hızı
<b>ε</b>	:	Geçirimsizlik
<b>σ</b>	:	İletkenlik
<b>μ</b>	:	Manyetik Geçirgenlik
<b>α</b>	:	Soğrulma sabiti
<b>j<sub>s</sub></b>	:	Serbest akım
<b>P<sub>s</sub></b>	:	Serbest hacim yük yoğunluğu
<b>H</b>	:	Manyetik alan şiddeti
<b>E</b>	:	Elektrik alan şiddeti
<b>B</b>	:	Manyetik akı yoğunluğu
<b>D</b>	:	Elektrik akı yoğunluğu
<b>J</b>	:	Akım yoğunluğu
<b>P</b>	:	Serbest elektrik yük yoğunluğu
<b>ΔV</b>	:	Potansiyel fark
<b>ρ</b>	:	Ortamın özdirenci
<b>I</b>	:	Akım
<b>r</b>	:	Uzaklık
<b>G<sub>max</sub></b>	:	Maksimum kayma modülü
<b>u</b>	:	Poisson oranı
<b>E<sub>d</sub></b>	:	Dinamik elastisite modülü
<b>K</b>	:	Bulk modülü
<b>V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub></b>	:	Sismik Hız Oranı
<b>V<sub>p</sub></b>	:	Sökülebilirlik
<b>e</b>	:	Elastisite Modülü
<b>Çz</b>	:	Kızılçam
<b>L</b>	:	İşletme Sınıfı
<b>M</b>	:	Sismik büyütme katsayısı
<b>T</b>	:	Zemin büyütme katsayısı
<b>V<sub>p</sub></b>	:	P dalgası hızı
<b>V<sub>s</sub></b>	:	S dalgası hızı

<b>TÜİK</b>	:	Türkiye İstatistik Kurumu
<b>K</b>	:	Kuzey
<b>G</b>	:	Güney
<b>B</b>	:	Batı
<b>D</b>	:	Doğu
<b>MHZ</b>	:	Megahertz
<b>HZ</b>	:	Hertz
<b>EM</b>	:	Elektromanyetik
<b>GK</b>	:	Gövde Kalınlığı
<b>Ç.E.Ö</b>	:	Çok Elektrotlu Özdirenç
<b>2B</b>	:	İki Boyutlu
<b>3B</b>	:	Üç Boyutlu
<b>SSRM</b>	:	Durağan Rayleigh Dalgası Analizi
<b>SASW</b>	:	Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi
<b>MTA</b>	:	Maden Tetkik ve Arama
<b>D.A.Ö</b>	:	Doğru Akım Özdirenç
<b>MASW</b>	:	Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi
<b>GPR</b>	:	Yer Radarı
<b>KGM</b>	:	Karayolları Genel Müdürlüğü
<b>ERT</b>	:	Elektrik Özdirenç Tomografi

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bilgi ve tecrübesiyle beni koordine eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali AYDIN' a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresinde dersime giren, değerli bilgilerini sunan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Arazi, laboratuvar ve diğer çalışmalarım esnasında, tezimi bu aşamaya getirmeme yardımcı olan arkadaşım Mohamed Salem Oudeika teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve bu tezi hazırlamamda emeği geçen herkese teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bu çalışma alanında heyelanlı alanlarda üst yüzey bitki ve ağaçlarına bağlı olarak kütle hareketlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yüzey incelemesi, jeolojik inceleme (mühendislik jeolojisi ve yapısal jeolojisini) jeofizik yöntemlerden yararlanarak, özellikle bölgesel alanlarda yapılacak olan tez çalışması parametrelerin değerlendirilmesinde izlenecek yöntemlerde, yapılacak olan araştırmalar ve deneylerle birlikte bir heyelanın doğurdukları nasıl önlemler alınması gerektiği hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

Doğal afetler çevreye, doğaya ve insanlara zarar veren can ve mal kayıplarına neden olan olaylara denir. Deprem, heyelan, yanardağ patlaması, tsunami gibi jeolojik veya su taşkınları, kuraklık, orman yangınları, fırtına, hortum gibi meteorolojik nedenlerden dolayı gerçekleşmektedirler. Türkiye’de gerçekleşen olaylara baktığımızda en fazla deprem, heyelan, erozyon, yangın ve çığ gerçekleşmektedir (Ergünay 2007).

Türkiye’de en fazla depremler ve heyelanlar görülmektedir. Heyelanların çoğu da Karadeniz bölgesinde özellikle yağış sonrası görülmektedir. Karadeniz bölgesinde heyelanlar, depremlerden daha fazla öneme sahiptirler (Dağ ve Bulut 2012).

Heyelan, yamaç eğiminin olması gerekenden fazla olması sonucu yer çekiminin etkisiyle kütlenin durağan olmayan kısımlarının yamaç eğimi boyunca hareketi sonucunda şekil ve yer değiştirmesidir (Öztürk 2002).

Çalışma alanında yapılacak olan jeofizik yöntemlerle (çok elektrotlu öz direnç, masw ve yer radarı) birlikte bu bölgedeki ağaçlarda yapılan ölçümler neticesinde arazide yavaş akmadan kaynaklanan ağaç köklerinin ve gövdelerinin bükülmesi belirlenmiştir.

## 2. ÇALIŞMANIN AMACI

İnceleme yapılan heyelanlı alanda bulunan bitki ve ağaçlara bağlı olarak kütle hareketlerinin varlığının belirlenmesi ve nasıl önlemler alınması gerektiği araştırılarak değerlendirilmiştir. Denizli Orman Bölge Müdürlüğü ekipleriyle birlikte çalışılarak arazide bulunan ağaçlar hakkında detaylı araştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda jeofizik yöntemlerden (çok elektrotlu öz direnç, masw ve yer radarı yöntemleri) arazide uygulanarak bir sonuç elde edilmiştir. Dolayısıyla jeofizik yöntemlerin uygulanması bu tür sorunların çözülmesine ve daha detaylı bilgiler elde edilmesine zemin hazırlamaktadır. Arazide yapılan çalışmalar uygulanabildiğinde bu tür durumlarda ve arazilerde yaşanan sorunların çözüme kavuşması daha ucuz ve daha pratik bir şekilde gerçekleşebilecektir.

Bu tarz çalışmaların pratik olarak özellikle yerleşim alanlarında bir gösterge olarak kullanılabilmesi basit gözlemsel mühendislik çalışması olduğunu ve bu gibi alanlarda gerekli çalışmalar yapılmazsa bazen yer bilimlerinin çalışmalarının bile etkin bir veri olmayacağını tek bir yöntem veya birçok yöntem yapılsa bile düzgün sonuçlar veremeyeceğini çalışma alanında kütle hareketinin olup olmadığını hiçbir şekilde belirleyemeyeceğini var ise bu ağaç ve bitki örtüsünün saha çalışmalarına eklenmesi gerektiğini amaçlamıştır.

Burada asıl amaç bir bölgedeki zemin ve ağaçların doğrultuları, eğim yönleri, eğim miktarlarının ortaya çıkarılmasıdır. Bunun sonucunda şev kayma yüzeyinin hangi yönde ve miktarda olduğu belirlenmiş ağaçlarda da bu kaymanın etkisiyle ortaya çıkan durum inceleme alanında kütle hareketlerinin varlığının ağaçları nasıl etkilediği ve ağaçlarında bu duruma nasıl tepki verdiği ortaya koyulacaktır.

İnceleme alanında yer alan birimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kayma yüzeyinin belirlenmesi ve sebebinin nelerden kaynaklandığı ortaya koyulacaktır.

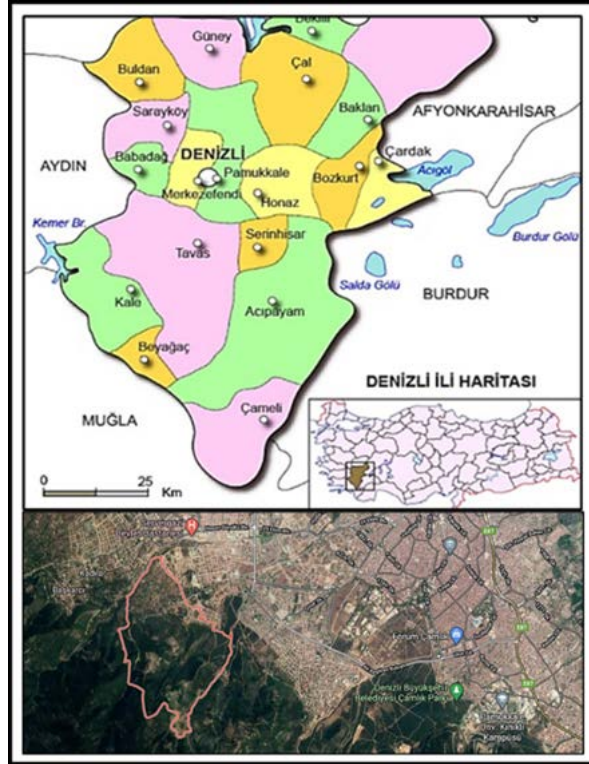


### 3. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanı Türkiye'nin güneybatısında yer alan Denizli ilinin doğusunda Merkezefendi İlçesine bağlı Şirinköy Mahallesiinde yer almaktadır. Bu kısımda konum, morfolojik özellikler olmak üzere alt başlıklar şeklinde açıklanmıştır.

#### 3.1 Konum

Anadolu Yarımadası 'nın güneybatısında Ege Bölgesinin doğusunda yer alan Denizli İli, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri arasında bir geçiş durumundadır. Coğrafi olarak 28030' 30010' doğu meridyenleri ile 36050' - 38030' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Doğusunda Burdur ve Afyonkarahisar, batısında Aydın ve Manisa, kuzeyinde Uşak ve güney tarafında ise Muğla illeri ile komşu durumundadır. Yüzölçümü 12134 km<sup>2</sup> olmakla birlikte Türkiye yüzölçümünün %1,5 ve Ege Bölgesinin de %18,5 gibi bir bölümünü kapsamaktadır. Şirinköy ise coğrafi olarak 37° 46' 9.2676" Kuzey ve 29° 2' 9.1572" Doğu da yer almaktadır (Şekil 3.1).



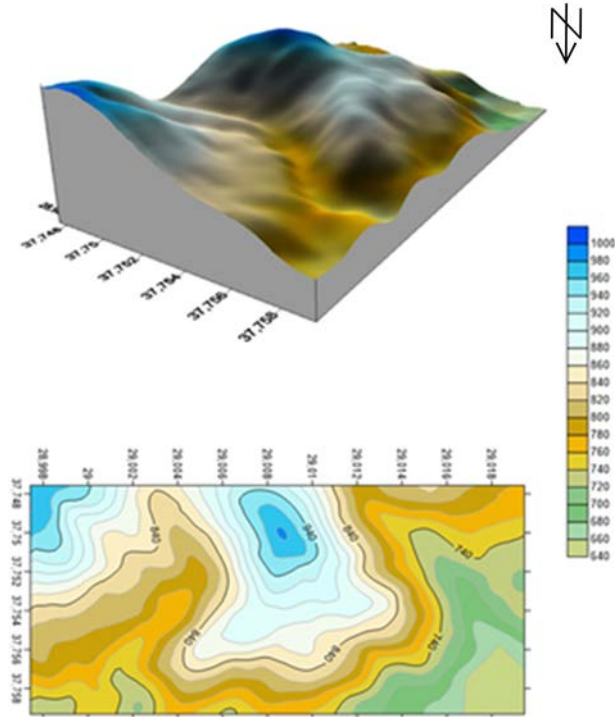
Şekil 3.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası.

### 3.2 Morfoloji

Denizli ilinin %47'si dağlar, %28'i ovalar, %23'ü platolar ve %2'si yaylalardan meydana gelmektedir. Deniz seviyesine göre en alçakta Sarayköy ilçesi (170 m), en yüksekte ise Honaz ilçesinde bulunan Honaz dağı (2571 m) yer almaktadır. Denizli ilinin rakımı 354 m'dir. Ayrıca Honaz dağı 2571 m yüksekliğiyle Ege bölgesinin en yüksek bölgesi konumundadır. Denizli'de farklı yüksekliklere sahip Akdağ, Bozdağ, Karcı, Eşeler ve Burkaz dağlarında yer almaktadır (Şekil 3.2).

Denizli'de Çardak, Çivril, Baklan, Çürüksu, Sarayköy, Tavas ve Acıpayam ovaları, Çameli, Karayayla, Uzunpınar yaylalarında düz alanları, Büyük Menderes, Çürüksu, Akçay ve Kelekçi vadileri bulunmaktadır. Denizli'deki en önemli akarsu olma özelliği taşıyan Büyük Menderes nehri Ege bölgesinde de önemli bir yere sahiptir.

Denizli'nin Çardak ilçesi ile Afyonun Dazkırı ilçeleri arasında yer alan Acıgöl 44,32 km<sup>2</sup> alana sahip Denizli'deki en büyük göl özelliğindedir.



Şekil 3.2: Arazinin topoğrafya haritası.

### **3.3 İklim ve Yağış**

Topoğrafik olarak oldukça engebeli bir arazi yapısına sahip olan inceleme alanının iklimi İç-Batı Anadolu iklimidir. Ege Akdeniz ile karasal İç Anadolu iklim arasında karakteristik bir geçiş teşkil eder. Genel olarak İç Anadolu iklimine daha yakın olduğu söylenebilir. Çünkü yıllık ortalama yağış miktarı kıyı Ege bölgesine göre daha az olduğu gibi yıllık ortalama sıcaklık değerleri de İç Anadolu iklimine daha yakındır. Çalışma alanında birçok akarsu kaynağı yer almaktadır. Denizli'ye yağış en fazla kışın olduğunda akarsuların debisi de kışın artmakta, yazın ise azalmaktadır. Ayrıca mevsimsel oranda artıp azalan akarsularda mevcuttur. Çalışma alanı yakınlarında Kavaklıdere, Ballıkavak ve Söğütçük akarsuları bulunmaktadır.

### **3.4 Bitki Örtüsü**

Denizli'nin yarısı %51 ormanlarla kaplıyken, çayır ve meralar %10, ekili ve dikili arazi %35', ekime müsait olmayan kısmı %4'tür. Denizli'nin bitki örtüsünü çoğunlukla orman ağaçları ile Akdeniz iklimine has makiler meydana getirir.

### **3.5 Literatür Özeti**

Çalışma alanı ve çevresinde geçmişten günümüze kadar farklı birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Denizli ve çevresini yüzeyleyen kaya birimleri; Neojen öncesi temel kayaları, Neojen birimleri ve Kuvaterner çökelleridir. Neojen öncesi temel kayalar özellikle havzayı çevreleyen, yüksek ve dağlık alanlarda görülür. Bunların çoğu Menderes Masifine ait metamorfik kayalardır. Farklı yerlerden alınan jeoloji kesitlerine baktığımızda Menderes metamorfikleri yaşlıdan gence doğru sıralandığında; gnays, şist, kuvarsit ve mermerlerle gösterilmektedirler. Neojen birimleri ise; alüvyal yelpaze, yelpaze deltası, göl ve akarsu ortamlarında depolanarak, graben dolguları olarak isimlendirilecek çökellerden oluşmaktadır (Şimşek 1984).

Sözbilir (1995), Denizli'nin doğusunda yer alan Tersiyer yaşlı birimlerin sedimentolojik özelliklerini incelemiş ve Denizli molası olarak tanımlanan birime Çaykavuştu Formasyonu adını vermiştir.

Önay (1946), Babadağ ilçesinde gerçekleşen heyelanları ve nedenlerini araştıran ilk araştırmacıdır, aynı zamanda da ilçenin jeolojisi hakkında da incelemeler yapmış ve yorumlamıştır.

Şimşek (1984), Denizli de bulunan litolojik birimlerin haritalanmasına ve tanımlamalarına yer vermiştir.

Özpınar ve diğ. (1999), Çalışmalarında Babadağ ve yakın çevresinin yapısal jeolojisine, deprem, kütle hareketlerine ve uygulamalı jeolojisi yer verilmiştir.

Gökgöz (1999), Babadağ ilçesinin genel jeolojisi, yapısal jeolojisi ve hidrografik özelliklerini incelemiştir.

Ormanlar heyelanların gerçekleşmesini önemli derecede azaltmaktadırlar (Rice 1977). İnsanların tahribatına uğramamış ormanlar ile kapalı havzalarda gerçekleşen heyelanların gerçekleşmesi genellikle düşüktür (Forbes ve Broadhead 2011). Rickli ve Graf (2009), açık alanlarda ormanlık alanlara oranla daha fazla heyelan olduğunu ifade etmektedirler. İnsanların ormanlık alanları yok ederek yapılaşmanın artmasıyla birlikte ormanlık arazilerin heyelanlara duyarlı dik arazilerde olmasını ifade eden Rickli ve Graf (2009), nadiren ormanlık yamaçların, açık alanlara göre daha stabil olduklarını ifade etmektedir.

Ormanlarda bulunan ağaç ve bitkilerin yaşları da heyelanlar ile etkileşimlerinde önemli derecede yer almaktadırlar. Yaşı büyük olanların kök sistemi daha gelişmiş olduğu için heyelanlardan kaynaklanan erozyon ve derelere malzemenin taşınmasını genç olan orman örtüsüne göre 4-5 kat daha da azaltmaktadırlar (Sidle 2008).

Ormanların koruma özellikleri hem toprak altı hem de toprak üstünü etkilemektedir (Sakals ve diğ. 2006). Aynı ortamda yetişen birbirine benzeyen bitkiler ve ağaçlar yamaçta kısmen yüzeysel erozyona karşı en etkili korumayı sağlamakta, sığ kütle hareketlerine karşı ise belirli miktarda engelleyici rol oynamaktadır (Görcelioğlu 2004).

Heyelan bitki örtüsü, arazi tahribatı ve insan faaliyetleri tarafından etkilenen yağış ve sismik olayların sıklığı ve şiddeti tarafından kontrol edilen, yapay veya doğal şev duraysızlıklarıdır (Soeters ve Van Westen 1996).

Kütle hareketleri yerçekiminin de etkisiyle yeryüzünün aşağıya doğru hareket ederek, şekil ve yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Bu tür olaylar, olayın meydana geldiği yere, hareket eden malzemenin türüne, hızına, şekline, hareket yüzeyinin olup olmamasına, hareket yüzeyinin şekline göre özel isimler alır. Bu parametrelere göre de genel olarak yamaç hareketleri ya da şev hareketleri olarak adlandırılır. Ayrıntılı olarak da düşme, akma, kayma, devrilme, heyelan, çökme gibi isimler alır. Bazen de bunların ikisi ya da üçü bir arada oluşur. Bunlara da karmaşık kütle hareketleri adı verilir (Erguvanlı 1994).

Heyelanlar doğal afetler olmalarına karşılık doğada gözlemlenebilir ve çoğu zaman oluşumunun önceden tahmin edilebilir, önlenir. Nitekim Prof. Dr. Halil Kumsar'ın araştırma ekibi ile 1996 yılında başlattığı çalışmalar neticesinde Babadağ'ın Gündoğdu Mahallesi 'Afete Maruz Bölge' ilan edilerek, bölgedeki yaklaşık 2000 kişi heyelan afeti meydana gelmeden tahliye edilmiştir. Proje afet yaşanmadan olabilecek vahim sonuçları ön görüp yaşanabilecek can kayıplarının önüne geçmek anlamında Dünya'da sayılı ve Türkiye'de ise ilk olma özelliğini taşıyor (<http://haber.pau.edu.tr/tr/Haber/prof-dr-kumsar-ve-ekibinin-uluslararası-duzeydeki-projesi-2000-kisinin-hayatini-kurtardı=09.11.2018> 'de erişildi).

Kütle hareketleri birçok durumda meydana gelebilir. Bunlar; değişik geometrik yapıda (karışık, düzlemsel, dairesel) farklı hızlarda (yavaş, hızlı) daha farklı birçok durumda gelişmektedirler.

Jeolojik formasyonun kaya olması durumunda bu birimin yapısal özellikleri (çatlak, tabaka ve şistozite özelliği) konumu ve yamaç düzlemi ile verdiği geometrik konuma göre kinematik olarak tanımlanan kayma şeklidir. Bu yapısal özelliklere bağlı olarak yapısal özelliğin ekseninden dönme, devrilme şeklinde bir yenilme gerçekleşmektedir. Moloz ve toprak devrilmesi daha ziyade birimin kohezyonu ve yamaç eğimi daha etkin parametre olup, yer altı suyu, çökelme hızı, geometrisi, donma-çözülme gibi etkiler de hareketin gerçekleşmesinde önemli etkenlerdir (Karayolları Genel Müdürlüğü 2015).

Zeminlerin, molozların ve blok halde bulunan kayaların su içerikleri fazla miktarda olduklarında sıvı gibi özellik göstererek hareket etmeleri akma olarak nitelendirilmekte (Vallejo ve Ferrer 2014) ve durağan olmayan malzemelerin yavaş veya hızlı bir şekilde yer çekiminin de etkisiyle eğim aşağı hareket etmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Ulusay 2010).

Yayılmalar genel anlamda şu şekillerde gerçekleşmektedirler. Parçalı kaya, moren ve molozlarda moloz akması şeklinde tabandaki sağlam ve dayanımlı formasyonun sınırının geometrisine bağlı kalarak veya dere yatağı boyunca moloz akması şeklindedir. Toprak akması da ayrılmış zeminlerin su içeriğine göre sıvı hale gelmeleriyle birlikte toprak veya çamur akması şeklinde görülmektedirler (Karayolları Genel Müdürlüğü 2015).

Yamaç duraylılığının incelenerek değerlendirilmesi ve heyelanlardaki bazı değişkenlerin tanımlanmasını gerektirmektedir. Değerlendirme süreci boyunca, duraylılık ve değişkenlerin tanımlanarak izlenmesini kapsamaktadır (Gabrieli ve diğ. 2016).

Heyelanların boyutlarının incelenmesi için jeofizik yöntemlerin kullanılması, zemin görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler sayesinde giderek artmaktadır (Jongmans ve Garambois 2007). Yamaç duraylılığı analizlerine uygulanan jeofizik yöntemler Hack (2000) tarafından ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.

Heyelan tehlikesini daha iyi anlayabilmemiz için kayan kütlelerin yapısını ve hareketlerini incelememiz çok önemlidir fakat bunu sağlayan derin sondajlar çok maliyetli olması açısından jeofizik yöntemlere başvurarak amacımıza daha pratik bir

şekilde ulaşmış ve maliyetini de en aza indirgeyerek yerin iç yapısı hakkında daha detaylı bir şekilde özellikle iki boyutlu bilgiler edinebiliriz. Ama çok gerekmesi halinde sondaj da yapabiliriz (Sass ve diğ. 2008).

Öschingen de yapılan bir çalışmada tekil heyelan kütlelerinin toplam heyelan alanı içinde yanal ve dikey boyutları hakkında bilgi sahibi olabilmek amaçlanmış bundan dolayı da jeofizik yöntemlere başvurularak sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırılarak sonuçların yamaç duraylılığı analizi ile heyelan duyarlılığı haritalarının hazırlanması için gerekli olanaklar sağlanmıştır. Böylece jeofizik yöntemler ile Öschingen heyelanının tabanı bulunarak bu sonuçlar penetrasyon testi ile de karşılaştırılarak doğru sonuçlara ulaşılmıştır. İnceleme alanının jeomorfolojisi net bir şekilde anlaşılmamış ERT, GPR yöntemleri yapılarak heyelan bloklarının varlığının olmadığı da bulunmuş jeofizik yöntem analizlerinin sonuçları da sondajlarla birlikte uyumuştur. Elektrik özdirenç analizlerinin de en iyi ve en güzel şekilde doğru sonuçlar verdiğini de şuradan anlamaktayız ki siltli, nispeten ıslak ve iletken olan alt katmanın kalınlığı hakkında en doğru sonuçlara ulaşılmıştır (Sass ve diğ. 2008).

Güney İtalya'da heyelanların görüldüğü en fazla şehirler Campania, Calabria, Basilicata ve Sicilya bölgelerinde kaydedilmiştir. Basilicata, her 100 km'de 27'den fazla heyelan bölgesi ile en yüksek heyelanın gerçekleştiği ve bunun sebebinin de killi malzemelerden, fazla yağıştan, ormanlık arazileri tahribatı ve azaltılmasından, kaynaklanmaktadır. Burada gerçekleşen karmaşık yapılı dönme ve ötelenmeden dolayı yamaç yenilmesinde elektrik özdirenç yöntemi uygulanmıştır. Burada yapılan elektrik özdirenç analizleri ile sondaj verileri karşılaştırılmış ve sondaj verilerinin elektrik özdirenç yöntemiyle iki boyutlu olarak ifade edilmesine olanak sağlanmıştır (Bari ve diğ. 2011).

Yer radarı (GPR) ilk olarak 1929 da Avusturya'da buz kütlelerinin su altındaki derinliğini bulmak için Stern tarafından yapılmıştır (Stern 1930).

RADAR kelimesi 1934'te "Radio Detection And Ranging" kelimesinden türetilmiştir (Buderer 1996).

Yer radarı, jeofiziksel tabanlı bir yöntem olarak 10 MHz ile 2 GHz arasında EM Dalgaları yer içine gönderir ve bunların yayılımını, yansımalarını ve saçılmasını

inceler. Yer radarı yüksek çözünürlüklü elektromanyetik bir tekniktir. Bu teknik yerin sığ alt yüzeyinin araştırılmasında birincil yöntemdir (Daniels 1996).

Yerin sığ sismik hız özelliklerini ortaya koymak için son yıllarda en çok kullanılan tekniklerden biri MASW tekniğidir (Park ve diğ. 1999). MASW tekniğinin temel hedefi faz hızının frekansla değiştiği Rayleigh dalgası dispersiyonunu elde etmek ve ters çözüm tekniği ile bunu S-dalgası hızı ve tabaka derinliğine dönüştürmektir.



#### 4. MATERYAL VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Çalışma alanında ağaçların yaşının hesaplanmasında kullanılmak üzere 50 cm'lik artım burgusu kullanılmıştır. Sahada ağaçların koordinatlarının belirlenmesi için GPS, yamaç eğiminin ve ağaçların eğiminin belirlenmesi için jeolog pusulası, ağaçların gövde kalınlıklarının ölçülmesi için de mezura kullanılmıştır. Ağaçların boyunun ölçülmesi için telefon programlarından yararlanılmıştır. Arazinin hava fotoğrafları ve ağaçların fotoğraflanmaları için drone kullanılmıştır.



Şekil 4.1: İnceleme alanında drone ile çekilen hava fotoğrafları.

Çalışma sahasının daha detaylı görülebilmesi için drone kullanılarak hava fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 4.1). Jeofizik yöntemler kullanılarak arazi hakkında daha detaylı bilgiler elde edilmiştir.

Çalışma yapılan alandan daha iyi verim elde edebilmek için heyelandan etkilenebilecek ağaçların seçilmesine özen gösterilmiştir. Seçilen ağaçlardan 50 cm'lik artım burgusu ile örnekler alınmıştır (Şekil 4.2). Seçilen ağaçların bazıları birbirine yakın olmakla beraber bazıları da birbirinden uzak tutularak geniş bir alanda tutulmuş

ve toplamda 200 ağaçtan örnek alınmıştır. Örnek alınan ağaçların uzun ve kalın gövdeli olmalarına da dikkat edilmiştir. Ağaçlar sırasıyla numaralandırılarak örnek alımları yapılmıştır. Zeminde ve ağaçlarda jeolog pusulasıyla doğrultu, eğim yönü ve eğim miktarı ölçülerek arazi defterine kaydedilmiş olup bu ölçülen verilerde bilgisayar ortamında işlenerek çalışmamız açısından önemli sonuçlar ortaya koymamıza ortam sağlamıştır. Aynı zamanda ağaçların boyları, gövde kalınlıkları ve yaşları da hesaplanarak aynı diğer veriler gibi bizim için önemli sonuçlar sağlamaktadır. Arazide artım burgusu ile elde ettiğimiz ağaçların yaş halkalarını laboratuvar ortamında bekletip kurutarak dikkatli bir şekilde incelenmiş ve sonuca bağlanmıştır. Çalışma alanına ve çalışma konusuna dair literatür araştırması yapılmış, raporlar incelenmiştir. Elde ettiğimiz bulgu ve verileri detaylı olarak değerlendirilmiştir. Arazide çekilen fotoğraflar, şekiller bilgisayar ortamında hazırlanılması da yapılmıştır. Ayrıca haritaların çizilmesi için gerekli olan programlardan SURFER, ARCGIS programları kullanılarak haritalar hazırlanmıştır.



**Şekil 4.2:** Artım burgusu ile ağaçlardan örnek alınması.



**Şekil 4.3:** Arazide yapılan jeofizik ölçümler(yer radarı, ç.e.ö. masw yöntemleri).

Arazide yapılan jeofizik çalışmalar daha sonra daha detaylı bir şekilde anlatılacaklardır (Şekil 4.3). İnceleme alanımızda yapılan çalışmalardan bazılarında örnek olarak; mezura ile ağaçların gövde kalınlıklarının belirlenmesi, jeolog pusulasıyla arazinin ve ağaçların doğrultu, eğim yönü, eğim miktarının hesaplanmasına dair fotoğraflarla gösterilmiştir (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4:** Arazide yapılan diğer çalışmalar (gövde kalınlığının ölçülmesi ve pusula ile yapılan ölçümler).

#### 4.1 Jeofizik Yöntemler

Uygulamalı Jeofizik; yer kabuğunun derinliklerindeki bölgesel anlamdaki özelliklerin değişik yöntemlerle araştırılmasıdır. Bu çalışma kapsamında uygulamalı jeofizik çalışmalarda masw (çok kanallı yüzey dalgaları), georadar (yer radarı) ve çok elektrotlu elektrik özdirenç (ç.e.ö) yöntemleri kullanılmıştır.

#### 4.1.1 Sismik çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemi

Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW- Multi Channel Analysis of Surface Wave) olarak bilinen bu yöntem artık yakın zamanlarda mühendislik sorunlarda başarılı ve kaliteli sonuçlar veren sismik yöntemlerin en önemlilerindedir. MASW yönteminin daha fazla tercih edilme nedeni S dalgası hızını belirlemek için diğer sismik kırılma yöntemlerine göre ölçü almanın kolay olması ve gürültülerden daha az etkilenmesidir. Aynı zamanda yöntem aktif kaynak kullanılarak yapılmaktadır. Yüzeğe yakın jeolojik yapıların, birimlerin belirlenmesinde bu yöntemden farklı birçok yüzey dalgası inceleme yöntemi bulunmaktadır. Aktif kaynaklı yöntemlerden SASW (Yüzey dalgalarının spektral analizi) ve MASW (Çok kanallı yüzey dalgası analizi) en fazla tercih edilenler arasındadır (Tablo 4.1) (Kanlı ve diğ. 2006). Bu yöntemlerden kaynaklanan tümüne bağlı olarak; M: Sismik büyütme katsayısı, T: Zemin büyütme katsayısı, Vs: Makaslama (Kayma) dalga hızı belirlenir. Kullanılan jeofon tümüne bağlı olarak Tablo 4.1’ de verilmiştir (Dikmen 2006).

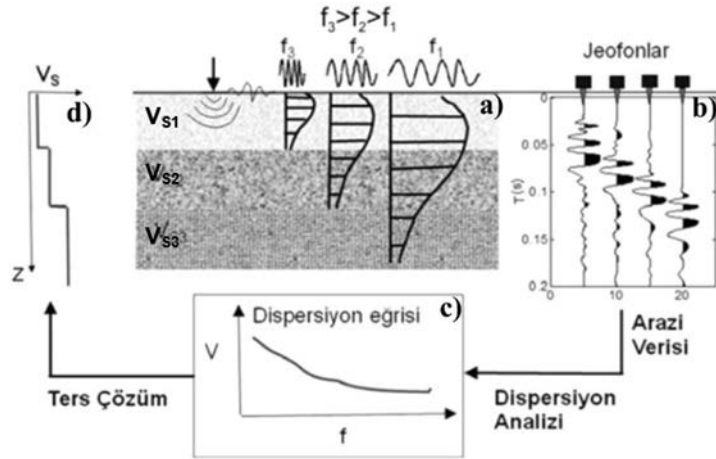
**Tablo 4.1:** Aktif ve Pasif kaynaklı MASW yöntemleri (Dikmen 2006).

Kaynak	Yöntem	Kullanılan Jeofon	İlgilenilen Faz	Hesaplanan Parametre
Aktif	Durağan Rayleigh Dalgası Analizi (SSRM)	Düşey	Rayleigh	Vs
	Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW)	Düşey	Rayleigh	Vs
	<b>Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW)</b>	<b>Düşey</b>	<b>Rayleigh</b>	<b>Vs</b>
Pasif	Spektral Oranlar Yöntemi	Yatay	S	T ve M
	Tek İstasyon Yöntemi	Yatay ve Düşey	Rayleigh	T ve M
	Dizilim Yöntemi (ReMi, Pasif uzak MASW, Pasif yol kenarı MASW)	Düşey	Rayleigh	Vs

Çalışmada aktif kaynaklı yöntem tercih edilmiştir. Bunun sebebi kaynağın yerinin bilinmesi ve sinyalin oluşturacağı sorunların ortadan kaldırılmasıdır. MASW yöntemi SASW yöntemine oranla Rayleigh verilerinin kaydedilmesinde daha doğru sonuçlar ortaya koyar, dolayısıyla bu yüzden tercih edilmiştir. 12 veya daha fazla jeofon (24, 36, 48, ...) kısa veya uzun aralıklarla alana yerleştirilerek aktif kaynak ile faz hızı ölçülür (Park ve diğ. 1999).

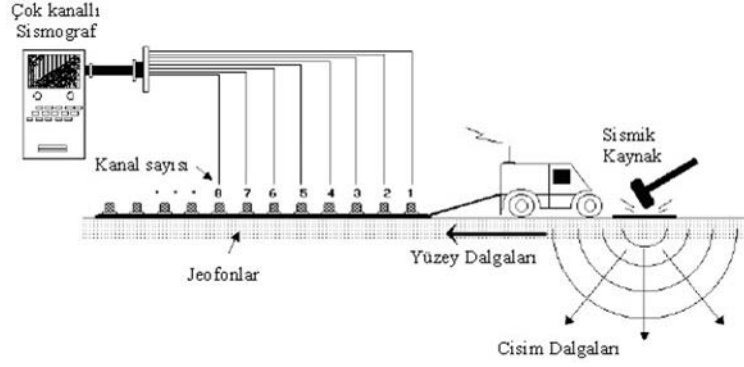
Sığ mühendislik çalışmalarında kullanılan yöntemlerden Sasw yönteminin yetersiz kalmasından dolayı MASW yöntemi çok kanallı olarak geliştirilmiştir. Bu yöntemin amacı tabakalı yer küre modeli için Rayleigh dalgasının (yüzey dalgası) dispersif özelliğinden faydalanarak S-kayma dalgası hızının derinliğe bağlı değişimini bir boyutlu elde edebilmektir. Aynı zamanda ölçü profili boyunca farklı birçok yerden atış yapılarak tomografi ölçüsü alınır ve kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) derinlik grafikleri ile birleştirilerek S dalgası hızının iki boyutlu kesiti elde edilebilir.

Şekil 4.5'i incelediğimizde a'da alıcı (jeofon) frekansının derinlikle ilişkisi, b'de jeofonlar tarafından kaydedilen sinyallerin zaman ortamındaki görünümü, c'de kaydedilen sinyallerin dispersiyon eğrisine dönüştürülmüş görünümü ve d'de dispersiyon eğrisine ters çözüm uygulandıktan sonraki 1B derinliğe bağlı S dalgası hızının değişim grafiği gösterilmektedir. MASW ölçüleri toplanması ve değerlendirilerek elde edilen  $V_s$  (makaslama/kayma hızı) kesitlerinin hazırlanması yukarıda şekilde gösterilerek ve anlatıldığı gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 4.5: Aktif kaynaklı MASW yönteminin temel işlem adımları (Dikmen ve diğ. 2009)'dan düzenlenerek alınmıştır).

Çalışma alanının da veri toplanması şu şekilde gerçekleşmektedir; kaynakla aynı doğrultu üzerine yerleştirilerek koyulmuş olan alıcılardan meydana gelen dizilimler yapılarak kayıt toplama işlemi gerçekleşmektedir. Şekil 4.6'ya baktığımızda MASW verilerinin toplanması için çok kanallı bir sismograf, alıcı jeofonlar ve bir de sismik kaynak kullanılmasıyla yapılmaktadır. MASW ölçümlerinin kaydedilebilmesi için en az 12 kanallı sismograf gerekmektedir. Kullanılan jeofonlar düşey ve 4.5 Hz veya 4.5 Hz'den küçük olmalıdır. Balyoz kullanımı ise genellikle sığ çalışmalarda tercih edilmektedir.

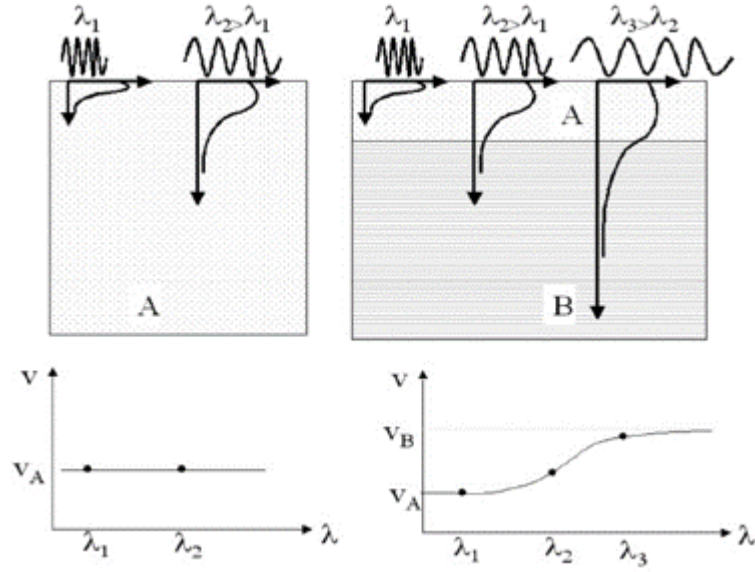


Şekil 4.6: MASW veri toplama düzeneği (Park ve diğ. 1998).

Yüzey dalgası verilerini bulabilmemiz için darbe türü kaynaklar normalde 8 Hz 'den küçük, alçak tepki frekanslı alıcılar olarak seçilmelidirler. Ground roll sinyallerini güçlendirebilmek için kaynak, alıcı, ofset, alıcı aralığı gibi veri kazanç parametreleri, kontrol edilerek ayarlanmalıdır. Veri işlemi bittikten sonra her bir atış topluluğunun Ground roll dalgası faz hızları hesaplanır. Ground roll dalgasının frekans ve faz hız dizileri başlangıç doğrusu boyunca verinin analiz edilerek hesaplanmasını gerektirir. Frekans ve faz hızı dizileri, her bir atış topluluğundan frekansa bağımlı faz hızı eğrilerini doğru bir şekilde çıkarabilmek için çok önemli bir sınırlamadır (Park ve diğ. 1999). Araştırma derinliğini belirleyen faktör, kullanılan serim uzunluğu ile kaydedilebilecek en büyük dalga boyu arasındaki ilişkidir. Jeofon aralığı ise kaydedilebilecek en küçük dalga boyu ile ilişkili olmasından dolayı sığ araştırma derinliğinin çözünürlüğünü etkileyen bir değişkendir. Yüzey dalgasının oluşturulmasında balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi enerji kaynakları kullanılabilir. Genellikle veriler 1 ms örnekleme aralığı ve 1 sn'lik kayıt uzunluğu ile toplanmaktadır. Sismik kırılma veya yansıma verisi toplanacaksa örnekleme aralığının 0.5 ms olması gerekmektedir. Çalışılan ortam hızı düşük olduğu durumlarda (örneğin derin alüvyon ortamlarda,  $V_s < 100$  m/s) daha büyük bir kayıt uzunluğunun seçilmesi gerekmektedir (Dikmen 2012). Ayrıca Sinyal/Gürültü oranını arttırmak için atış noktasında ard arda birkaç vuruş yaparak yığılma (stack) ölçüsü alınması tavsiye edilmektedir.

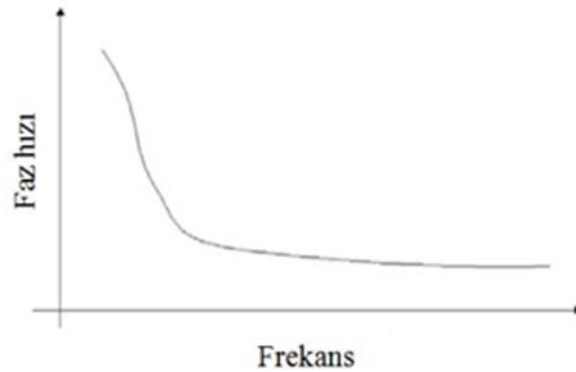
Dispersiyon eğrilerinin oluşturulması da MASW yönteminin bir diğer araştırmasıdır. Yüzey dalgaları, yayılımları sırasında düşey heterojen ortamlarda en önemli fiziksel özelliği olan dispersiyon göstermektedirler. Yüzey dalgalarının farklı frekanslarda farklı faz hızlarına sahip olmasına dispersiyon denilmektedir.

Homojen bir ortamda dalgalar farklı dalga boyunda ve farklı derinliklerde olsa bile aynı malzeme içerisinde yayıldıkları için hızları aynı olacaktır. Düşey olarak homojen olmayan bir ortamda ise farklı malzemeler içerisinde yayılan dalgalar, yayıldıkları ortamlarının özelliklerine bağlı olarak farklı faz hızlarıyla yayılım gösterirler (Şekil 4.7). Şekil 4.7’ de görüldüğü üzere A ile gösterilen homojen ortamda dalga boyu ( $\lambda$ ) artsa da faz hızı ( $V$ ) değişmezken, B ile gösterilen homojen olmayan ortamda dalga boyu ( $\lambda$ ) artarken, faz hızı ( $V$ )’nın da arttığı gözlenmektedir.



**Şekil 4.7:** Homojen ortamda faz hızı (A), düşey olarak homojen olmayan ortamda faz hızını dalga boyuna bağlı değişimi (B) (Strobbia 2005).

Yüzey dalgaları tek bir hız değerine sahip değildirler. Faz hızı frekansın fonksiyonudur, Dispersiyon eğrisi frekans ile faz hızı arasındaki ilişkiye denilmektedir (Şekil 4.8).

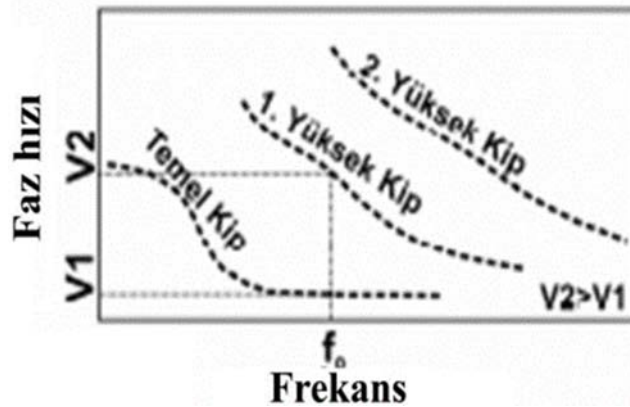


**Şekil 4.8:** Faz hızının frekansın bir fonksiyonu olması sonucu oluşan dispersiyon eğrisi (Strobbia 2005).



Yüksek frekans değerlerindeki faz hızları yüze yakın tabakaların Rayleigh dalgası hızını temsil ederken, düşük frekanstaki faz hızları da daha derin tabakaların Rayleigh dalgası hızını temsil etmektedir (Strobbia 2005).

Şekil 4.9 'de frekansın bir fonksiyonu olan faz hızının frekansla ters orantılı olduğu görülmektedir. Yüze dalgası analiz için temel mod (kip) kullanılmaktadır. Temel mod yerine yüksek modların kullanılması gerçek hız değerinden daha yüksek bir hızın elde edilmesine sebep olabilir.



**Şekil 4.9:** Yüze dalgalarının dispersiyon eğrilerindeki temel mod ve yüksek modların görünümü (Dikmen ve diğ. 2009).

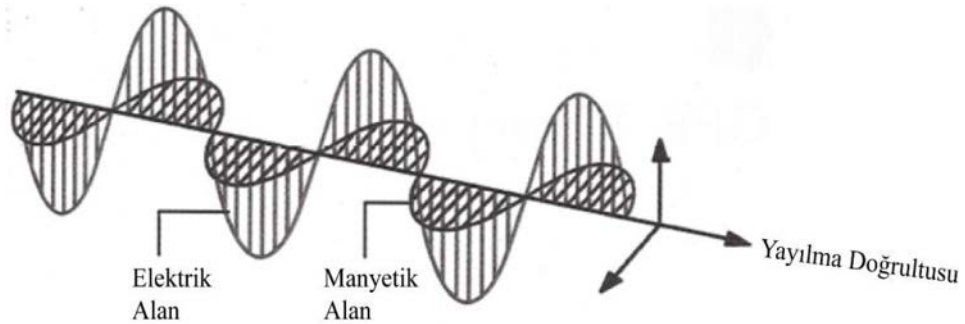
S dalgası hızının ( $V_s$ ) belirlenebilmesi için dispersiyon eğrisine uygulanan ters çözüm işlemi MASW yönteminin son işlemidir. Dispersiyon verilerinin ters çözümünde, genellikle yüze dalgalarının temel modu kullanılır. Fakat tabakalı yapılarda, yüze dalgalarının yüksek modları da gözlemlenir. Normal dispersiyon gözlenen bir ortamda, yani hızın derinlikle arttığı bir yer yapısında, yüze dalgalarının temel modu baskın durumdadır ve temel modun kullanıldığı ters çözüm işlemlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Park ve diğ. 1999). Ters çözüm işlemi teknolojinin gelişmesine bağlı olarak kolaylıkla yapılabilmektedir. Ters çözüm işlemi için genellikle en küçük kareler yöntemi tercih edilir.

Çalışmamızda MASW yönteminin kullanılmasının amacı ise, P dalgası hız ( $V_p$ ) analizi ile yüksek hızlı bir katmanın altında düşük hızlı katmanın bulunması durumunda düşük hızlı katmanın varlığı belirlenememektedir. MASW yöntemi ile S dalgası hız ( $V_s$ ) analizi yapıldığı için bu sorun söz konusu olmayacaktır. Bu nedenle, heyelan alanında içerisindeki olası bozunma bölgelerinin veya kırık, çatlak, boşluk gibi yapıların varlığını belirleyebilmek için MASW yöntemi tercih edilmiştir.

## 4.1.2 Elektromanyetik Yer Radarı (GPR) Yöntemi

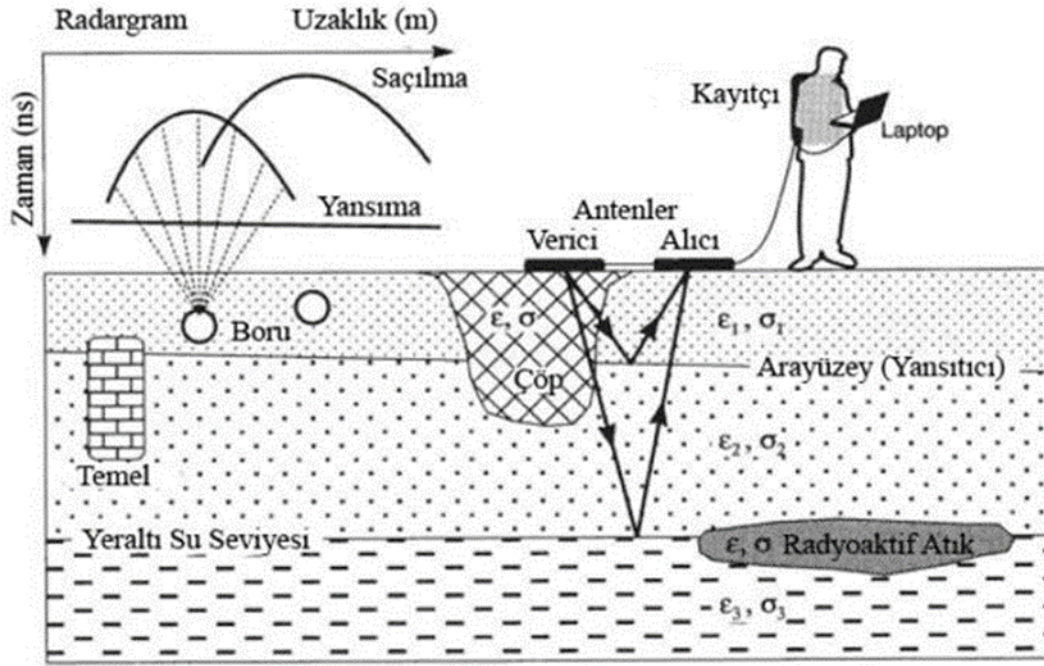
### 4.1.2.1 Yer Radarı Yönteminin Çalışma Prensibi

Araştırılmak istenen yüzeylerin sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyen elektromanyetik (EM) yöntemlere, Yer Radarı (GPR-Ground Penetrating Radar) denilmektedir. Kaynak tarafından araştırılmasını istediğimiz ortama gönderilerek yüksek frekanslı EM alanlar kullanılarak araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Elektromanyetik dalgalar birbirine dik bir yönde yayılma doğrultusu boyunca ilerleyen alanlardan meydana gelmektedirler. Elektromanyetik alanlar elektrik ve manyetik alanların bileşenlerinden meydana gelmektedirler. (Şekil 4.10). Elektrik ve manyetik alanları, yeraltında bulunan malzemelerden etkilenerek değişim göstermekte ve yer altındaki yapıların elektriksel özelliklerinin değişimlerini gözlemlememize imkan sağlamaktadır (Annan 2003).



Şekil 4.10: EM dalganın yayılımı (Conyers 2004).

Kullanılan yöntemde, verici antenle yeraltına gönderilen yüksek frekanslı EM dalgaların bir kısmı, yeraltında farklı dielektrik özelliklere ( $\epsilon$ : geçirimsizlik,  $\sigma$ : iletkenlik ve  $\mu$ : manyetik geçirgenlik) sahip yüzeylerden yansırken, diğer kısmı da daha derin ortamlara yol kat etmektedir (Şekil 4.11). Şekil 4.11 incelediğimizde, verici antenden gönderdiğimiz EM dalgaların yer içinde yayınımları sırasında karşı karşıya geldikleri farklı dielektrik özelliklere sahip süreksizliklerden, enerjilerinin bir bölümünün geriye yansarak yüzeydeki alıcı anten yoluyla kaydedilerek bu yayılım boyunca geçen toplam sürenin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır.



Şekil 4.11: GPR yönteminde ölçü almanın genel görünümü (Kesemen 2007).

Alıcı antenin kayıt altına almış olduğu sinyaller kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift yol seyahat zamanı nano saniye cinsinden kaydedilmektedir (Davis ve Annan 1989). Kaydedilen izlerin uzaklığa bağlı olarak yan yana getirilmesiyle ortaya çıkardığımız kesite radargram denir. Yansıyan ve iletilen sinyallerin genliği, yansıma katsayısına ve yansıma sınırındaki nesnelere bağlıdır.

Yeraltındaki yansıma yüzeyleri farklılık gösterebilirken, bu yüzeylere örnek olarak toprak-kaya ara yüzeyleri, insan yapımı objeler ve ortamdaki kırık-çatlak sistemlerinin oluşturacağı malzeme-boşluk sınırları verilebilir. Bundan dolayı GPR ölçümlerini, ortamların elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ) ve dielektrik geçirgenlik ( $\epsilon$ ) parametreleri etkilemektedirler. Bu yüzden yüksek elektriksel iletkenlik, GPR çalışmalarını sınırlayan en önemli ve dikkat edilmesi gereken faktörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek iletkenlikli zemin (yüksek kil içerikli zemin) düşük iletkenlikli zeminden (kuru kum) daha fazla enerji soğurur (Griffin ve Pippet 2002). Yüksek iletkenlikli ortamlar, iletilen sinyalin soğurulmasına ve derinliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu yüzden GPR çalışmalarında çalışılan ortamın iletkenliğinin düşük olması istenir ve ona göre ortam hazırlanır, işlem gerçekleştirilir (Aloğlu 2006).

Dielektrik geçirgenlik ( $\epsilon$ ) parametresi ise elektriksel yalıtıklıkla aynıdır ve dielektrik bir gereç, elektrik akımına yüksek derecede direnç gösteren madde olarak

nitelendirilmektedir. Dielektrik ortamlar, elektromanyetik enerjinin büyük bir bölümünün saçılmadan farklı ortamlara geçişine imkan sağlamaktadırlar. EM dalganın yeraltındaki bir yansıtıcıdan yansiyabilmesi için istenilen durum ortamlar arasında elektriksel bir zıtlığın sağlanmasıdır. Bu olgu bağıl dielektrik anlamında düşünüldüğünde, ortaya çıkacak zıtlık artışı ara yüzeylerden kaynaklanacak yansımaların genliklerinin büyümesine neden olacaktır. Böylece ara yüzey daha keskin ve belirgin olarak istediğimiz düzeyde gözükecektir (Kurtulmuş ve Drahor 2008). Ortamların dielektrik geçirgenlikleri onların bileşimleri, nem içeriği, hacim yoğunluğu, gözeneklilik, sıcaklık ve fiziksel yapılarına bağlıdır (Olhoeft 1981).

Dielektrik geçirgenlik ve elektrik iletkenlik sudan aşırı miktarda etkilenmektedir. Bu yüzden su, GPR'ın çalışma performansını çok önemli derecede etkilemektedir (Griffin ve Pippet 2002). Tablo 4.2' de bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik sabit, iletkenlik, yayılma hızı ve soğrulma değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma değerleri Aloğlu (2006)'dan düzenlenmiştir.

Malzeme	Bağıl dielektrik sabit $\epsilon_r$	İletkenlik $\sigma$ (ms/m)	Yayılm hızı $V$ (m/sn)	Soğrulma sabiti ( $\alpha$ )
Hava	1	0	0.3	0
Buz	3-4	0.01	0.16	0.01
Su (taze)	80	0.5	0.033	0.1
Su (tuzlu)	80	3000	0.01	1000
<b>Topraklar</b>				
Kil	5-40	2-1000	0.06	1-300
Toprak (kuru)	3-5	0.01	0.15	0.01
Toprak (doygun)	20-30	0.1-1.0	0.06	0.03-0.3
Silt	5-30	1-100	0.07	1-100
<b>Mineraller</b>				
Kalsit	7.8-8.5	$5 \cdot 10^{-10}$	0.11	$3 \cdot 10^{-10}$
Kuvars	4.2-5	$3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-12}$	0.13-0.15	$2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-12}$
<b>Tortul Kayaçlar</b>				
Kireçtaşı	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1.0
Tuz (kuru)	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Kumtaşı	4<7-12	$1 \cdot 10^{-5} - 0.7$	0.09-0.14	$5 \cdot 10^{-8} - 0.6$
Şeyl	5-15	1-100	0.09	1-100
<b>Metamorfik kayalar</b>				
Gnays	8.5	0.0003-0.02	0.10	-
Kuvarsit	-	$5 \cdot 10^6 - 100$	-	-

GPR çalışmasını etkileyen diğer bir faktör  $10^6$ 'de kullandığımız antenin frekansdır. Genellikle kullanılan anten frekansları, 25 MHz ile 1000 MHz arasında değişmektedir. Bu frekans uygulama derinliğine göre belirlenmektedir. GPR dalgalarının derinliği ve çözünürlüğü kullanılan anten frekansları belirlemektedir ve birbirleriyle ilişkilidirler (Tablo 4.3). (Takahashi 2004). Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar düşük frekanslı elektromanyetik dalgalara oranla daha yüksek ayrımlılık sağlarlar. Fakat yüksek frekanslar çok hızlı emildiği için penetrasyon derinlikleri, düşük frekanslarınkı gibi mükemmel derece de değildirler (Griffin ve Pipet 2002).

**Tablo 4.3:** GPR parametreleri arasındaki ilişki (Takahashi 2004).

GPR Parametreleri	Dielektrik Sabit		Elektrik İletkenlik		Anten Frekansı	
	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yayılm hızı	Yüksek	Düşük				
Penetrasyon	Kısa	Uzun	Uzun	Kısa	Uzun	Kısa
Dalga boyu	Uzun	Kısa			Uzun	Kısa
Çözünürlük	Düşük	Yüksek			Düşük	Yüksek

GPR 'da veriler sayısal olarak kaydedilir ve bunun sonucunda ölçümlerden alınan ham yer radarı kesiti için yorum yapmak zordur. Bu yüzden, GPR çalışmalarında en önemli bölümlerden olan veri işleme kısmı çeşitli filtre parametreleri ve teknikleri kullanılarak amaca en uygun görüntüye ulaşılması istenilmektedir (Leucci ve Negri 2006). Veri işlem aşamasında sinyal/gürültü oranı artırılması ile verilerin daha belirgin olmasını sağlayarak, çalışma amacına uygun ve ortamın elektriksel iletkenliğine göre filtre parametrelerinin doğru seçimi oldukça önemlidir.

Bu yöntem her türlü sahalarda uygulanmıştır. Özellikle boşluk, kırık, çatlak gibi yapıların aranmasında kullanıldığını düşünürsek, elektromanyetik dalganın yayılması, hızı ve yansıma şiddetleri farklılık göstermektedirler. Böylece, hava, elektromanyetik dalganın yayılması için en ideal ortamlardan biridir. Hava boşluğu ile karşılaşan elektromanyetik dalgalar aniden hızlanarak yeni ortamın ara yüzeyinden kuvvetli yansımalar göndermektedir.

Bu yüzden, özellikle karstik alanlarda ciddi boyutta tehlike oluşturan hava dolu boşlukların, kırık ve çatlakların yer radarı yöntemi ile belirlenmesi imkanı vardır (Koçaslan 2008). Bu nedenle bu çalışma kapsamında GPR ölçümlerinden olası kırık-çatlak veya boşlukların belirlenmesi hedeflenmiştir.

#### **4.1.2.2 Yöntemin Üstünlük ve Zayıflıkları**

Özellikle sığ yer araştırmalarında kullanılan yer radarı yöntemi, diğer jeofizik yöntemlerle birlikte karşılaştırılırsa önemli derecede artıları ve eksileri olacaktır. Bu yüzden yöntemin kullanılacağı çalışmada dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Yer radarı yönteminde çözünürlüğün ve araştırma derinliğinin yüksek olması için yüksek frekanslı kaynak kullanılması gerekmektedir ve yığma yapabilme olanağı da çözünürlüğünü ve araştırma derinliğini olumlu yönde etkilemektedir. Ölçümlerin yapıldığı istasyonlar arası uzaklık araştırma çözünürlüğü ve derinliğine bağlıdır. İstasyonlar arası uzaklık, hedeflenen yapının elektriksel iletkenliğine bağlı olarak, seçilen elektromanyetik dalganın dalga boyu ( $\lambda$ ) ile ilişkilidir.

Araştırma kapsamında hedeflenen yapının derinliği, elektriksel özelliklerine, ortamın fiziksel parametrelerine ve seçilen elektromanyetik dalganın merkezi frekansına bağlı olarak hassas bir şekilde hesaplanabilir. Veri işlem uygulamaları ile çalışma sırasında, insanlar ve çevre tarafından oluşturulan istenmeyen gürültülerin, etkisi ortadan kaldırılabilir. Yöntemin uygulanması kolay ve hızlıdır.

Yüksek frekansın dezavantajlarından biri de etki-tepki sorunundan kaynaklanmaktadır. Yer radarı yöntemi nemli ortamlarda çok tercih edilmemektedir bunun sebebi de performans düşüklüğüne neden olmasıdır. İletkenlik arttıkça, kesitler kalitesizleşmektedir. Çok yüksek iletkenliklerde ara yüzeylerde enerji yayılırken keskin yansıma sinyalleri olabileceğinden bilgi alınması zor hale gelebilir. Yeraltı su seviyesine yaklaştığımız zaman ani iletkenlik artışı da elektromanyetik dalganın genliği ve yüksek frekansında önemli bir soğurulmaya neden olacaktır. Bu yüzden de kesitimizin kalitesi düşecektir. Araştırma alanı yakının da yer alan radyo vericileri, gürültü yaratarak ölçülen sinyalleri de kayıt aygıtının belirlenen ölçüm aralığı dışına taşıyabilirler. Araştırma yapılan bölgede bulunan metalik nesnelere çok keskin yansımalar neden olarak kesitlerde bozucu etki yaratabilirler (Koçaslan 2008).

#### **4.1.3 Doğru Akım Özdirenç Yöntemi**

Doğru akım özdirenç yöntemi (DAÖ), bilinen en eski ve en yaygın kullandığımız jeofizik yöntemlerden biridir. Doğru akım özdirenç yöntemini, 1915'de ilk olarak Wenner tarafından kullanılarak 1920 yılında da Schlumberger tarafından ortaya konmuştur (Sünbül 2007). Yere iki noktadan elektrik akımı uygulanarak farklı iki nokta arasındaki gerilim farkını ölçülmesi ile çalışmaktadır. Ortaya çıkan sonuçların hesaplanması ile, görünür özdirenç (GÖ) yardımıyla jeolojik yapıların ayrımlılığını ortaya koymaktadır. Buradan çıkardığımız sonuca göre, yöntemin duyarlı olduğu fiziksel parametre özdirençtir.

Uygulanmasının kolay olmasının yanı sıra birçok mühendislik problemlerinin çözümünde detaylı ve etkin sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Jeoloji ve diğer alanlarda da (maden, jeotermal, arkeoloji, çevre), jeolojik birimlerin belirlenmesi, kırık çatlak sistemleri, yeraltı suyu, heyelan gibi birçok araştırma da kullanılabilir. Çalışma

alanımızda heyelan varlığından dolayı bizim için çok önemli bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

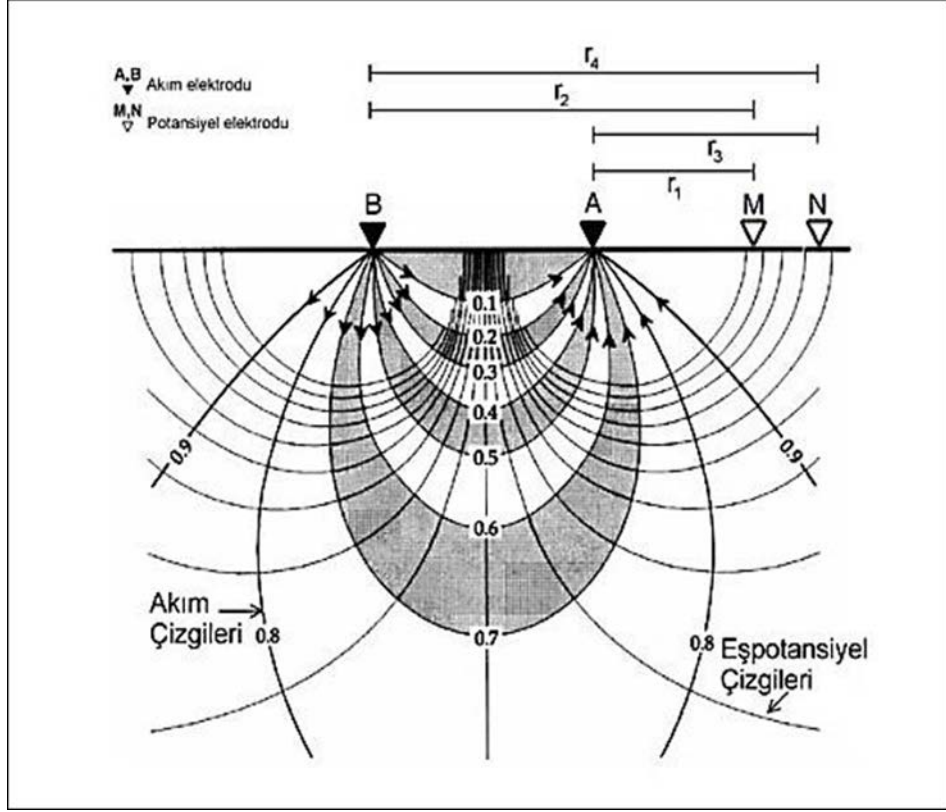
Doğru akım öz direnç yöntemi, ilk olarak arkeolojik araştırmalarda Atkinson tarafından 1946 yılında uygulanmış, arkeolojik çalışmalarda aranan yapının jeolojik özellikleri ile onu saran jeolojik birimin elektriksel iletkenlik farklılığı antik yapı kalıntısının bulunmasını çok kolaylaştırmış ve istenilen sonuçları vermiştir (Kaya 2017).

Günümüzde geliştirilerek çok elektrotlu ölçü sistemi ile veri toplama pratik bir şekilde gerçekleştirilerek 2B ve 3B ters çözüm yapılabilecek düzeye getirilmiştir. Bu yüzden verileri alırken genellikle birbirine paralel hatlarda sondaj-profil ölçü tekniği ile toplanarak 2B ve 3B ters çözüm algoritmaları şeklinde yorumlanabilmektedir (Sabbağ 2012).

#### **4.1.3.1 Yöntemin Esasları**

İki adet akım elektrotu yardımıyla üretilen akımın yere verilmesiyle oluşan potansiyelin, yeryüzüne yerleştirilmiş olduğumuz iki tane potansiyel elektrotun yardımıyla ölçülmesi ile yöntem kullanılmaktadır (Şekil 4.12). Ortaya çıkan potansiyel farkı değerlerinin yeraltındaki farklı ortamların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklı olmasından dolayı (tabakalanma, karstik yapılar, su/nem içeriği, gömülü yapılar, domlar vb.) kaynaklanmaktadır.





**Şekil 4.12:** Yarı sonsuz homojen ortamda akım ve potansiyel çizgilerinin dağılımı. (Stummer ve diğ. 2011) tarafından düzenlenmiştir.

Kullandığımız bu yöntemde yeraltına gönderilen akımın okunması için ampermetre, yeraltında oluşan gerilim farkını ölçmek için voltmetre (artık rezistivite cihazları bu iki işlemi de yerine getirebilmektedir), akım kaynağı doğru akım özdirenç yöntemi için akü, kuru pil; alternatif akım kullanılıyorsa veya daha yüksek voltaj gerektiren doğru akım uygulamaları için jeneratör), yere akım vermek ve yerde oluşan gerilim farkını ölçmek için elektrotlar ve akımın iletilmesi için belirli uzunluktaki kablolardan meydana gelmektedirler.

#### 4.1.3.2 Kayaç Öz direncini Etkileyen Etmenler

Burada, öz direnci etkileyen etmenler; kayaç bileşimi, gözeneklilik ve saturasyon, kil, anizotropi, tuzluluk, sıcaklık, yaş ve derinlik olarak belirlenmiştir.

**Kayaç bileşimi:** Jeolojik ortamları oluşturan kayaçlar minerallerden, mineraller elementlerden meydana gelmektedir. Bilindiği üzere metaller elektriksel açıdan diğer elementlere göre daha iletkenlerdir. Altın, gümüş, bakır, vb. elementler ve pirit,

kalkopirit vb. mineraller, kayaç içerisindeki miktarına göre kayaç öz direncini düşürmektedirler.

**Gözeneklilik ve Saturasyon:** Kayaçların içerisinde yer alan gözenekler, içerlerinde hava olduğu zaman öz direnç artarken, gözenek içerisinde su ve kil varsa öz direnç düşmektedir.

**Kil:** Yerin öz direncini önemli derecede etkilemektedir. Kil minerallerinin gözenekliliği yüksek, geçirgenliği ise çok düşüktür. İyon alış ve veriş de yüksektir. Bu yüzden suya doygun killer, öz direnci düşürmektedir.

**Anizotropi:** Hem homojen hem de izotrop (yön bağımsız) yer modeli hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle kayaç ortamında elektrik akımı da yön bağımlı olacaktır. Bu yüzden öz direnci etkilenmesine yol açmaktadır.

**Tuzluluk:** Ortamda bulunan özellikle çözülmüş tuz, iyon miktarını artırırken öz direncin de düşmesine yol açacaktır.

**Sıcaklık:** Sıcaklık artarken çözünürlük de artacak ve bunun sonucunda iyon hareketliliğinin artmasıyla öz direnç düşecektir.

**Yaş ve Derinlik:** Kayaçların yaşı ve derinlikleri öz direnci etkiler. Aynı kayaç için, aynı yaşta olmak şartıyla derinde yer alan kayaç daha sığdaki kayaca oranla, daha masif olduğundan yüksek direnç gösterecektir.

#### **4.1.3.3 Elektronik Elektrolitik ve Dielektrik İletim**

**Elektronik iletim,** genellikle metallerde görülen iletim türüdür. Metallerde akım serbest ve hareketli elektronlarla iletilmektedir.

**Elektrolitik iletim,** sıvılarda görülen iletim türüdür. Sıvı ortamda akım, iyonlarla iletilirken elektronik iletme göre daha yavaştır. Kayaçlardaki iletimde gözeneklilik çok önemlidir. Gözenekli kayaçta iletkenlik gözeneklerin hacmi, miktarı ve gözenekteki suya bağlıdır.

**Dielektrik iletim**, zayıf iletkenler veya yalıtkanlarda görülen iletim şeklidir. Elektrik akımını iletecek herhangi bir taşıyıcı yok veya çok azdır. Bir elektrik alan uygulandığında atomun yörüngesindeki elektronlar uygulanan alanın tersi yönde yer değiştirirler.

#### 4.1.3.4 Görünür Özdirenç Kavramı

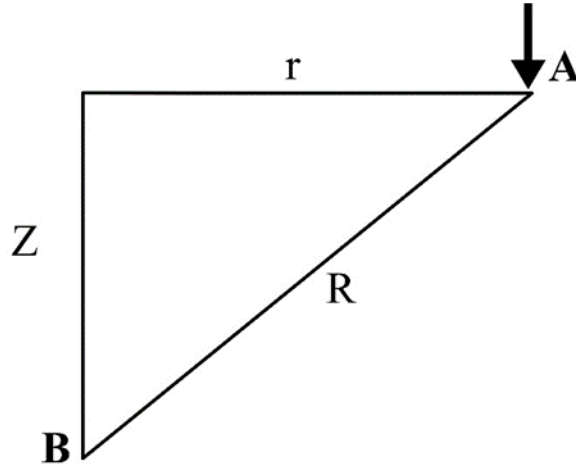
Doğru akım özdirenç (DAÖ) yönteminde ölçülen büyüklük gerilim farkıdır,

$$\Delta V = (\rho \cdot I) / (2\pi \cdot r) \quad (4.1)$$

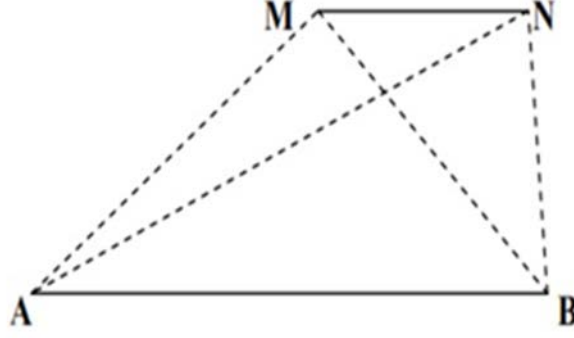
Burada  $\Delta V(mv)$  ölçülen potansiyel farkı,  $\rho$  (*oh m.m*) ortamın özdirenci,  $I$  (*mA*) yere verilen akım ve  $r$  uzaklıktır. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi yeryüzündeki bir A noktasından akım verildiğinde yeraltındaki bir B noktasındaki gerilim,

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \rho (r^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (4.2)$$

bağıntısıyla verilir. Burada A noktasından akım verildiğinde R uzaklığının yatay düzleme izdüşümü  $r$  ve düşey düzleme izdüşümü  $z$ 'dir (Başokur 2004).



**Şekil 4.13:** Akımın verildiği (A) ve gerilimin ölçüldüğü (B) varsayılan noktalar (Başokur 2004).



Şekil 4.14: Akım ve gerilim elektrotları arasındaki uzaklıklar (Başokur 2004).

A ve B akım elektrotları ve M ve N’de potansiyel elektrotları olmak üzere (Şekil 4.14) homojen, izotrop ve yarısonsuz bir ortam için M noktasındaki gerilim (4.3) bağıntısı kullanılarak,

$$V_M = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (4.3)$$

Ve N noktasındaki gerilim,

$$V_N = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. DAÖ yöntemi uygulamasında M ve N noktaları arasındaki gerilim farkı ölçüldüğünden,

$$V_N - V_M = \Delta V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} - \frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} \right) \quad (4.5)$$

Ve

$$k = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} - \frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} \right)} \quad (4.6)$$

varsayımı ile Görünür öz direnç (ohm.m),

$$\rho = k(\nabla V/I) \quad (4.7)$$

bağıntısı elde edilir. Burada k, Geometrik faktör olup birimi metredir. Denklem (4.7), Ohm-kanunu ve statik elektrik alan integralinin, yoldan bağımsız (konservatif) olması özelliklerinden yararlanarak ortaya konmaktadır (Dizioğlu ve diğ. 1997).

Burada özdirenç bağıntısı tekdüze (homojen) ve izotrop bir ortam için verilmektedir. Fakat gerçekte yerküre tekdüze değildir ve arazide ölçülen gerilim farkı ( $\Delta V$ ) kullanılarak, (4.7) denkleminde hesaplanan özdirenç, Görünür Özdirenç (GÖ) olarak adlandırılmaktadır. Tabakalı bir ortamda GÖ eğrisinin AB/2' nin küçük değerleri için birinci tabakanın özdirencine ve büyük değerleri için son tabakanın özdirencine yakınsaması beklenir. GÖ eğrisi, AB/2' nin ara değerlerinde de ara tabakaların özdirencine yakınsamalıdır (Spies ve diğ. 1986).

Yöntemin daha etkili, güvenilir ve istenilen derinlikte yatay ve düşey süreksizliklerde belirti verecek şekilde veri elde edebilmesi için geliştirilen belirli özdirenç ölçü alma teknikleri (elektrot dizilimleri) kullanılmaktadır.

#### **4.1.3.5 Özdirenç Ölçü Alma Teknikleri (Elektrot Dizilimleri)**

Akım ve gerilim elektrotlarının birbirlerine göre konumları için farklı farklı dizilimler geliştirilmiştir. Elektrotların birbirine göre yeri ve aralarındaki mesafeyi farklı şekillerde alabilmekteyiz. Yapılan hesaplamaları kolay hale getirebilmek için akım ve potansiyel elektrotlarını simetrik bir şekilde kullanmamız daha düzgün sonuçlar verecek ve bizim için daha uygun olacaktır. Sığ yüzeylerde görünebilirliği artırabilmek için akım elektrotlarını birbirine yakın yerleştirebiliriz. Tam ters olursa da derinlere nüfus eder ve kötü sonuçlar verebilir. Potansiyel elektrotların akım elektrotlarına yakın yerleştirilmesi yeryüzüne yakın cisimlerin etkilerini artırmaktadır. Elektrotlar arasındaki mesafeyi çalışmalarda hangi yapıyı ve birimi araştırıyorsak ona göre en uygun olan elektrot dizilimini seçmeliyiz.

##### **4.1.3.5.1 Schlumberger Elektrot Dizilimi**

Schlumberger diziliminde 2 akım ve 2 potansiyel elektrodu bir simetri merkezine göre simetrik yerleştirilmekte ve  $P_1, P_2$  gerilim elektrotları içeride ve  $C_1, C_2$  akım elektrotları dışarıda olacak şekilde düzenlenmektedir.  $C_1-C_2$  aralığı  $P_1-P_2$  aralığının yaklaşık 10 katı olacak şekilde ayarlanır. Akım nüfus derinliği yaklaşık  $C_1C_2/2$ 'dir (Başokur 2004). Her ölçüm için, akım elektrotları açıldığında gerilim elektrotlarının sabit kalması dizilimin üstünlüğüdür.



Şekil 4.15: Schlumberger elektrot dizilimi (Karaaslan 2015).

$$\rho a S = \pi \cdot \left( \frac{s^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (4.8)$$

şeklindedir.

#### 4.1.3.5.2 Wenner Elektrot Dizilimi

Wenner elektrot diziliminde 2 akım ve 2 potansiyel elektrodu bir simetri merkezine göre simetrik yerleştirilmekte ve  $P_1, P_2$  gerilim elektrotları içeride ve  $C_1, C_2$  akım elektrotları dışarıda olacak şekilde düzenlenmektedir. Şekil 4.17’da gösterildiği gibi tüm elektrotlar arasında “a” kadar uzaklık bulunmaktadır (Başokur 2004). Normal Wenner dizilimi Wenner Alfa dizilimi olarak adlandırılır ve elektrodların konumu değişmeden işlevlerinin değişmesine göre Wenner beta ve Wenner gama tipleri de vardır (Şekil 4.17).

Bu dizilim yeraltını düşey yönde değişimini incelemeye daha başarılı olmasının nedeni arazide ölçülen veriyi gerilim elektrotlarının orta noktasına atamasındandır. Bu durumda yüzey altına yerleşmiş düşey süreksizliklere de duyarlıdır. Dizilimin tek dezavantajı 2B araştırmalarda elektrotlar arası mesafe arttıkça yanal yönde başarısının azalmasıdır.



Şekil 4.16: Wenner elektrot dizilimi (Karaaslan 2015).

Wenner  $\alpha$  dizilimi için geometrik faktör değeri (4.9) denklemi ile verilebilir.

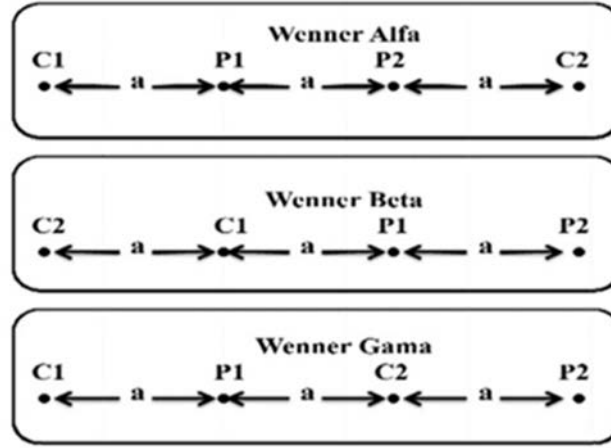
$$k = 2\pi a \quad (4.9)$$

Wenner  $\beta$  dizilimi için geometrik faktör değeri (4.10) denklemi ile verilebilir. Bu dizilim dipol-dipol diziliminin özel halidir.

$$k = 6\pi a \quad (4.10)$$

Wenner  $\gamma$  dizilimi için geometrik faktör değeri (4.11) denklemi ile verilebilir.

$$k = 3\pi a \quad (4.11)$$

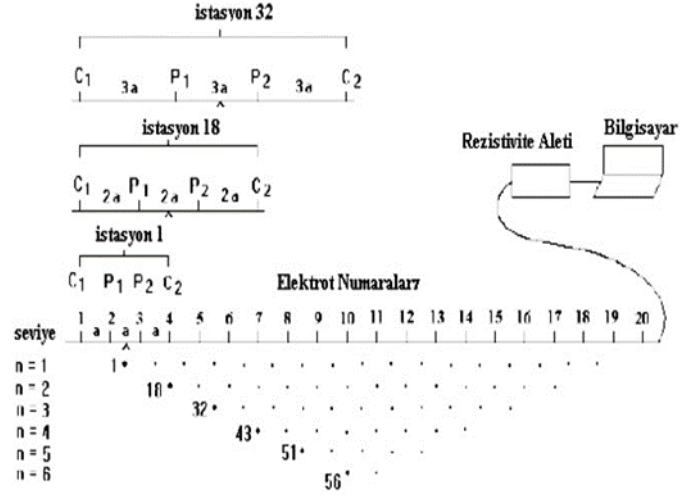


Şekil 4.17: Wenner elektrot dizilimleri çeşitleri (Dağlı 2011).

#### 4.1.3.5.3 Wenner-Schlumberger Elektrot Dizilimi

Wenner-Schlumberger elektrot dizilimi daha çok, çok-kanallı öz direnç ölçü düzeneklerinde kullanılan bir dizilimdir. Dizilim ve elektrotların konumları Şekil 4.18'de verilmektedir. Akım elektrotlarının ilk konumları için Wenner dizilimine, ikinci ve daha sonraki konumları için Schlumberger elektrot dizilimine yaklaşıldığı söylenebilmektedir. Wenner-Schlumberger elektrot dizilimine ait geometrik katsayı (4.12) denklemi ile verilmektedir (Öztürk 2004).

Çalışmada araştırma amacına ve planına uygun olacak biçimde WennerSchlumberger dizilimi kullanılmıştır.

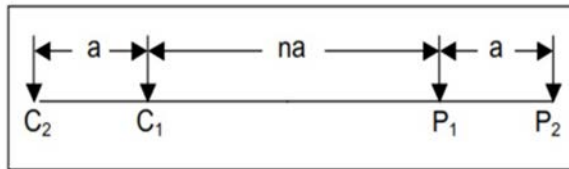


Şekil 4.18: Wenner-Schlumberger elektrot diziliminde elektrotların konumları ve çok kanallı veri toplama düzeneği (Loke, 2000; Öztürk (2004) tarafından düzenlenmiştir).

$$k = \pi n(n + 1)a \quad (4.12)$$

#### 4.1.3.5.4 Dipol-Dipol Elektrot Dizilimi

Dipol-dipol elektrot diziliminde akım elektrodları bir çift ve gerilim elektrodları bir çift olacak şekilde Schlumberger ve Wenner açılımlarından farklı olarak Şekil 4.19’da görüldüğü gibi yanyanadır. Akım elektrodlarının bağımsız olarak dışarıda olması nedeniyle n değeri arttıkça güçlü sinyaller elde edilememektedir. Bu da dizilimin dezavantajıdır. Örneğin sabit akımda n değeri 1’den 6’ya artarken ölçülen potansiyel değeri 56 kat daha azalmaktadır (Loke 2000). Burada n çarpanı kadar akım ve potansiyel elektrotları arasında mesafe bulunmaktadır (n=1, 2, 3, ... gibi).



Şekil 4.19: Dipol-Dipol elektrot dizilimi (Başol 2005).

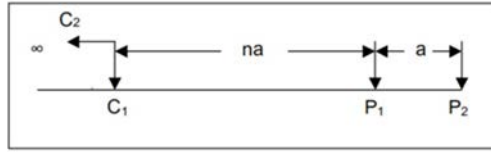
Burada Dipol-dipol dizilimi için geometrik faktör değeri (4.13) denklemi ile verilebilir;

$$k = \pi n(n + 1)(n + 2)a \quad (4.13)$$



#### 4.1.3.5.5 Pol-Dipol Elektrot Dizilimi

Pol-Dipol Dizilimi asimetriktir. Bir elektrot ölçü profili üzerinde sonsuz kabul edilecek uzaklığa yerleştirilmiştir. Dipol-dipol dizilimine göre daha yüksek gerilim farkı ölçülmektedir.



Şekil 4.20: Pol-Dipol elektrot dizilimi (Başol 2005).

Pol-Dipol elektrot dizilimi için geometrik faktör;  $k: 2\pi a$

#### 4.1.3.5.6 Pol-Pol Elektrot Dizilimi

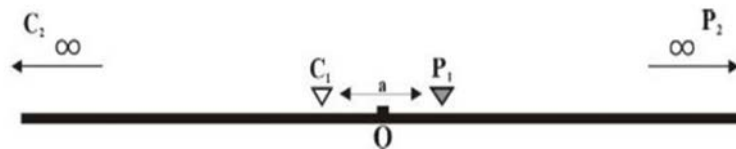
Pol-pol diziliminde akım ve gerilim elektrodlarından birer tanesi ölçü profili üzerinde sonsuz kabul edilecek uzaklığa yerleştirilmiştir (Şekil 4.21).  $C_2$  ve  $P_2$  elektrot çifti sonsuzda olduklarından  $\Delta V$  potansiyel farkı  $P_1$  noktasındaki potansiyele eşittir.

$$\Delta V_a = \frac{\rho a^I}{2\pi a} \quad (4.14)$$

ve görünür özdirenç,

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V_a}{I} \quad (4.15)$$

Bağıntısından hesaplanır.



Şekil 4.21: Pol-pol elektrot dizilimi (Karaaslan 2015).

## **5. GENEL JEOLJİ**

### **5.1 Genel Jeoloji**

Denizli il merkezi ve yakın çevresinde yüzeyleyen kaya birimleri, Neojen öncesi temel kayaları ve Neojen birimleri ile Kuvaterner çökelleridir (Şekil 5.1).

#### **5.1.1 Neojen Öncesi Temel Birimler**

Okay (1989)'da Denizli havzasında Neojen öncesi temel birimler havzayı çevreleyen, dağlık horst alanlarından oluşmaktadırlar. Bunların çoğu Menderes masifine ait metamorfik kayaçlardır. Metamorfik kayaçlar üzerine yer yer bindirme ile yerleşmiş Mesozoyik-Alt Tersiyer yaşlı nap dilimlerinden oluşan allokton birimler "Likya namları" olarak adlandırılmaktadır. Menderes metamorfikleri, alttan üste doğru gnays, şist, kuvarsit ve mermerlerle temsil edilir (Şimşek 1984).

##### **5.1.1.1 Bayıralan Formasyonu (Tob)**

Bayıralan Formasyonu ilk kez (Konak ve diğ. 1990) tarafından adlandırılmıştır. Birimler; ufak çakıltaşı, çakıllı kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır.

Bayıralan Formasyonu; kıvı, sarı, kahverengi, bej ve zeytin yeşili renkli, ufak çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından meydana gelmektedir. Çakıltaşları ofiyolit, radyolarit, çört ve kireçtaşı çakıllarından oluşmakta olup 1mm ile 10cm arasında boyutlarındadır. Çakıltaşları çakıllı kumtaşı ve çamurtaşı birimleri ile geçişlidir. Pembe rengin görüldüğü yerlerde kuvarsit çakıllarının egemen olduğı çakıllı kumtaşı yer almaktadır. Sarı renkli gözükten yerler ise ince taneli kumtaşı ve silttaşından oluşmaktadır . Mika pulları oldukça sık karşımıza çıkmaktadır. Ara ara görülen çakıltaşları yeşilimsi kahverengimsi bej renkli ve kötü boylanmalıdır. Çakılların çoğunluğı kireçtaşıdır. Konak ve diğ. (1990) tarafından Bayıralan Formasyonu yaşlı Oligosen olarak belirlenmiştir (Şekil 5.2).

### **5.1.2 Denizli Grubu**

Geç Miyosen zaman aralığında çökelmiş olan Neotektonik dönem çökelleri, “Denizli Grubu” olarak tanımlanmıştır. Bu grup ilk olarak Göktaş (1990) tarafından adlandırılmıştır. Bu grup içinde Kızılburun, Sazak, Sakızcılar ve Kolonkaya formasyonları yer almaktadır.

#### **5.1.2.1 Kızılburun Formasyonu (Tk)**

Kızılburun Formasyonu, çakıltası, kumtaşı, kiltası ve silttaşı birimlerini içeren ve Şimşek (1984) tarafından adlandırılan birimdir.

Kızılburun Formasyonunun yaşı, Taner (1984), Şimşek (1984) ve Kastelli (1971)’e göre Alt Pliyosen, Sun (1990)’a göre Üst Miyosen olarak verilmiş, kendisine has renkleri kırmızı kahverengi olan formasyon, tabanda kötü boyanmalı bloklu çakıltası ve konglomeratik kumtaşları ile başlayarak, çakıllar az ya da yarı yuvarlak ve elemanları çoğunlukla şist, mermer ve kuvarsitten meydana gelmektedirler (Şekil 5.2).

#### **5.1.2.2 Sazak Formasyonu (Ts)**

Kızılburun Formasyonu üzerine geçişli bir dokanakla gelen, altta kiltası, silttaşı, killi kireçtaşı, marn ve üstte masif kireçtaşlarından oluşan birimdir. İsmi ise ilk kez Sarayköy KB’sında Sazak Köyü’nde Şimşek (1984) tarafından verilmiştir.

Tabanında karbonat çimentolu kumtaşlarıyla başlamış, üstte doğru kil-silt, killi kireçtaşı seviyeleriyle devam eden birimin kalınlığı 250-300 metredir (Sun 1990). Birim içindeki marnlar, sarımsı boz renkli ve çoğunlukla gastrapodludur. Kireçtaşları ise sarımsı ak, sert, köşeli, kırıklı, orta katmanlı ve bol gastrapodludur (Şekil 5.2).

### 5.1.2.3 Sakızcılar Formasyonu

Altın Sazak Formasyonu ile sınırlı olan üstte Kolonkaya Formasyonu ile yanıl geçiş gösteren, gösel arakatkılar içeren, ıraksak gösel yelpaze deltası çökellerinden oluşan istif ilk kez Uşak ilinin Sakızcılar Köyü'nde (Konak ve diğ.1990) tarafından adlandırılmıştır (Şekil 5.2).

Birim, killi kireçtaşı, marn, kilitaşı, silttaşı ve çok ince kumtaşı ara düzeylerinden oluşan kaya türleri içermektedir. Kalınlığı 150-200 m arasında değişmektedir. Genelde koyu sarımsı ve kırmızımsı renklerden meydana gelen kumtaşı düzeylerinde, yer yer çapraz katmanlanma, laminalanma gibi çökel yapılarına da rastlanmaktadır. Bu çökeller nispeten gevşek dokulu ve iyi boylanmalı olup, bazı kesimlerde taneler çakıl boyutuna kadar ulaşmaktadır. Bu çakıllar kuvars, kuvarsit, şist ve mermerlerden oluşarak, siltli-killi bir malzemeyle çimentolanmıştır. Grimsi ve bej renkli olan silttaşları, ince, belirgin ve düzenli tabaklanmalı ve kumtaşlarına oranla daha sıkı dokuludurlar. Aralarında yer yer gastrapod ve jips oluşumlarına rastlanır (Sun 1990).

### 5.1.2.4 Kolonkaya Formasyonu

Sakızcılar Formasyonu üzerine geçişli bir dokanak ilişkisiyle gelen ve üstten Asartepe Formasyonu ile uyumsuz olarak örtülen, kilitaşı, silttaşı, kireçtaşı ve marn ara düzeyleri içeren egemen kumtaşı istifi Kolonkaya Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birimin adı Sarayköy yakınlarındaki Kolonkaya Tepe'den alınmış ve ilk kez Şimşek (1984) tarafından kullanılmıştır. İstifte genellikle kumtaşları, sarımsı renkte, açık pas ve koyu pas renkli, daha çok gevşek tutturulmuş ve dağılgan, parlak mika pullu, genellikle tane destekli, iyi boylanmalı, bazı düzeylerde çakıllı, genellikle paralel, yersel çapraz katmanlıdır (Şekil 5.2).

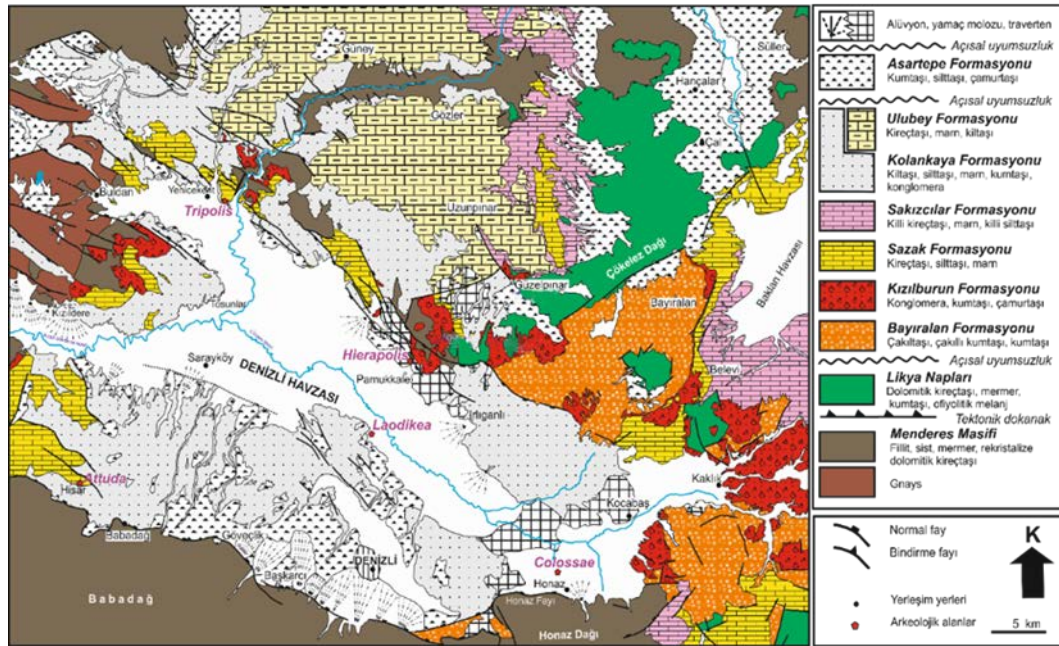
### 5.1.3 Kuvaterner Yaşlı Çökelleri

Kuvaterner yaşlı çökelleri kendinden önce gelen diğer tüm birimlerin üzerine uyumsuz bir şekilde yerleşmiştir. Alüvyon, alüvyon yelpazesi ve yamaç molozundan meydana gelmiştir.

#### 5.1.3.1 Asartepe Formasyonu

Konglomera, kumtaşı ve silttaşlarından oluşan alüvyal kökenli çökeller Asartepe Formasyonu olarak ayırtlanmış, Adlama ilk kez Ercan ve diğ. (1977) tarafından kullanılmıştır.

Birim genelde kızılımsı, kahvemi ve turuncu renklerin hakim olduğu halde, yer yer kirli beyaz ve sarımsı renkler de görülmektedir. Orta-kalın ve az belirgin tabakalanma gösteren çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı-çamurtaşı düzensiz ardalanması başlıca kaya topluluğudur (Şekil 5.2).



Şekil 5.1: İnceleme alanının jeoloji haritası (Semiz 2018).

ÜST SİSTEM	S E N O Z O Y İ K						LİTOLOJİK ÖZELLİKLER
	SİSTEM	SERİ, KAT	GRUP	FORMASYON	KALINLIK (m)		
NEOJEN	KUVATERNER				ASARTEPE	50-150	Alüvyon Traverten Alüvyal Yelpaze Yamaç Molozu
ÜST MİYOSEN	DENİZLİ				KOLONKAYA	860-1100	Marn, killi kireçtaşı ve çamurtaşlarıyla ardalanma gösteren kumtaşları
					SAKIZCILAR	150-200	Killi kireçtaşı, marn, kil, silttaşı ve çok ince kum ara seviyeleri
					SAZAK	250-300	Kilttaşı, silttaşı, killikireçtaşı, marn, masif kireçtaşları
					KIZILBURUN	150	Bloklü çakıltaşı, çakıltaşı, kumtaşı, kilttaşı, silttaşı
T E M E L							Kristalize kireçtaşı, kuvarsit, şist, mermer

Şekil 5.2: Denizli havzasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Şimşek ve diğ. 1984).



Geç Serravaliyen’de Arap-Avrasya levhalarının Güneydoğu Anadolu’da Bitlis kenedi boyunca çarpışmasından sonra, Batı Anadolu’da bir genişleme rejimi oluşturmuştur. Anadolu levhası bu çarpışmanın ardından meydana gelen sıkışmayı önce kalınlaşarak, daha sonra Kuzey ve Doğu Anadolu fayları boyunca batıya doğru hareket ederek karşılamıştır. Orta Miyosen sonu-Geç Miyosen başında meydana gelen bu hareket Yunan makaslama zonunda engellenmiş ve Ege Denizi ile Batı Anadolu’da D-B yönlü bir sıkışma, buna karşılık K-G yönlü bir genişleme meydana gelmiştir (Şengör 1982).

Denizli Havzası güneyde KD’ya eğimli ve 2000 m yüksekliğe sahip, kuzeyde GB’ya eğimli ve 700 m yüksekliğe sahip topoğrafik yükselimlerle sınırlıdır. Bu yükseltelerin aktif normal faylarla oluştuğu Şaroğlu (1992), Westaway (1993) tarafından yorumlanmıştır.

Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği bölgenin doğusunda kalan çöküntü alanına önceki çalışmalardan bazılarında Çürüksu Grabeni (Şimşek ve diğ. 1978) bazılarında da Denizli havzası (Westaway ve Çakır 1999) adı verilmiştir.

Tarihsel deprem verileri incelendiğinde, Denizli ve çevresinde meydana gelen depremlerin odak merkezleri Gediz ve B. Menderes grabenlerinin doğu uçları ile Denizli havzası içinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Hançer ve diğ. 2001).



## 6. HEYELAN VE ÖZELLİKLERİ

### 6.1 Heyelan

Heyelan ya da toprak kayması, zemini kaya veya yapay dolgu malzemesinden oluşan bir yamacın yer çekimi, eğim, su ve benzeri diğer kuvvetlerin etkisiyle aşağı ve dışa doğru hareketidir. Dünyada gerçekleşen etkisi büyük olup sonuçlarından en önemlisi can ve mal kayıplarına yol açan doğal afetlerin en önemlilerinden biridir. Heyelanlarla dağlık, engebeli arazilerde eğimi yüksek topoğrafyalarda karşılaşmamız mümkündür.

Türkiye’de de rakımı yüksek, dağlık ve engebeli arazilerle özellikle Doğu Karadeniz kesimlerinde oldukça sık rastlanılmaktadır. Kılıçaslan (1990), Trabzon ilinin Maçka ilçesine bağlı Çatak köyünde 1988 yılında gerçekleşen heyelan 5 kişi Çatak köyünden olmak üzere toplamda 63 kişinin ölümüne sebep olmuştur.

### 6.2 Heyelan Çeşitleri

Varnes (1978), heyelanı yamaç hareketi olarak tanımlamıştır. Avrupa Birliği INSPIRE direktifinde onlarda Varnes gibi yamaç hareketi olarak kullanmışlardır. Yamaç hareketlerinin farklı şekillerde sınıflayarak her bir sınıflamada tanıma, kontrol, ıslah veya diğer amaçların ön plana çıkabilecekleri vurgulamışlardır (Tablo 6.1). Tanıma ve sınıflama için belirlenen tanımlamalar aşağıdaki şekildeki gibi gruplandırmıştır.

- Hareketin tipi
- Malzeme türü
- Hareketin hızı
- Yenilen malzemenin ve yenilen alanın geometrisi
- Yaş
- Sebepler
- Yer değiştiren kütlelerin kopma derecesi
- Jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki ilişki
- Gelişme (oluşma) derecesi
- Tip örneğinin coğrafik konumu

**Tablo 6.1:** Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes 1978).

HAREKETİN TİPİ			MALZEME TİPİ		
			Anakaya	Toprak/zemin	
				İnce tane egemen	Kaba tane egemen
DÜŞME			<i>Kaya Düşmesi</i>	<i>Toprak düşmesi</i>	<i>Moloz düşmesi</i>
DEVRİLME			<i>Kaya devrilmesi</i>	<i>Toprak devrilmesi</i>	<i>Moloz devrilmesi</i>
KAYMA	Rotasyonel		<i>Kaya kayması</i>	<i>Toprak kayması</i>	<i>Moloz kayması</i>
	Translasyonel	Birkaç birim	<i>Kaya Blok Kayma</i>	<i>Toprak blok kayması</i>	<i>Moloz blok kayması</i>
		Birçok birim	<i>Kaya kayması</i>	<i>Toprak kayması</i>	<i>Moloz kayması</i>
YATAY YAYILMA			<i>Kaya yayılması</i>	<i>Toprak yayılması</i>	<i>Moloz yayılması</i>
AKMA			<i>Kaya Akması</i>	<i>Toprak akması</i>	<i>Moloz akıntısı</i>
			<i>Kaya Çığı</i>		<i>Moloz çığı</i>
			<i>(Derin Krip)</i>	<i>(Toprak Krip)</i>	
KARMAŞIK VE KARMA			<i>İki ya da daha fazla hareket tipinin zaman ve mekan içindeki karışımı</i>		

Sınıflamalar ve tanımlamalar için hareketin tipi ve malzemenin türü önemlidir. Heyelanları hareketin tipine ve malzemenin türüne göre sınıflandırmıştır (Tablo 6.1). Varnes (1978) yılında bir heyelanın özelliklerini gösteren blok diyagram hazırlamıştır. Daha sonra 1990 yılında IAEG Heyelan Komisyonu, Varnes'in blok diyagramında kullanmış olduğu terimleri aynen kullanarak yeni bir blok diyagram hazırlamışlardır.

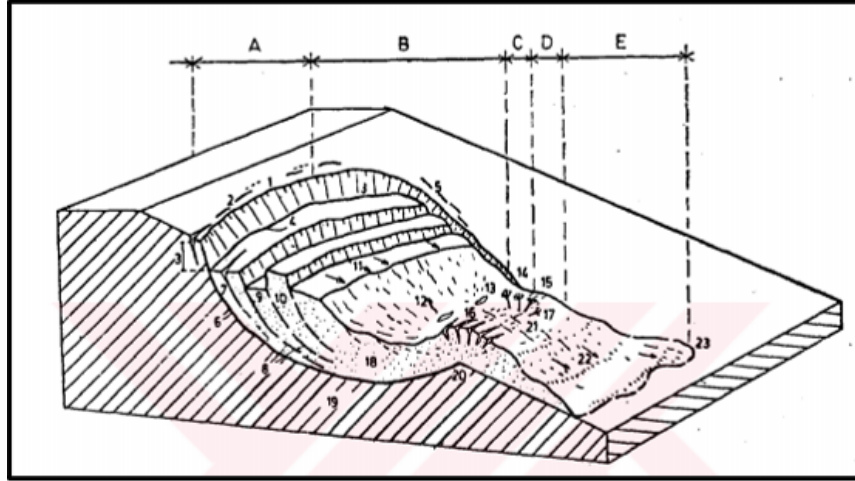
Varnes (1978), heyelan türlerini kendi aralarında gruplandırması sonucunda heyelan türleri karşımıza düşme, devrilme, akma, kayma ve yanal yayılma şeklinde çıkmaktadır (Şekil 6.1).

Malzeme Hareketin Türü		KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi Scree Debris cone	Scar Toprak Düşmesi Celluvium Debris cone
	DEVİRLİMLER	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi Debris cone	Toprak Devrilmesi Taç Çatlakları Debris cone
KAYIMLAR	DÖNEL	Tek Dairesel Kayma Failure surface	Heyelan üstü Ayna Taç İkincil ayna Çoklu Dairesel Kayma	Ardışık Dönel Kayma
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)	Kaya Kayması (*)	Moloz Kayması	Toprak Kayması
YAYILMALAR	<p>Örtü kayası, Normal yataya yakın yapı, Dışbükey eğim ve fay yapısı, Vadi Kabarması (erozyonla düzleşmiş), Çatlak, Tabakların incelmeleri, Taban bindirmesi düzlemi, Sağlam ana kaya, Clay shales</p> <p>Örnek: Bombelenme ve Vadi oluşumu</p>			Toprak yayılması
AKMALAR	Kaya Akması Buzul moloz akması	Moloz Akması	Toprak Akması Çamur Akması	
KARMAŞIK	Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü		Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde	

Şekil 6.1: Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türleri (Varnes 1978).

### 6.3 Heyelanın Kısımları

Şekil 6.2’ de heyelan kesiti ve kısımları açıklanmıştır. Ayrıca yavaş akmanın nasıl gerçekleştiğini de görebiliriz.



Şekil 6.2: Heyelan kesiti ve kısımları (Erguvanlı 1982).

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| A: Hareket etmeyen bölge           | 11: Hareket yönü            |
| B: Heyelan bölgesi                 | 12: Kaynak                  |
| C: Çökme bölgesi                   | 13: Heyelan gölü            |
| D: Kabarma bölgesi                 | 14: Çökme bölgesi           |
| E: Akma bölgesi                    | 15: Kabarma bölgesi         |
| 1: Heyelanın başlangıç (taç) kısmı | 16: Enine çatlaklar         |
| 2: Gerilme çatlakları              | 17: Devrilen ağaçlar        |
| 3: Esas ayna                       | 18: Kayan kütle             |
| 4: Tepe                            | 19: Kaymayan temel          |
| 5: Fisür ve çatlaklar              | 20: Kayan kütlelerin topuğu |
| 6: Esas kayma yüzeyi               | 21: Boyuna çatlaklar        |
| 7: Kama kayması                    | <b>22: Akma</b>             |
| 8: Kayma yüzü                      | 23: Akma ucu                |
| 9: Alçalan blok, 10: Yükselen blok |                             |

## 6.4 Kütle Hareketlerinin Oluşum Şekilleri

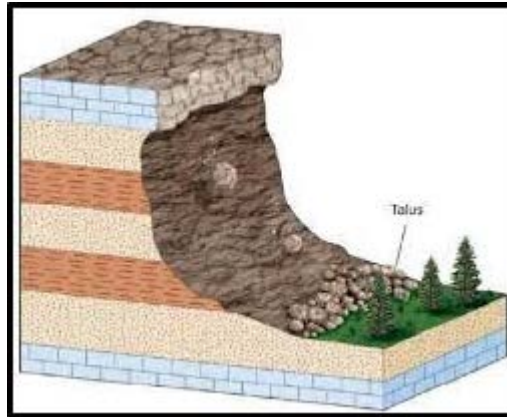
Kütle hareketlerinin oluşum şekillerine baktığımızda, jeolojik formasyonun cinsi, yapısal özellikleri, fay, çatlak, şistozite, tabakalanma, ayrışma-dayanım ve yeraltı suyu gibi farklı pek çok etmenlerden dolayı farklı geometrik yapıda (düzlemsel, dairesel, karışık), farklı hızda (çok hızlı, hızlı, yavaş, krip gibi) ve farklı yayılım özelliğinde gelişim göstermektedirler.

### 6.4.1 Düşme

Tarhan (1989), yer altı mağaraları tavanlarından, eğimi fazla olan kazı şevlerinden, deniz kenarlarındaki dik falezlerden, yerçekimi sebebiyle kaya ve toprak parçalarının kopması olayıdır (Şekil 6.3).

Ünsal (2010), yamaçlarda meydana gelen kütle düşmesi hareketi kendi içinde 3'e ayrılır. Moloz düşmesi, zemin düşmesi ve kaya düşmesi şeklinde sınıflandırılır.

Erguvanlı (1995), kayaç zeminlerde düşme hareketi, topuk oyulmaları, çatlak ve kırıklarda birbirleri ardına meydana gelen donma-çözünme olaylarının zemin daneleri arasında oluşturduğu hidrostatik basınç sonucu kayaç türü zeminin gevşemesi ve ayrılan kaya parçalarının düşmesiyle gerçekleşir. Bu olaylar sürekli gözlemlenmedikleri için çok fark edilmezler ancak sürekli olarak bir gözlem gerçekleştirilirse bir miktar arazinin azaldığı veya değişim meydana geldiği anlaşılabilir.



Şekil 6.3: Düşmeye örnek bir heyelan (Pehlivan 2019).

### 6.4.2 Devrilme

Daha çok eğimi yüksek yamaçlarda görülen zeminlerin eğimli olan tarafa doğru gerçekleşen bir duraysızlık olayıdır. Devrilme olarak adlandırılan bu hareketin sebebi, zemin bloklarının ağırlık vektörlerinin zemin tabanlarının dışına düşmesidir (Şekil 6.4).

Şist ve sleyt türü kayalarla, kolonsal yapıdaki kayaçlarda düşme hareketi genel manada sık sık gözlemlenebilmektedir. Aynı zamanda da diğer kayaçlarda da gerçekleşmektedir.

KGM (2015), devrilme hareketi, kaya formasyonlarının karakteristik özelliklerine bakılarak farklı isimler ile açıklanmaktadır. Şevin eğimine göre meydana gelmesi durumunda kaya düşmesi olarak adlandırılır. Şev eğiminin aşırı fazla olduğu kısımlarda moloz devrilmesi veya zemin devrilmesi şeklinde de açıklanmaktadır.

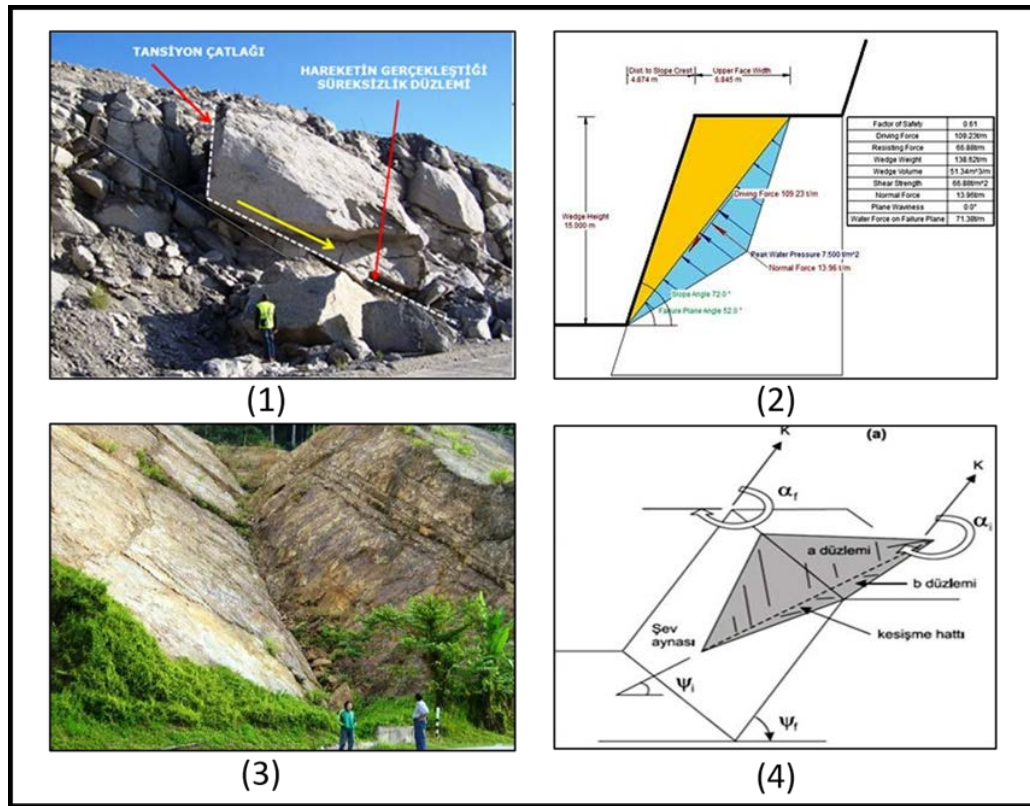


Şekil 6.4: Devrilmeye örnek bir heyelan.

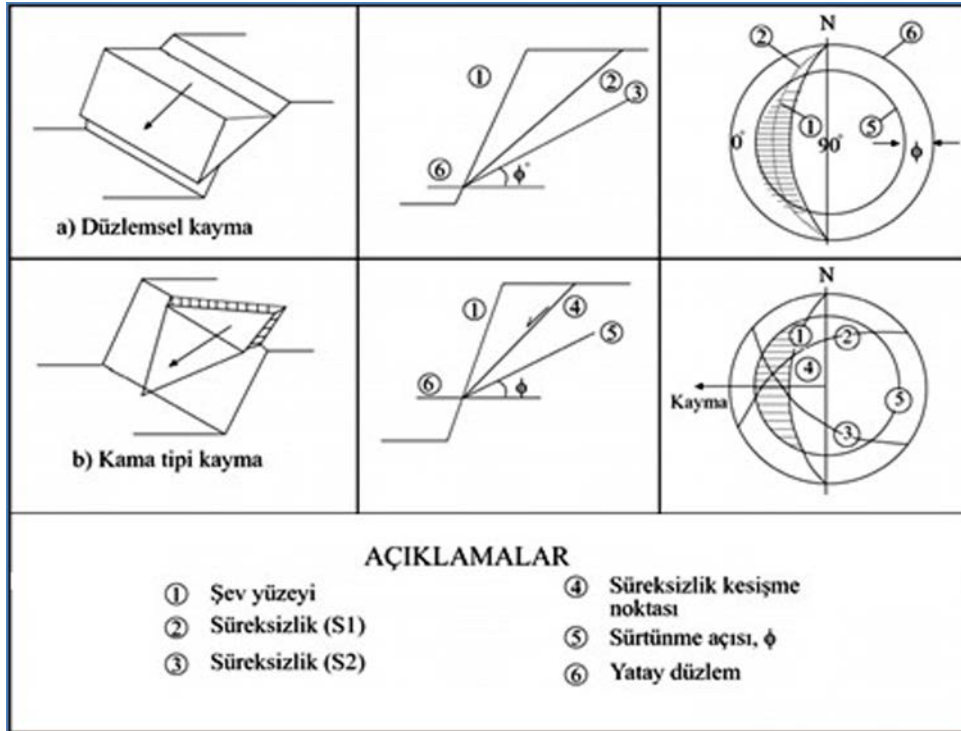
### 6.4.3 Kayma

Kaymalar dairesel kayma ve ötelenmeli düzlemsel kaymalar şeklinde ikiye ayrılmaktadırlar (Şekil 6.5). Dönel kaymaları tanımlayacak olursak bloklaşmış kaya formasyonlarında tek dairesel kayma, moloz olarak, çoklu dairesel kayma ve zeminleşmiş birimlerde ardışık dairesel kayma olarak sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 6.7). Ötelenmeli düzlemsel kaymalar ise (Varnes 1978)'den farklı bir şekilde kaya formasyonlarda süreksizlik düzlemlerinin konumu ve kesişimlerinin kayma yönü

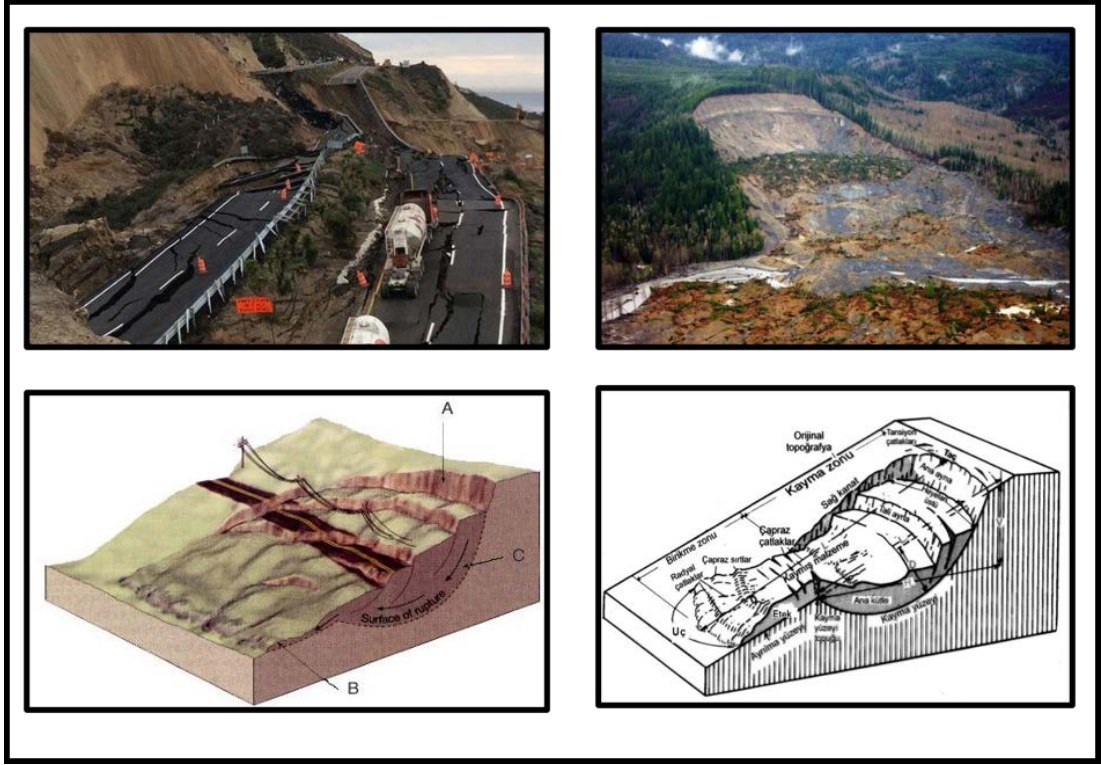
yüzeyle yaptığı arakesit oluşturma özelliğine bağlı olarak düzlemsel kayma ve kama tipi kayma olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6.6).



Şekil 6.5: Düzlemsel kayma (1, 2) ve kama tipi kayma (3, 4) türü stabilite yenilmeleri (Varnes 1978).



Şekil 6.6: Düzlemsel kayma ve kama tipi kayma türü stabilite yenilmelerinin kinematik analizi (Varnes 1978)



Şekil 6.7: Dairesel kayma yapısının genel şematik görünümü (Varnes 1978).

#### 6.4.4 Yayılmalar

Aytekin (2004), yanal yayılma, zeminde oluşan çekme etkisi ile meydana gelen ve zemin sıvılaştıktan sonra oluşan kayma hareketinden farklı olarak, kayma yüzeyine sahip kütle hareketi şeklinde açıklanabilir (Şekil 6.8).

Coduto (2006), daha çok eğim miktarı orta derecede olan yamaçlarda gerçekleşir ve fazla mesafe kat edebildiklerinden dolayı yıkıcı etkileri fazladır.

Öz (2009), eğimli arazide şev altında bulunan tabaka, şevli zemin tabakasından daha yumuşaktır. Şevin altında bulunan yumuşak malzeme şevin dışına doğru plastik davranış gösterir, akma türündeki ötelenmeye göre üsteki sert malzeme de bloklara ayrışır ve plastik durumda olan malzeme tarafından taşınarak bu harekete dahil edilir. Bu olaya yanal kaya yayılması denilmektedir. Yanal zemin yayılması ise zayıf ve



esnek zemin tabakasında bulunan sert kaya bloklarını, zayıf ve esnek malzeme ile hareket etmesi olarak açıklanmaktadır.



Şekil 6.8: Yanal yayılmaya örnek kütle hareketi (Yıldırım 2002).

#### 6.4.5 Akmalar

Akmalar genel olarak parçalı kaya, moren ve moloz birimlerinde moloz akması halinde tabandaki dayanımlı ve sağlam formasyonun sınırının geometrisine bağlı olarak veya vadilerin uzanımı boyunca moloz akması şeklinde ortaya çıkmaktadırlar. Toprak akması ise ayrık zemin birimlerinin veya rezidüel zeminin su içeriğine bağlı olarak sıvı hale gelmesi ile toprak veya çamur akması şeklinde izlenir (Karayolları Genel Müdürlüğü 2015).

##### 6.4.5.1 Hızlı Akma

Tarhan (2002), kribin gerçekleştiği toprak ve taşın bir arada bulunduğu zeminler ya da molozlar ve kayaların gevşemesi nedeni ile oluşan bloklı kesimler, su miktarının artması sonucunda boşluk suyu basıncının artması, titreşim hareketleri sebepleri ile temel üzerinde yamaç aşağı ötelenir. Bu hareket hızlı akma olarak isimlendirilmiştir ve su miktarı arttıkça akma hızı artmaktadır.

#### 6.4.5.2 Yavaş Akma (Krip)

Kaynak (2007), eğimli arazilerde zemin kütesinin sürekli ve yavaş şekilde ötelenmesi yavaş akma olarak isimlendirilir. Yavaş akmanın bir diğer ismi kripdir. Malzemenin cinsine göre krip çeşidi kaya-blok, moloz, toprak kripleri şeklinde değişmektedir.

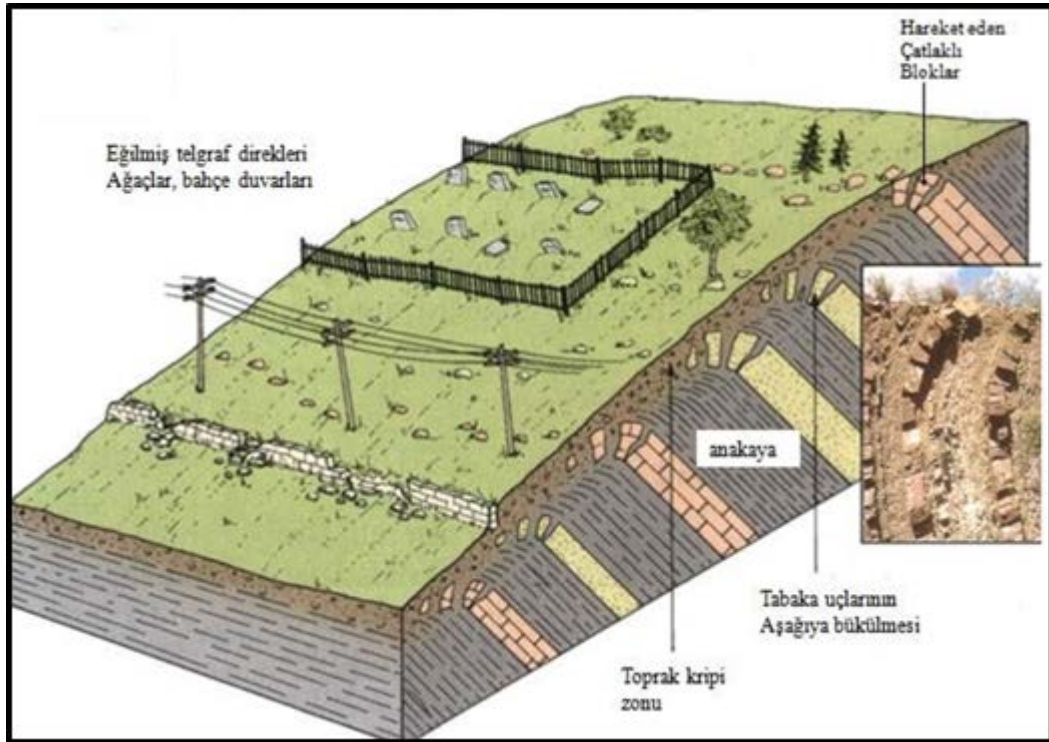
Her türlü malzemedede yavaş akma gözlenebilir. Hareketin mekanizması, zemindeki taneciklerin su alarak şişip yamaç eğimine dik olarak yukarı hareket etmesi, kuruyunca da hacimlerinin küçülmesi ile düşey olarak aşağıya inmesi, seklinde tanımlayabilmekteyiz. Su ile doymuş topraklarda hareket daha hızlı iken az doymuş topraklarda daha yavaş gerçekleşmektedir. Krip miktarı, iklim koşulları yamaç eğimi, toprak tipi, kayaçların özelliklerine ve malzemenin ayrışma derecesine bağlıdır. Yavaş akmanın gerçekleşmesi gevşek, çürük, fazla ayrılmış ve yuvarlak parçalı, ayrık malzemelerden arazide çok fazla miktarda bulunmaktadır (Şekil 6.9).

Yeraltı suyunun olması, ıslanıp-kuruma gibi mevsimsel durumlar, bitki köklerinin büyümesi ve bazı hayvanların toprağı oyması sonucu hareketler hızlanmaktadır. Fazla yağıştan dolayı zeminin doymun hale gelmesiyle birlikte hareket miktarında artış meydana gelmektedir.

Pehlivan (2019), bu hareketin meydana gelmesinin anlaşılmasını sağlayan gözlemler ağaç gövdelerinde eğilmeler, yamaç üzerinde yerleri değişmiş kaya kütleleri ve demiryolları, kırılmış ya da yer değiştirmiş istinat duvarları ya da telefon direkleri, arazi üzerinde meydana gelen yüksektiler, yer altından geçmekte olan kanalizasyon veya boru hatlarındaki yer değiştirmeler şeklindedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.9: Arazi de yer alan ağaçların gövdelerinde gerçekleşen bükülmeler.



Şekil 6.10: Kripin karakteristik belirtileri; eğilmiş ağaç gövdeleri bükülmüş çit sırtıkları, telgraf direklerinin sapması, dışa eğimli yerli kaya uçları, kırılıp aşağı doğru bükülmesi ve sonra yamaç boyu dökülmesidir.

Çalışma alanımızda da elde edilen bulgular sonucunda yavaş akma gerçekleştiğini anlayabilmemiz mümkündür. Çalışma alanımızda yavaş akma olduğunu anlayabilmemizin nedenleri ise eğilmiş ağaç gövdeleri, ağaç köklerinin moloz akması sonucu toprağa gömülerek kaybolmaları, eksantrik gövde oluşumları ve bazı ağaçların baş kısmından kopması belirtileridir.

## **6.5 Heyelanların Nedenleri ile İlgili Yaklaşımlar**

Heyelanların nedenleri farklı araştırmacılara göre değişiklik gösterirken, (Cruden ve Varnes 1996), heyelanlara neden olan etmenleri; jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insanlardan kaynaklanan nedenler olarak tanımlamışlardır. Aşağıda da açıklamaları yer almaktadır.

### **6.5.1 Morfolojik Nedenler**

- a. Tektonik ve volkanik yükselme
- b. Buzul gerilemesi
- c. Yamaç topuğunun akarsu tarafından aşındırılması
- d. Yamaç topuğundaki dalga aşındırılması
- e. Yamaç topuğundaki buzul aşındırması
- f. Yeraltı aşındırması (çözülme, kanal sistemiyle aktarma)
- g. Yamaç üzerine veya yamacın tepesine yük konulması
- h. Bitki örtüsünün ortadan kaldırılması (orman yangınları, kuraklık)

### **6.5.2 Jeolojik nedenler**

- a. Zayıf malzeme
- b. Hassas malzeme
- c. Makaslamaya uğramış malzeme
- d. Eklemlili ve fisürlü malzeme
- e. Tersine uzanan yapının kırılması (fay, uyumsuzluk, dokanak vb.)

- f. Tersine uzanan kütle süreksizliği (tabakalanma, yapraklanma vb.)
- g. Geçirgenlikte zıtlık
- h. Sertlikte zıtlık (katı, plastik malzeme üzerindeki yoğun malzeme)

### **6.5.3 Fiziksel Nedenler**

- a. Şiddetli yağmurlar
- b. Karın hızlı erimesi
- c. Taşkın ve gel-git olayında suların hızlı çekilmesi
- d. Deprem
- e. Volkanik püskürme
- f. Çözülme
- g. Donma ve çözülme yoluyla ayrışma
- h. Şişme-büzülme yoluyla ayrışma
- i. Olağanüstü yağışların devam etmesi

### **6.5.4 İnsan Nedenleri**

Yamacın veya topuğunun kazılarak yamacın eğimini artırıp doğa ve kendimiz için tehlikeli olan durumları kendimiz yaratıyoruz.

Yamaca veya tepesine yük konulması doğanın dengesi bozularak tehlikeli alanlarda konut yapmaya çalışıyoruz ve de günümüzün en büyük sorunlarından biriyle karşı karşıyayız.

Ormansızlaştırma gibi insanların doğaya en büyük verdiği zarar bu durumlardan oldukça çok etkilenmektedir.

## **6.6 Şev Stabilitesi**

Pehlivan (2019), günümüzde en önemli mühendislik konularından birisi şevlerin stabilitesidir. Şevler doğal yollarla oluşmuş ya da yapay yollarla insan eliyle

yapılmış zemin tabakalarını sınırlayan eğik yüzeylerdir. Bu, tek düzlem olabileceği gibi birbirlerinin ardı ardına gelen düzlemlerden de meydana gelebilir. Şevli arazilerde yapılacak olan çalışmalarda projeler bu durumlar ele alınarak titizlikle hazırlanmalıdır.

Gökoğlu (2015), zemin kütesinin üzerinde bulunduğu zemin tabakasıyla ya da yatay düzlemlerle yaptığı açı şev olarak adlandırılmaktadır.

Kara (1980), şev, eğimli yüzeyin doğal zemin tabakası, yapay bir zemin tabakası veya kaya kitlesini sınır altına almasıdır.

Kaynak (2007), yamaç ve şevlerin stabiliteleri karşılaştırıldığı zaman ayırt edici fark mevcut değildir. Doğal etkenler ile meydana gelenlere yamaç, yapay etkenler, insan faktörü gibi etkenler ile meydana gelenler de yapay şev olarak adlandırılmaktadır.

## **6.7 Arazide Yapılabilecek Deneyler**

Erol (2018), standart penetrasyon testi arazi deneylerinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu deneyde, standart ölçülerde olan plaka üzerine ağırlık, düşme yüksekliğine sahip tokmakla vurularak plakanın zemin içerisine girmesi için gerekli olan N sayısı bulunur. Genellikle her tür zeminde uygulanabilir. Sadece sert içeriğe sahip molozlu, bloklu zeminler ve sert killi zeminlerde net sonuç vermez.

Kayabaşı (2014), presiyometre deneyi, zemin özelliklerini tespit eden kuyu içi yükleme deneyidir. Presiyometre deneyindeki ana olay, zeminin basınç-deformasyon ilişkilerinin ölçülmesi için zeminde oluşturulan silindirik biçimli boşluğun genişletilmesidir. Bu deney çok yumuşak halde bulunan zemin türlerinden 20 MPa'a ulaşan basınç dayanımına sahip zeminlere kadar uygulanabilen arazi deneyidir.

(Sivrikaya ve Toğrol 2009), plaka yükleme deneyi standart ölçülerdeki kare şeklindeki plakanın sabit bir hız ile kuvvet uygulanması ya da kademeli olarak yük artırılmasıyla plakada oluşacak oturma ve göçmenin ölçülmesi şeklinde uygulanmaktadır. Deneyin uygulama alanı sığ zeminler ve muayene çukurlarının tabanlarıdır.

## **7. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR**

### **7.1 Çalışma Alanındaki Zemin ve Ağaçlardan Elde Edilen Veriler**

Toplamda 200 tane ağaçtan örnek alınmıştır (Tablo 7.1). Koordinat sistemi UTM (Urchin Tracking Module) Güney 35'tir. Zeminin ve ağaçların eğimleri hesaplanmıştır. Ağaçlardan farklı yüksekliklerde (0.5, 1.0, 1.5) m eğim ölçüleri alınmıştır. GK ise ağaçların gövde kalınlıklarını temsil eder. Yine aynı şekilde ağaçların üç farklı noktasından (0.5, 1.0, 1.5) m yüksekliğinde gövde kalınlıkları ölçülmüştür. Ağaçların boy ve yaş ölçüleride alınmıştır.

**Tablo 7.1:** Araziye yapılmış olan ölçümlerin sonucunda hazırlanmış tablo (Koordinatlar UTM 35 G'dir).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0,5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
1	676526	4180890	786	192°22° B	115°65° G	110°70° G	117°72° G	140	137	132	28,9	29
2	676524	4180888	786	210°27° B	65°60° G	65°67° G	65°60° G	160	146	142	29,3	30
3	676526	4180886	794	205°22° B	25°80° GB	45°80° GB	45°87° GB	116	113	110	27,2	27
4	676527	4180886	793	210°18° KB	135°75° GB	155°78° GB	125°79° GB	148	133	128	28,4	29
5	676521	4180889	796	200°25° B	120°60° G	110°70° G	120°88° G	153	146	152	22,3	30
6	676520	4180881	790	225°18° B	40°75° GD	35°68° GD	45°79° GD	154	145	128	19,7	30
7	676529	4180885	794	215°22° KB	130°80° GB	125°83° GB	120°75° GB	153	146	140	28,6	30
8	676522	4180899	806	205°30° B	115°77° G	120°85° G	115°75° G	118	113	109	29,4	27
9	676532	4180881	801	195°28° B	115°78° G	125°85° G	125°70° G	130	125	115	32,1	28
10	676532	4180881	801	210°30° B	20°65° D	22°85° D	100°80° D	127	121	112	32,1	28
11	676533	4180885	797	182°20° B	85°85° G	90°83° G	65°75° G	80	75	64	13,2	23
12	676535	4180886	796	215°20° KB	107°77° G	95°80° G	110°75° G	106	100	88	27,2	26
13	676535	4180886	795	225°20° KB	145°75° GB	135°75° GB	115°74° GB	124	118	109	27,9	28
14	676541	4180885	795	214°20° B	130°68° GB	120°76° GB	110°75° GB	103	93	87	29,6	26
15	676546	4180883	797	192°22° B	35°85° GD	40°88° GD	55°68° GD	100	91	84	28,6	25
16	676543	4180882	796	215°15° B	195°76° B	177°77° B	189°82° B	86	81	74	11,3	24
17	676549	4180883	796	270°12° K	130°73° GB	165°75° GB	145°75° GB	91	80	76	13,8	24
18	676548	4180882	799	235°13° KB	165°70° B	152°78° B	160°95° B	102	91	87	14,3	25
19	676545	4180885	796	245°17° KB	240°85° GD	235°86° GD	210°88° GD	90	81	80	14,2	24
20	676545	4180874	798	210°12° B	135°86° GB	153°79° GB	145°92° GB	90	65	77	12,9	24
21	676549	4180877	808	250°28° K	140°76° GB	130°83° GB	120°85° GB	52	46	43	11,7	21
22	676550	4180880	800	240°24° K	180°76° B	180°82° B	185°88° B	99	95	93	12,1	25
23	676554	4180883	802	225°18° KB	120°75° G B	125°° GB	115°92° GB	109	107	106	12,4	26
24	676555	4180888	800	205°20° KB	70°86° G	80°87° G	85°92° G	86	85	83	13,9	24
25	676557	4180885	801	232°25° KB	90°75° G	85°81° G	87°76° G	89	84	80	13,8	24



**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0.5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
26	676556	4180886	799	245°18° K	150°79° B	150°81° B	150°63° B	143	152	144	24,6	29
27	676556	4180886	797	123°28° KB	170°78° B	175°92° B	190°90° B	102	99	95	22,9	26
28	676552	4180892	796	240°23° KB	112°67° GB	260°73° GB	140°92° GB	98	96	96	23,5	25
29	676550	4180893	796	240°24° KB	255°79° G	86°80° G	84°79° G	102	100	97	24,5	26
30	676554	4180890	785	250°22° K	155°85° G	255°85° G	275°80° G	86	86	85	23,4	24
31	676555	4180894	787	234°22° KB	80°82° K	72°86° K	65°85° K	87	87	84	20,1	24
32	676555	4180901	792	245°19° K	150°70° GB	145°75° GB	144°87° GB	140	130	123	17,7	29
33	676557	4180898	793	230°10° K	95°90° G	90°75° G	60°85° G	141	133	124	25,3	29
34	676561	4180897	795	262°13° K	270°92° K	260°90° K	250°82° K	98	97	94	23,8	25
35	676559	4180903	791	242°15° K	235°89° K	228°89° K	232°82° K	104	103	102	23,2	26
36	676560	4180906	789	235°15° K	210°78° KB	204°75° KB	200°85° KB	132	130	127	24,1	28
37	676563	4180904	789	262°21° K	180°78° B	190°85° B	190°80° B	132	129	124	24,2	28
38	676570	4180911	788	230°13° KB	130°75° GB	140°80° GB	142°69° GB	133	125	120	25,3	28
39	676572	4180910	787	230°17° KB	222°85° KB	218°79° KB	225°87° KB	83	81	77	16,8	24
40	676575	4180915	784	265°20° K	110°75° B	160°48° B	160°70° B	161	158	174	20,3	30
41	676577	4180910	795	270°13° KD	150°80° GB	148°72° GB	150°85° GB	142	140	143	19,5	29
42	676576	4180903	790	135°12° KB	125°76° GB	125°65° GB	118°70° GB	108	107	105	22,4	29
43	676585	4180900	796	143°20° KB	82°75° G	85°85° G	86°79° G	100	97	94	23,1	25
44	676587	4180901	796	245°10° K	180°75° B	170°85° B	167°75° B	102	98	95	24,3	26
45	676585	4180902	795	275°22° KD	146°76° GB	155°82° GB	152°88° GB	103	101	96	25,1	26
46	676587	4180902	796	245°18° K	140°83° GB	156°79° GB	150°90° GB	102	100	98	26,7	26
47	676588	4180896	796	252°23° K	100°72° K	102°77° K	89°86° K	99	95	93	26,7	25
48	676586	4180893	797	275°30° K	150°83° GB	150°75° GB	152°90° GB	105	102	99	25,9	26
49	676586	4180890	800	304°18° KD	164°82° B	153°80° B	155°83° B	103	101	100	25,1	26
50	676583	4180888	799	245°9°K	133°70° GB	145°85° GB	125°79° GB	103	102	102	26,7	26

**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0.5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
51	676576	4180896	799	265°25° K	180°77° B	180°85° B	175°86° B	91	89	88	23,2	25
52	676583	4180890	787	258°33° KD	95°85° G	113°73° G	100°77° G	92	89	87	24,6	25
53	676581	4180889	789	260°15° K	150°75° GB	135°85° GB	133°75° GB	101	98	92	25,2	26
54	676571	4180902	782	245°7° K	125°73° GB	115°80° GB	124°79° GB	102	100	100	17,8	26
55	676574	4180902	783	275°25° K	160°82° G	164°75° G	154°75° G	98	95	93	19,8	25
56	676572	4180901	795	250°20° K	105°82° K	98°79° K	100°80° K	160	165	157	27,3	30
57	676571	4180896	797	260°17° K	235°90° KB	243°85° KB	235°90° KB	121	118	117	26,8	28
58	676565	4180890	798	220°18° K	145°85° GB	145°80° GB	145°79° GB	91	83	79	11,2	25
59	676565	4180890	795	255°15° K	155°88° GB	145°80° GB	145°79° GB	135	128	117	19,2	28
60	676572	4180902	796	250°10° KB	120°65° GB	130°85° GB	135°77° GB	90	85	83	11,4	25
61	676570	4180895	796	230°10° KB	190°88° B	190°90° B	180°90° B	105	103	100	23,8	26
62	676573	4180895	796	250°20° K	108°82° G	110°86° G	110°82° G	104	99	94	22,9	26
63	676587	4180885	788	285°20° KD	130°78° GB	140°86° GB	140°87° GB	106	102	94	11,9	26
64	676588	4180882	789	305°16° KD	130°85° GB	142°90° GB	140°85° GB	93	84	82	12,6	25
65	676591	4180879	790	293°13° KD	145°82° GB	130°75° GB	140°85° GB	86	78	68	12,4	24
66	676590	4180878	790	285°8° KD	130°85° GB	145°74° GB	142°72° GB	102	99	88	14,1	26
67	676588	4180876	791	275°20° K	110°87° GB	120°90° GB	120°79° GB	92	85	80	14,2	25
68	676583	4180877	789	273°13° K	150°83° GB	135°90° GB	135°75° GB	115	101	103	16,5	27
69	676581	4180882	791	265°23° K	135°75° GB	145°75° GB	140°74° GB	93	91	87	13,5	25
70	676584	4180877	789	265°20° K	105°68° GB	90°72° GB	75°80° GB	126	131	95	10,9	28
71	676582	4180881	792	255°11° K	79°75° G	95°79° G	92°73° G	106	95	91	12,4	26
72	676579	4180883	793	270°9° K	125°73° GB	130°84° GB	130°82° GB	106	94	85	13,8	26
73	676567	4180882	794	240°13° KB	95°85° G	100°79° G	95°90° G	125	112	104	12,9	28
74	676561	4180875	805	260°16° K	170°85° B	170°75° B	175°90° B	113	105	96	21,3	28
75	676560	4180874	804	265°12° K	150°76° GB	153°76° GB	145°83° GB	116	108	95	20,9	27

**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0,5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
76	676560	4180871	801	290°13° KD	170°81° B	190°85° B	170°75° B	114	109	97	21,2	27
77	676557	4180867	799	178°13° K	115°82° GB	120°75° GB	110°77° GB	113	102	107	19,9	27
78	676551	4180866	800	222°23° KB	135°85° GB	120°80° GB	118°75° GB	106	101	94	20,2	26
79	676548	4180868	800	200°18° KB	155°75° GB	145°77° GB	140°80° GB	82	76	71	19,6	24
80	676547	4180871	796	203°23° KB	140°63° GB	155°90° GB	165°70° GB	123	115	110	22,4	28
81	676544	4180871	796	203°252° B	135°85° GB	150°78° GB	143°71° GB	120	113	109	22,2	28
82	676543	4180865	796	213°18° KB	130°83° GB	120°73° GB	120°83° GB	94	87	80	14,7	25
83	676542	4180862	796	205°11° B	165°80° GB	160°86° GB	175°82° GB	125	116	109	26,3	28
84	676539	4180860	792	240°18° KB	115°75° GB	123°79° GB	133°72° GB	129	121	115	22,2	28
85	676535	4180869	785	217°17° KB	116°78° GB	125°80° GB	132°75° GB	132	124	116	12,3	29
86	676533	4180868	787	215°32° KB	180°83° B	180°85° B	175°73° B	158	147	132	24,3	30
87	676531	4180867	785	195°23° KB	110°83° G	115°80° G	113°85° G	153	142	136	24,2	30
88	676531	4180867	785	200°26° B	90°80° G	92°71° G	89°79° G	142	137	125	15,6	29
89	676520	4180870	787	190°10° B	120°40° G	115°86° G	113°85° G	155	149	133	16,7	30
90	676521	4180865	788	175°13° B	100°86° G	105°90° G	90°82° G	186	173	208	20,9	32
91	676520	4180861	787	215°23° KB	107°70° G	100°55° G	105°73° G	204	189	184	22,3	34
92	676517	4180858	787	195°18° KB	110°72° G	105°85° G	98°90° G	202	193	186	24,5	34
93	676518	4180855	787	210°28° B	85°70° G	100°85° G	105°72° G	203	198	199	22,8	34
94	676517	4180854	793	225°20° KB	65°82° GD	45°73° GD	60°90°GD	210	210	200	24,5	36
95	676520	4180854	794	140°25° KB	110°85° G	113°70° G	115°83° G	144	140	139	27,3	29
96	676518	4180861	793	240°10° KD	67°73° GD	56°82° GD	63°79° GD	95	91	78	22,3	25
97	676518	4180861	793	240°10° KD	67°73° GD	56°82° GD	63°79° GD	102	96	99	22,2	26
98	676520	4180864	795	220°23° KB	170°70° G	130°80° G	183°73° G	128	118	109	24,6	28
99	676533	4180864	791	215°25° KB	100°68° GB	103°74° GB	102°83° GB	138	123	112	26,3	29
100	676533	4180865	793	205°22° GB	192°68° GB	185°76° GB	175°69° GB	114	110	108	15,00	27

**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0,5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
101	676553	4181031	792	195°28°K	130°75°GB	135°80°GB	105°81°G	131	122	119	14,3	29
102	676559	4181023	793	210°20°KB	120°81°GB	109°75°G	110°72°G	180	172	167	19,8	30
103	676558	4181010	779	115°23°KB	125°80°GB	110°85°G	120°75°G	142	137	130	22	28
104	676567	4181014	789	200°20°B	45°82°GD	46°65°GD	44°80°GD	143	132	124	21,4	28
105	676568	4181011	791	195°15°B	95°90°G	85°83°G	88°80°G	165	153	144	25	30
106	676572	4181011	788	200°30°B	70°88°G	57°86°G	80°78°G	101	94	88	16,3	26
107	676571	4181007	788	210°20°KB	50°88°GD	48°83°G	36°70°G	133	127	120	19,2	28
108	676570	4181011	791	200°20°KB	45°76°GD	45°65°GD	40°86°GD	69	68	67	10,3	22
109	676570	4181012	793	200°20°KB	90°88°G	80°78°G	75°82°G	143	132	128	21	29
110	676575	4181013	793	190°22°KB	80°75°G	70°65°G	65°60°G	71	70	68	10,1	23
111	676577	4181016	791	210°15°B	123°73°GB	130°65°GB	125°60°GB	111	102	96	16	26
112	676574	4181021	791	205°20°KB	80°65°G	80°55°G	90°60°G	130	115	108	13,7	28
113	676568	4181018	794	220°23°KB	65°80°G	76°74°G	60°71°G	87	83	81	16	24
114	676574	4181024	787	220°10°KB	115°84°G	95°70°G	85°73°G	111	108	102	17	27
115	676575	4181025	790	210°18°KB	42°75°GD	38°86°GD	38°75°GD	106	102	100	15,8	25
116	676578	4181025	784	222°18°KB	30°85°D	50°70°D	45°85°D	130	127	119	16,7	28
117	676577	4181026	787	217°25°KB	105°70°G	100°80°G	107°74°G	115	110	108	24,3	27
118	676580	4181028	788	216°22°KB	95°70°G	88°64°G	95°83°G	151	142	136	20	30
119	676584	4181030	784	195°30°B	70°88°G	60°70°G	45°90°G	69	65	63	8	22
120	676583	4181031	791	215°23°KB	94°72°G	65°72°G	96°82°G	74	72	70	14,8	23
121	676585	4181033	793	216°17°KB	100°85°G	105°69°G	95°76°G	81	78	74	16	24
122	676587	4181032	793	223°8°KB	50°83°GD	50°65°GD	50°82°GD	80	78	73	8,1	24
123	676587	4181030	794	220°15°B	145°76°GB	140°75°GB	130°65°GB	120	112	105	16	28
124	676592	4181026	789	215°10°KB	160°83°GB	170°77°GB	160°80°GB	119	113	107	22,3	27
125	676592	4181026	797	215°10°KB	120°73°G	130°65°G	140°68°G	125	118	109	23	28

**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0.5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
126	676594	4181028	794	215°28°B	92°90°G	95°88°G	90°80°G	78	72	68	22	23
127	676592	4181019	794	197°18°KB	107°75°G	108°75°G	105°81°G	107	103	100	22	26
128	676604	4181003	788	240°21°KB	100°90°G	100°90°G	100°90°G	91	86	84	14,3	25
129	676600	4181011	789	250°8°K	105°90°G	95°85°G	97°90°G	80	76	72	18,2	24
130	676601	4181026	790	140°12°GD	200°90°B	190°75°B	188°70°B	111	103	96	27	27
131	676602	4181039	792	210°22°KB	100°85°G	108°75°G	110°78°G	120	113	109	21	28
132	676599	4181038	795	211°24°KB	195°90°B	190°75°B	185°86°B	107	103	100	23	26
133	676603	4181042	795	250°9°K	140°80°GB	138°76°GB	142°84°GB	89	83	78	20	24
134	676605	4181045	794	250°10°K	75°88°G	76°88°G	77°89°G	72	69	65	18,9	23
135	676608	4181045	794	250°8°K	150°88°GB	150°88°GB	150°88°GB	106	105	102	23,9	26
136	676605	4181043	795	233°10°KB	90°80°K	79°73°K	85°80°K	103	101	100	26,8	26
137	676606	4181040	797	240°10°K	145°85°GB	140°75°GB	135°90°GB	104	99	95	28	26
138	676607	4181038	795	220°5°KB	110°90°G	112°80°G	122°90°G	112	106	102	30	27
139	676603	4181037	806	218°6°KB	112°75°G	120°90°G	110°85°G	92	85	83	27	25
140	676606	4181042	802	260°12°K	110°90°G	112°88°G	110°90°G	98	98	97	0,3	25
141	676609	4181040	801	238°20°K	240°90°K	245°83°K	245°90°K	89	88	86	16	24
142	676615	4181044	801	240°20°KB	90°85°G	100°76°G	95°80°G	92	93	92	20,8	25
143	676608	4181045	801	235°12°KB	30°90°GD	125°85°GD	23°86°GD	80	81	78	20	23
144	676610	4181049	800	160°13°K	95°70°K	105°75°K	103°90°K	92	80	86	26	24
145	676614	4181057	799	240°6°K	130°70°GB	125°63°GB	128°75°GB	102	99	95	22,9	26
146	676615	4181058	799	230°9°KB	245°90°K	250°90°K	251°90°K	99	94	87	27	25
147	676617	4181055	797	260°3°K	150°75°GB	160°82°GB	163°77°GB	81	80	78	23,7	24
148	676620	4181053	798	230°8°KB	155°85°GB	155°80°GB	144°73°GB	87	83	79	14	24
149	676620	4181054	795	230°18°KB	210°85°B	209°90°B	150°78°B	80	78	69	21,8	23
150	676622	4181057	795	245°8°K	160°85°B	170°75°B	165°90°B	81	78	72	6	23

**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0,5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
151	676621	4181053	796	240°11°KB	200°90°B	197°90°B	200°88°B	94	88	78	23	24
152	676624	4181054	798	260°10°K	150°80°GB	153°90°GB	160°78°GB	79	72	65	24	23
153	676622	4181050	800	270°10°K	240°25°KB	180°90°KB	190°88°KB	96	84	80	26	25
154	676624	4181048	800	265°17°K	135°84°GB	150°85°GB	160°90°GB	98	92	90	25,1	25
155	676625	4181050	799	230°5°KB	145°85°GB	140°70°GB	145°84°GB	98	89	92	21	25
156	676628	4181047	797	265°7°K	175°90°K	180°90°K	180°90°K	78	73	72	15,2	23
157	676627	4181047	797	270°12°K	160°90°B	170°88°B	160°90°B	85	83	80	18	24
158	676627	4181049	797	242°25°KB	155°81°GB	150°90°GB	158°82°GB	100	90	92	20,3	25
159	676629	4181051	798	225°5°KB	220°86°B	230°80°B	230°90°B	65	59	62	16	22
160	676630	4181050	797	265°10°K	145°87°GB	150°90°GB	160°88°GB	98	96	96	21,4	25
161	676631	4181050	796	220°8°KB	155°88°GB	157°88°GB	170°90°GB	88	82	80	15,7	24
162	676633	4181049	797	253°20°K	160°78°GD	155°90°GD	154°82°GD	83	72	65	18	24
163	676638	4181052	797	308°20°KD	130°77°GB	123°77°GB	120°85°GB	103	102	90	22	26
164	676643	4181053	796	305°10°KD	70°83°G	75°80°G	72°86°G	106	102	98	15	26
165	676644	4181051	797	325°20°KD	205°80°KB	190°77°KB	183°90°KB	81	80	77	14	24
166	676646	4181047	797	320°13°KD	145°85°GB	150°83°GB	145°70°GD	91	80	80	17,5	25
167	676646	4181047	796	320°14°KD	180°65°B	190°85°GB	190°72°GB	114	112	103	21,9	27
168	676649	4181044	797	335°8°KD	300°83°K	283°85°K	275°85°K	100	90	80	16	25
169	676646	4181041	797	340°18°KD	135°68°GB	140°90°GB	140°85°GB	101	104	92	22	25
170	676643	4181043	798	310°20°KD	265°90°K	270°80°K	260°90°K	103	99	101	18,4	25
171	676642	4181042	798	330°25°D	152°75°B	153°81°B	140°80°B	81	70	68	15,7	24
172	676639	4181046	797	280°11°K	80°83°G	80°85°G	103°86°G	121	106	99	13	28
173	676636	4181045	798	290°16°K	130°80°GB	135°75°GB	128°82°GB	105	89	79	16	26
174	676630	4181041	799	285°23°K	140°90°GB	150°73°GB	151°83°GB	89	78	70	16,7	24
175	676631	4181038	799	305°13°KD	245°90°KD	230°88°KD	225°85°KD	94	88	82	19,8	24

**Tablo 7.1:** (devam).

AĞAÇ No	X	Y	Z	ZEMİN Eğim	EĞİM 0.5m	EĞİM 1,0 m	EĞİM 1,5 m	GK 0,5 m	GK 1,0 m	GK 1,5 m	BOY (m)	YAŞ (yıl)
176	676634	4181036	799	295°13°KD	85°88°G	78°90°G	90°85°G	92	88	80	20	24
177	676637	4181037	801	290°15°KD	80°86°G	80°90°G	90°90°G	91	80	78	16,4	24
178	676636	4181034	799	285°17°KD	84°88°G	85°88°G	90°88°G	80	76	70	14,5	23
179	676639	4181036	799	290°27°KD	135°72°GB	120°65°GB	130°90°GB	142	112	100	24,4	29
180	676641	4181033	797	335°10°KD	155°76°GB	150°63°GB	140°78°GB	101	98	90	20	26
181	676646	4181035	797	310°7°KD	160°80°GB	150°62°GB	145°78°GD	101	90	85	25	26
182	676550	4181036	798	320°10°KD	170°85°GB	130°70°GB	132°82°GB	98	80	77	14	25
183	676648	4181030	799	325°12°KD	165°78°GB	135°65°GB	135°84°GB	111	102	99	16	27
184	676646	4181030	797	318°10°KD	164°80°GB	140°65°GB	160°90°GB	143	135	120	22,3	29
185	676634	4181026	797	300°15°KD	110°88°G	115°90°G	114°86°G	102	95	87	14	26
186	676627	4181027	797	275°7°K	260°90°G	90°80°G	95°80°G	90	82	77	13	25
187	676626	4181030	797	280°4°K	250°85°G	85°85°G	90°80°G	82	79	78	15,8	24
188	676626	4181033	802	250°12°KB	240°85°G	90°85°G	90°80°G	80	79	79	17	23
189	676622	4181036	803	315°30°KD	130°77°GB	135°80°GB	125°73°GB	92	83	79	18,6	25
190	676621	4181036	804	315°25°KD	130°78°GB	140°85°GB	130°80°GB	91	82	80	19,1	25
191	676619	4181033	804	320°20°KD	150°90°B	140°85°B	180°85°B	68	66	64	19	22
192	676618	4181031	803	320°20°KD	160°90°B	170°85°B	180°90°B	65	58	53	18,7	21
193	676619	4181030	804	320°20°KD	150°90°B	170°90°B	170°90°B	76	70	65	12,1	23
194	676616	4181032	804	290°6°K	140°85°B	130°70°B	150°80°B	82	80	82	20	24
195	676615	4181031	804	250°10°KB	120°80°K	122°78°K	130°80°K	84	84	80	18,9	24
196	676614	4181031	802	230°20°KB	165°86°B	170°84°B	165°80°B	80	78	78	17,2	24
197	676613	4181029	802	250°6°K	190°90°B	180°85°B	190°90°B	83	72	69	20	24
198	676609	4181030	801	230°6°K	140°87°GB	160°85°GB	150°83°GB	74	72	70	22	23
199	676605	4181030	803	285°12°K	185°90°B	180°88°B	170°90°B	79	70	68	13,4	23
200	676605	4181030	802	230°16°KB	165°85°B	150°90°B	160°85°B	112	102	90	15	27

### 7.1.1 Çalışma Alanındaki Ağaçların Genel Özellikleri

Çalışma alanı 37 dönümlük bir araziden meydana gelmektedir. Ağaçların ortalama yaş aralığı 20-30 yıldır. Ağaçlar tomruk üretimi yapılacak kalitededirler (Şekil 7.1).

DENİZLİ Orman İşletme Şefliği										Tablo No: 1
Bölme No	Meşcere Tipi Sembolü	İşlt. Sın.	ORMANLIK				ORMANSIZ			Toplam Gerçek Saha (Ha)
			Yaş Sın	Bon Sın	Gerçek Saha (Ha)	Redüktif Saha (Ha)	Sembol	İşlt. Sın.	Sahası (Ha)	
65	Çzbc3	L	III	III	3.7		OT	L	3.6	

Denizli Orman İşletme Şefliği Planı 47. Orman Amenajman Başmüh. Tarafından OGM Orman İzresi ve Planlama D. Bşk. Yazılımı ile Yapılmıştır.

Şekil 7.1 : İnceleme alanındaki ağaçların özellikleri (<https://denizliobm.ogm.gov.tr/>) düzenlenerek alınmıştır.

Denizli Orman Bölge Müdürlüğünden tablodan alınan veriler doğrultusunda bazı özellikler şu şekildedir;

Çz; Kızılcım

bc; Kalınlığı orta

3; Ağaçların bulunduğu arazi güneşi çok az görmektedir.

(%90 ile %100 arasında kapalı)

L; İşletme sınıfı; Değişik orman fonksiyonlarının işletme amacı olarak öne çıkması ya da orman formları ve işletme şekilleri yönünden farklı alanların bulunması durumunda ayrılan ve bu alanların, toplu veya parçalar halinde dağınık bulunmalarına bakılmaksızın, taşıdıkları özelliklere göre bir araya getirilmesi ile oluşturulan devamlılık ünitesini belirtmektedir. Orman Amenajman Yönetmeliği tarafından alınmıştır ( <https://www.ogm.gov.tr/>).

İşletme amacı; Denizli’de hava kirliliğini önlemek, gürültüyü azaltmak amacıyla yapılmıştır. Kesinlikle de orman alanlarındaki ağaçlar kesilmeyecektir.



YaşIII; Çalışma alanında bulunan ağaçların yaş ortalaması 20-30 yıldır.

BonIII; Kalitesi hakkında bilgi verir.

Heyelan sahasından örnek alınan ağaçların birçoğunda; zemin ölü örtü ile kaplanmış, diplerinde önceden bulunan veya heyelanla birlikte sürüklenmiş irili ufaklı kireçtaşları toplanmış, gövde kısımlarında yaralar mevcut, taç kısımları bazılarında dik bazılarında yatık veya kesilmiş, budakları ise kırılmış durumdadır.

Heyelanlı alanlarda moloz akması sonucunda ağaç gövdesinin gömülmesi, ağaç kökünün açığa çıkması ağaçların yavaş büyümelerine neden olmuştur (Şekil 7.2). Ağaç gövdesinin eğilmesi de ağaç gövdesinin yamaç hareketi boyunca eğilmesine neden olmuştur (Bollschweiler ve Stoffel 2010).



**Şekil 7.2:** Heyelandan etkilenen ağaçların ortaya çıkardığı bazı durumlar (ağaç gövdelerinin moloz akması sonucu toprağa gömülmesi, eksantrik gövde oluşumu, ağaç köklerinin ortaya çıkması).

Arazide çekilmiş hava fotoğrafından da anlayabilmekteyiz ki bazı ağaçların dik bazı ağaçların yamaç eğimine ters yönde eğildiğini kimisinin de yamaç eğimiyle aynı yönde eğildiğini görebiliriz (Şekil 7.3).



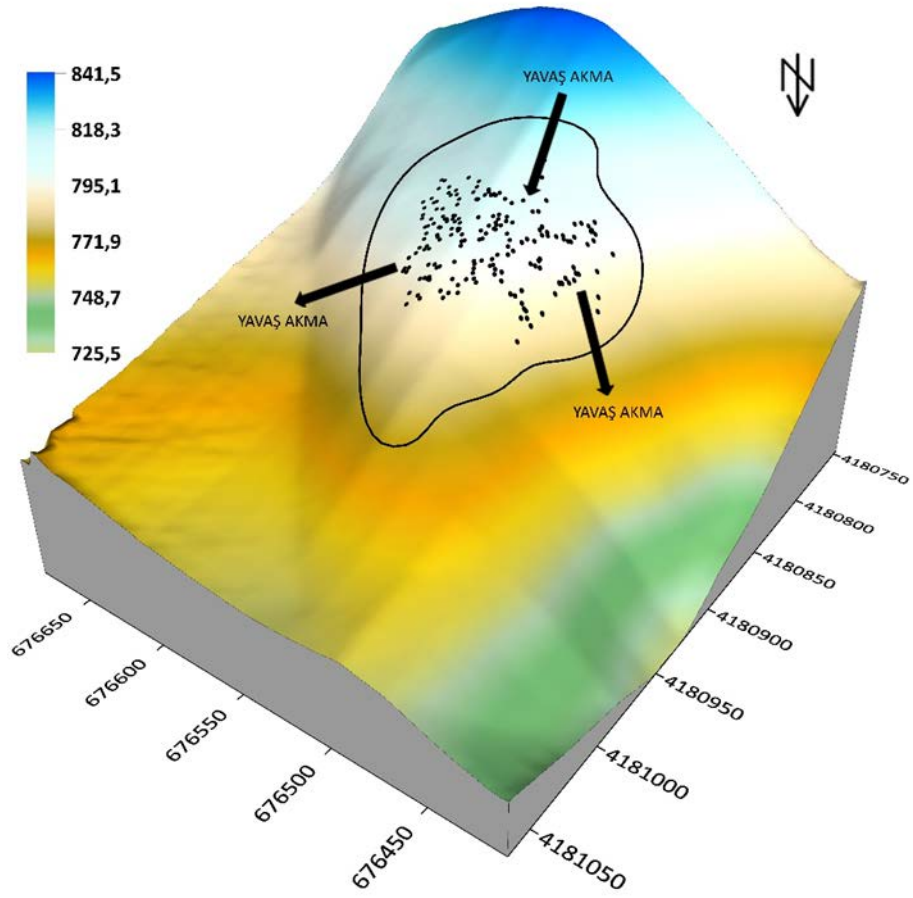
Şekil 7.3: Arazide çekilmiş ağaçların eğim yönünü gösteren hava fotoğrafı.

Ağaçların kök ve gövde eğim yönleri bazen heyelanın iç yapıları ve mekanizmalarıyla ilgili bilgiler de verir (Fantucci ve diğ. 2013). Yamacın eğimine göre ele aldığımızda ağaçların eğim yönleri aynı olabilirken değişiklikte göstermektedirler.

Burada hareket eden bir kütle için 7-8 m derinlikteki ara yüzey boyunca yüzeydeki ağaçlara yansımaları görmekteyiz. Üstteki katman hareket ederken hareket toplu olsa ağaç hareket başladıktan sonra eğilip bükülmeye başlamaktadır.

### 7.1.2 Arazinin Topoğrafya Haritası

Çalışma alanımızın üç boyutlu topoğrafya haritasına baktığımızda K, KB, KD yönünde bir yavaş akma gerçekleşmiştir. Çalışma alanımızdaki ağaç kök ve gövdelerinin eğilme ve bükülmesine, moloz akması sonucu ağaç köklerinin toprağa gömülmesine yavaş akmanın sebep olduğunu anlayabiliriz. Siyah noktalar arazide ölçüm yapılan her bir ağacı temsil etmektedir. (Şekil 7.4).

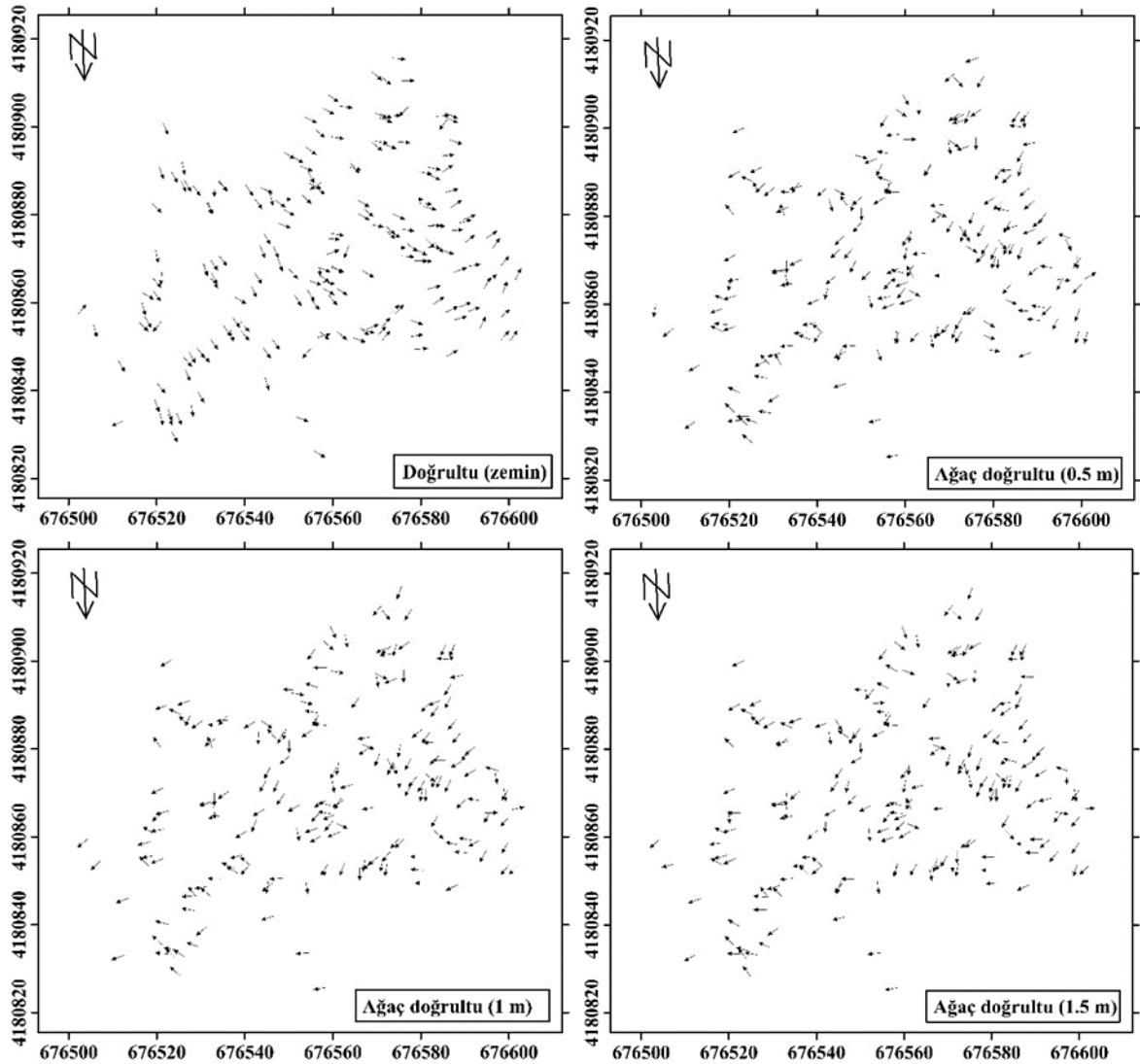


Şekil 7.4: Topoğrafya haritası üzerinde yavaş akmanın hangi yönlerde olduğunu basit gösterimi.

### 7.1.3 Zeminin ve Ağaçların Doğrultu Haritası

Doğrultu yönleri belirli bir yönde değil de birkaç yönde gerçekleşmiştir. (0.5, 1.0, 1.5 m yükseklikten yapılan ölçümler sonucunda gözlemlenmektedir). Heyelan ağaçların kök ve gövdelerinde birçok değişikliğe sebep olmuştur. Ağaç gövdelerinin heyelandan etkilendiğini farklı yüksekliklerinden yapılan ölçümlerinin sonucunda birçok farklı yönde karmakarışık bir şekilde olduğunu haritadan da bakarak anlayabilmemiz mümkündür. Ağaçlarda tahribata deformasyona sebep olmuştur (Şekil 7.5).

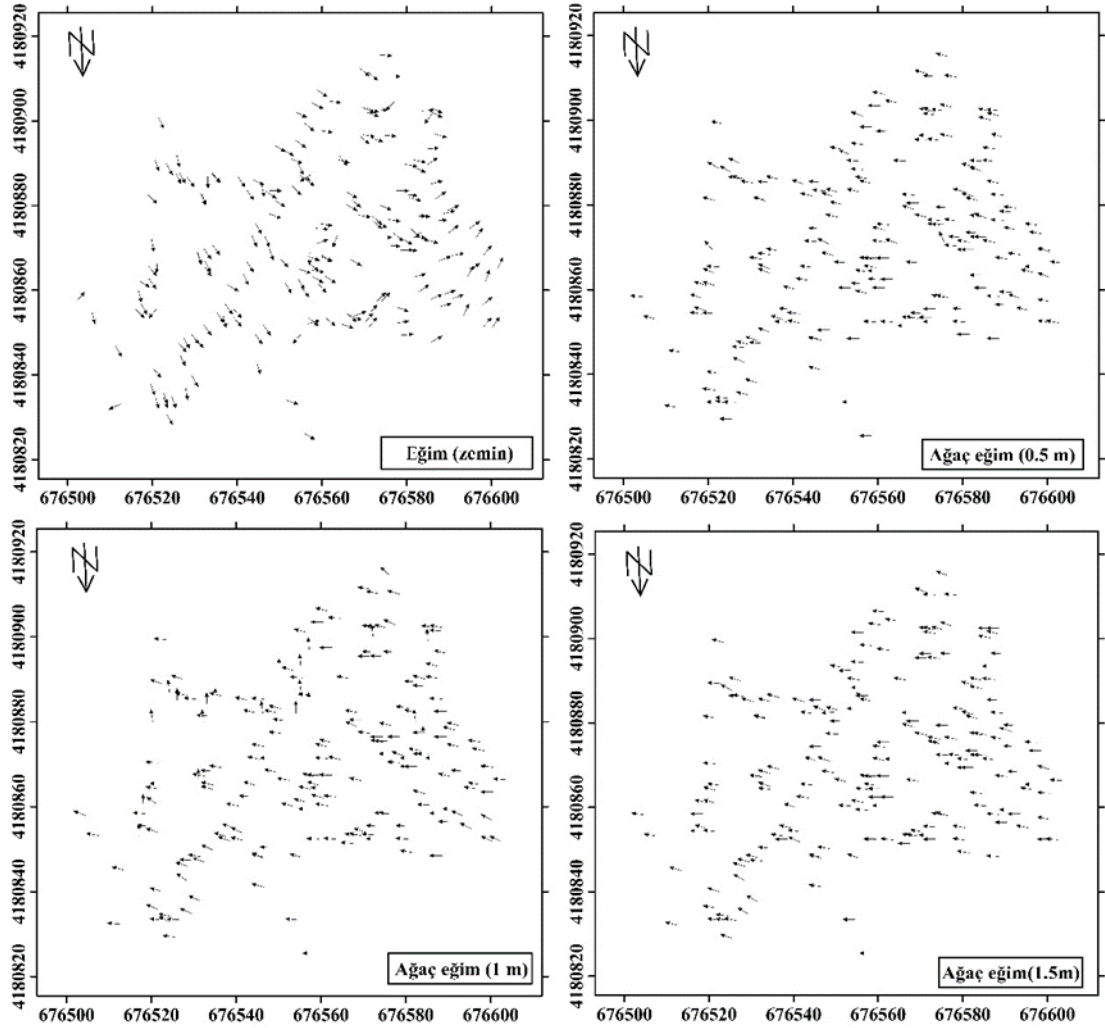
Zeminin ve ağaçların doğrultusu haritada görüldüğü üzere genel anlamda K, bazı kısımlarında ise KB ve KD olarak görülmektedir.



Şekil 7.5: Zeminin ve ağaçların doğrultu haritası.

#### 7.1.4 Zeminin ve Ağaçların Eğim Haritası

Zeminin eğim yönü K, KB ve KD yönünde yani heyelanın gerçekleştiği yöndedir. Ağaç gövdesinin 0.5, 1.0 ve 1.5 m yüksekliğinden yapılan ölçümler sonucunda eğim yönü GB ve GD yönünde gerçekleşmiş ve ağaçta bu yönlerde gövdede sapma eğilme bükülme belirlenmiştir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6: Zeminin ve ağaçların eğim haritası.

İki yükseklikten ölçülen değerler birbirine yakın olmakla beraber, gövde yüksekliği 1 m olan yerlerde daha farklı eğim yönleri bulunmaktadır. Heyelan bazı ağaçlarda kök kısmına yakın yeri (0.5 m) bazılarında gövdede orta kısımları (1.0 m) ise etkilemiş ve bükülmelere ve eğilmelere sebep olmuştur.

Ağaçların kök ve gövde eğim yönleri bazen heyelanın iç yapıları ve mekanizmalarıyla ilgili bilgiler de verir (Fantucci ve diğ. 2013). Bu yüzden çalışma alanımızda da önemli yere sahip olmaktadır.

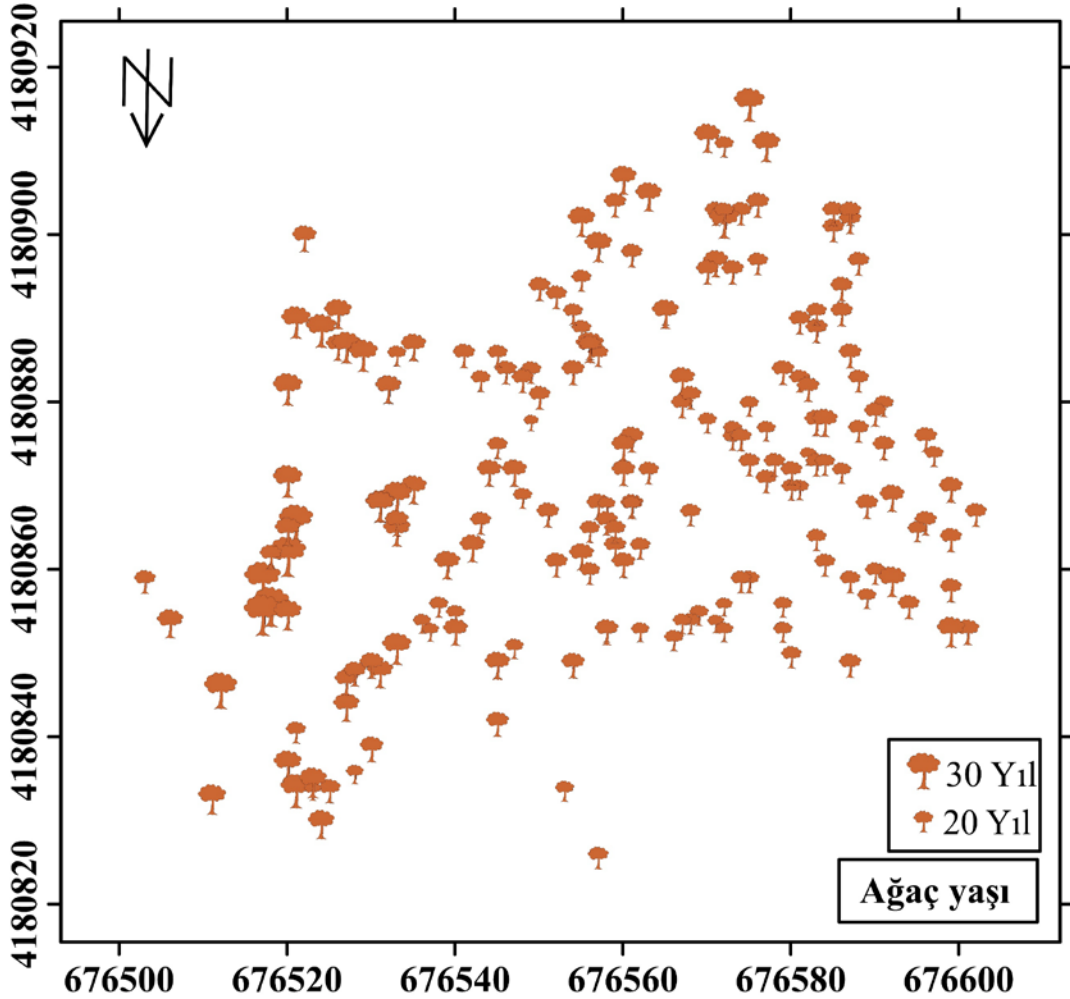
Eksantrik gövde özellikleri heyelan çalışmalarında dikkate alınan diğer bir konudur. Durağan olmayan yamaçlarda gelişen ağaçların gövdeleri eğilme eğilimindedir ve çoğu zaman gövdeler deformasyona uğrar. Çeşitli kütle hareketleri sırasında ağaçlar da eğilip bükülür. Böyle durumlarda eğilme yönüne bağlı olarak deformasyonun niteliği de belirlenmiş olur: Bu gövde kesitleri ovaldir ve eğim yönüne doğru uzamışlardır. Stabil yamaçlarda büyüyen ağaçlar ise düz, dik gövdelere sahiptir ve gövde kesitlerinde büyük deformasyonlar görülmez (Malik ve diğ. 2013).

Çalışma alanımızda yer alan heyelan kütlelerinde yavaş akma gerçekleşmiş ve genel olarak K yönde meydana gelmiştir. Aynı zamanda KB ve KD yönünde de bir kısım yavaş akma meydana gelmiştir. Yıllar içerisinde gerçekleşen bu yavaş akma durumundan dolayı ağaçların kök ve gövdelerinde akmanın gerçekleştiği yönlerin tam tersi bükülerek eğilmiştir. Aynı zamanda bazı ağaçların kök ve gövdelerinde de hiçbir şekilde eğim gerçekleşmemiş ve dik bir konumda yer almaktadırlar. Heyelandan dolayı K, KB ve KD yamacındaki ağaçların bir kısmı hiçbir şekilde eğilmeyerek K yönünde sabit kalmış bir kısmı KB, KD, G, GB, GD yönlerinde eğilerek değişiklikler göstermiştir. Yani akmadan dolayı bazı ağaçlar akmaya ters yönde eğilmiş bükülmüş diğerleri ise sabit kalmıştır.

### 7.1.5 Arazide Bulunan Ağaçların Yaş Haritası

Çalışma alanımızda bulunan ağaçların ortalama yaşları 20-30 yıldır. Önceden de bahsedildiği gibi ağaçların yaşının belirlenmesi işlemi artım burğu ile örnekler alınarak hesaplanmıştır. Fakat çoğu ağacın yaş olmasından kaynaklı istenilen derecede örnekler alınamamış ve kırıklı, parçalı bir şekilde örnekler alınmıştır (Şekil 7.7).

Örnek alınan ağaç halkaları laboratuvar ortamında kurutularak bekletilmiş ve ona göre halkalar sayılarak yaşları belirlenmesi sağlanmıştır. Denizli Orman Bölge Müdürlüğü'nden ve araziye yakın yerleşim yerlerinde bulunan insanlardan alınan bilgiler doğrultusunda ağaçların genel özellikleri ve yaşları hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

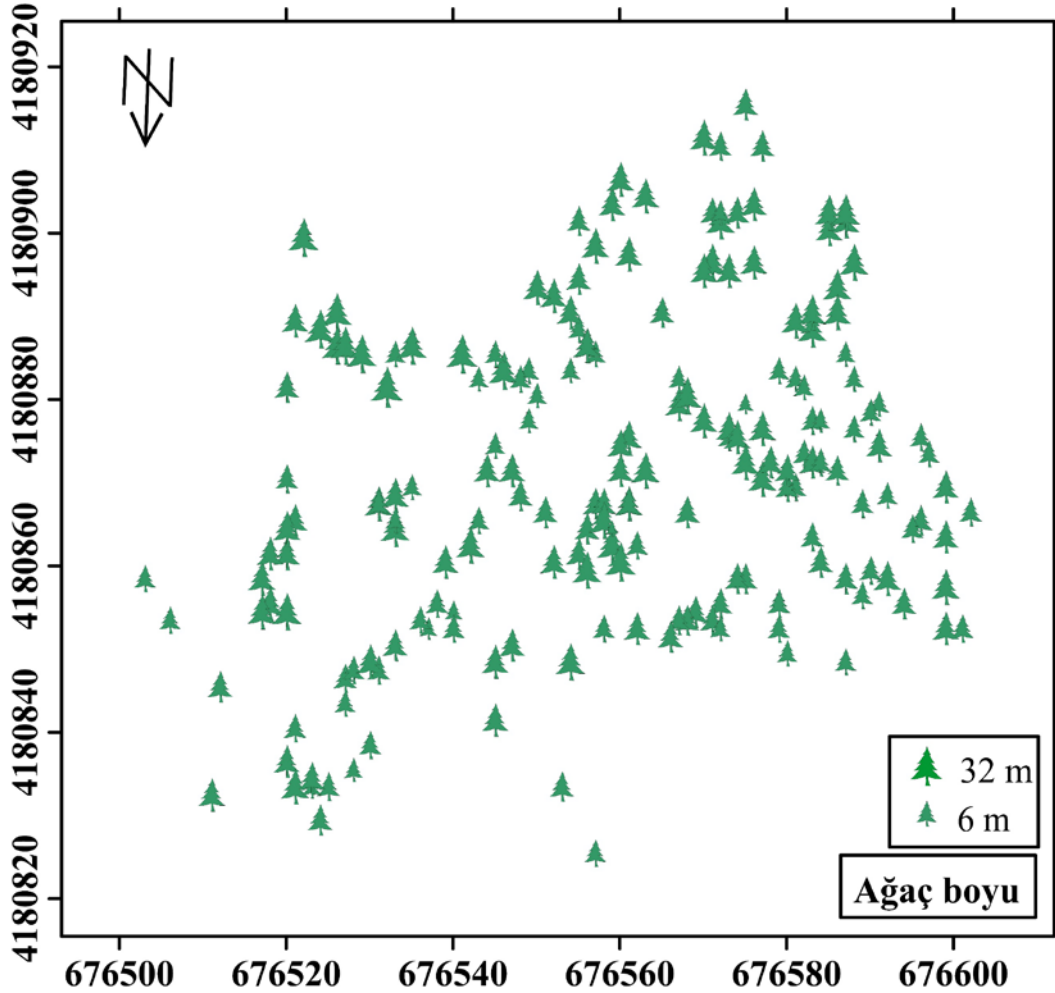


Şekil 7.7: Arazide yer alan ağaçların yaş haritası.

### 7.1.6 Arazide Bulunan Ağaçların Boy Haritası

Haritadan da anlaşılacağı üzere boyu en yüksek ağaç 32, boyu en düşük ağaç 6 m olarak ölçülmüştür. Genel anlamda çalışma alanımızda bulunan ağaçların ortalama boyu 19 m aralığındadır. Ağaçların boyunun uzun veya kısa olmasının sebepleri arasında heyelandan kaynaklı ölü toprağın ağaçların köklerini kapatarak gelişimlerini hızlı tamamlamalarına neden olmasıdır (Şekil 7.8).

Çalışma alanımızda bulunan ağaçlar güneş ışığını az görmektedirler. Boyu çok kısa olan ağaçların gövde kalınlıkları da az olmakla birlikte kurumuş ve cansız bir şekildedir. İnceleme alanına genel olarak bakıldığında ağaçların verimli orta kalitede oldukları görülmektedirler.

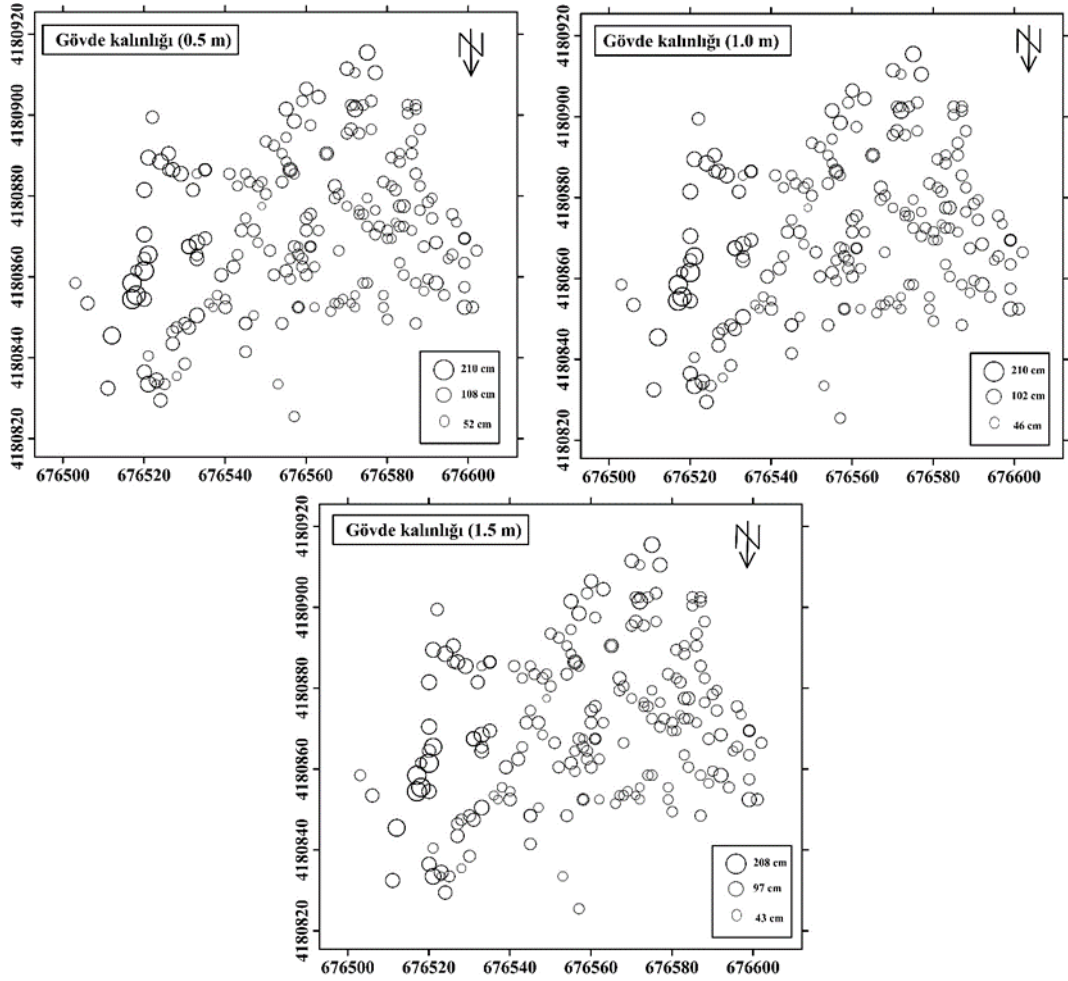


Şekil 7.8: Arazide yer alan ağaçların boy haritası.



### 7.1.7 Arazide Bulunan Ağaçların Gövde Kalınlık Haritası

Ağaçların gövde kalınlıkları farklı yüksekliklerden (0.5, 1.0, 1.5)m yüksekliklerden mezura yardımıyla ölçülmüştür. En fazla gövde kalınlığı 210 cm en az ise 43 cm olarak ölçülmüştür. Genel anlamda ağaçların gövde kalınlıklarının ortalaması ise 90-110 cm arasındadır (Şekil 7.9).



Şekil 7.9: Arazide bulunan ağaçların farklı yüksekliklerden (0.5-1.0-1.5)m ölçülerek hazırlanan gövde kalınlıkları haritası.

Gövde kalınlıkları birbirine yakın olmakla beraber bazı ağaçlarda ekstra farklılıklar göstermiştir. Farklılıklar gösteren ağaçlardaki başlıca sebeplerden olan heyelandan kaynaklı gövdelerin yamulması ve köklerinin toprağa gömülmesidir. Bazı ağaçlarda ise yağış ve güneş ışığını az alması durumundan kaynaklanmaktadır. Yağışın bol olduğu zamanlarda geniş halka az olduğu zamanlarda ise küçük halkalar meydana gelmektedir. Bu yüzden ağaçların gövdeleri de farklı derecede gelişmektedir.

Ağaçlarda gövde kalınlığı en fazla olan aralık 0.5 m yüksekliğinde ölçülen aralıktır. Kök kısmına yakın olan yükseklikte ölçüldüğü için gelişimini iyi tamamlamış ve kalınlığın en fazla olduğu bölgedir. Bazı ağaçlarda ise kök kısmına yakın olan yerlerden başka yerler daha fazla gelişmiştir bunun sebebi ağacın heyelandan kaynaklı yamularak yana doğru yatmasıdır. Toprağın akması sonucunda ağaç eğim aşağı veya eğimi ters yönde bir basınç uygulamasından kaynaklanmaktadır.

### 7.1.8 Gül Diyagramları

Çalışma alanında alınan ölçümler neticesinde zemine ait doğrultu, eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları hazırlanmıştır. Aynı zamanda ağaçlara ait farklı yüksekliklerden de (0.5, 1.0, 1.5 m) yapılan ölçümler sonucunda doğrultu, eğim yönü, eğim miktarına ait gül diyagramları hazırlanmıştır ve aşağıda sırayla hepsi verilecektir.

Gül diyagramlarının çoğu kırık ve çatlak sistemlerine yönelik yapılmaktadır. Burada asıl amaç bir bölgedeki zemin ve ağaçların doğrultuları, eğim yönleri, eğim miktarlarının ortaya çıkarılmasıdır. Bunun sonucunda şevin kayma yüzeyinin hangi yönde ve miktarda olduğu bilinecek ağaçlarında hangi yönde eğim gerçekleştiği bilinecek ve birbirleriyle karşılaştırılarak ağaçlarda gerçekleşen olaylar sonucunda kütle hareketlerinin belirlenmesi gerçekleşecektir.

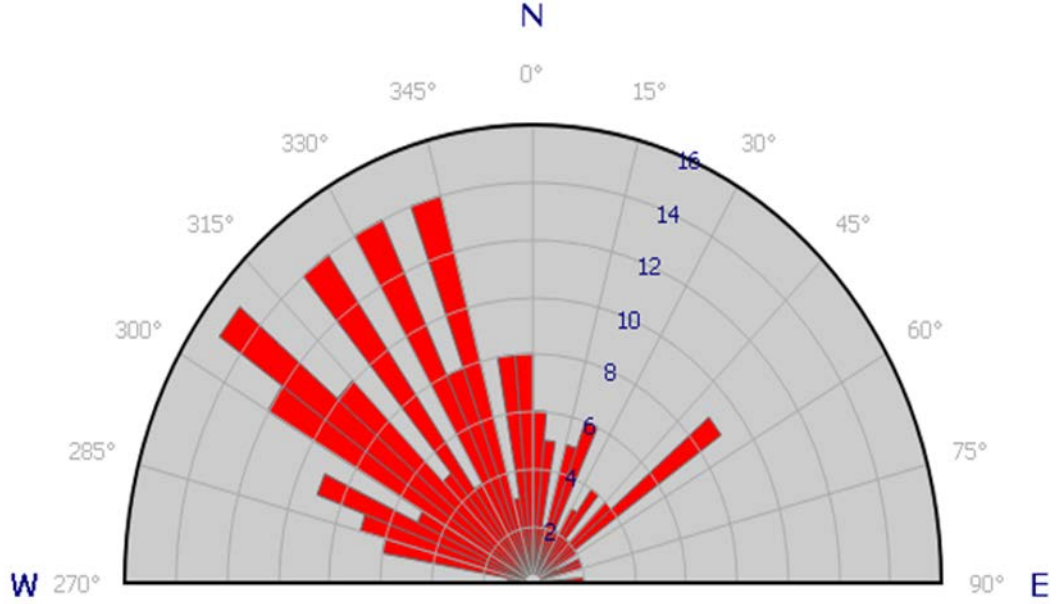
**Doğrultu:** Tabakanın yatay düzlemlerle yaptığı ara kesitidir. Doğrultunun değeri ise bu ara kesitin coğrafi kuzeyle yaptığı dar açıya eşittir.

**Eğim Yönü:** Tabakanın eğimin azaldığı yöndür. Bu yönün değeri, coğrafi kuzey veya güney ile yaptığı dar açıya eşittir. Yani eğim yönü tabaka düzlemi üzerine su damlatıldığında o suyun akış istikametidir. Aynı tabaka düzleminin eğim yönü daima doğrultuya diktir.

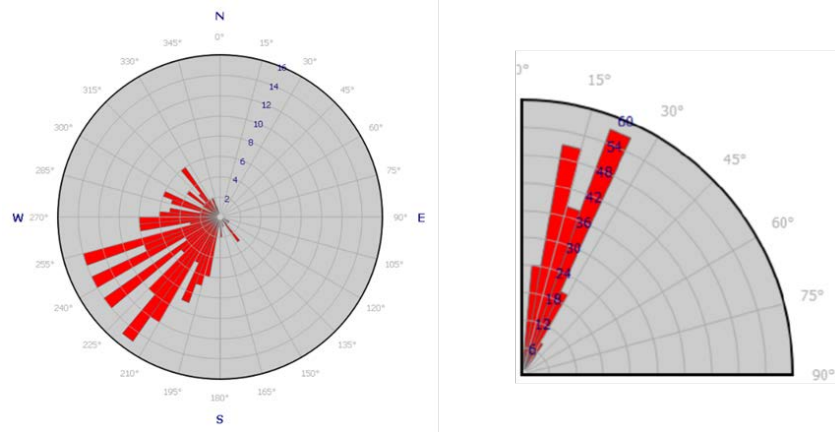
**Eğim Miktarı:** Tabaka ile yatay düzlem arasındaki dar açı olup, bu açı daima doğrultuya dik bir düzlem üzerinde ölçülür. Tabakanın eğim miktarı açısı 0° den 90° ye kadar değişik değerlerde olabilir.

### 7.1.8.1 Zemin İçin Gül Diyagramları

Gül diyagramına göre, K45-60B arasında kalan egemen doğrultu grubunu oluştururken K30-60B arasında da yoğunlaşmanın olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10: Doğrultuya ait gül diyagramı.

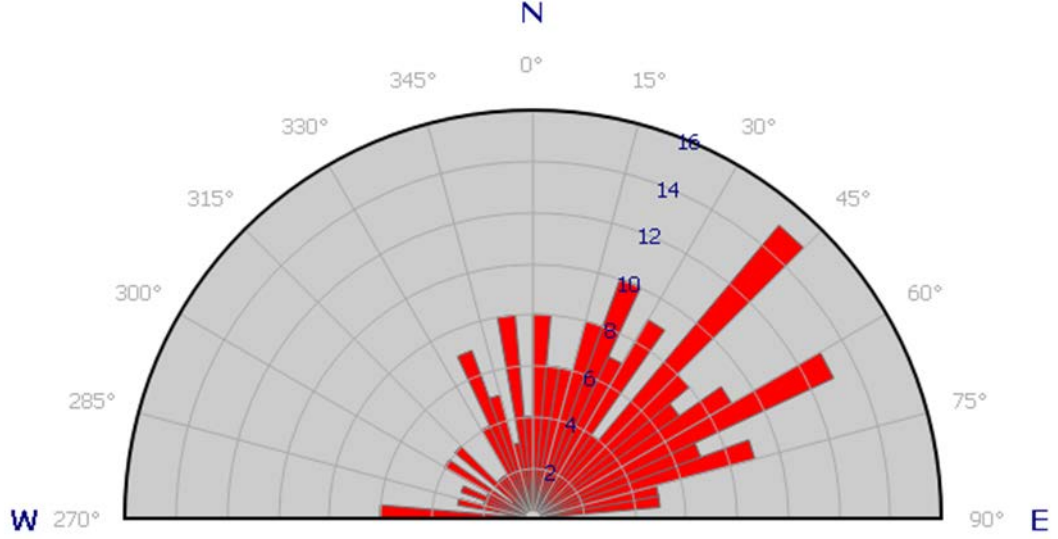


Şekil 7.11: Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.

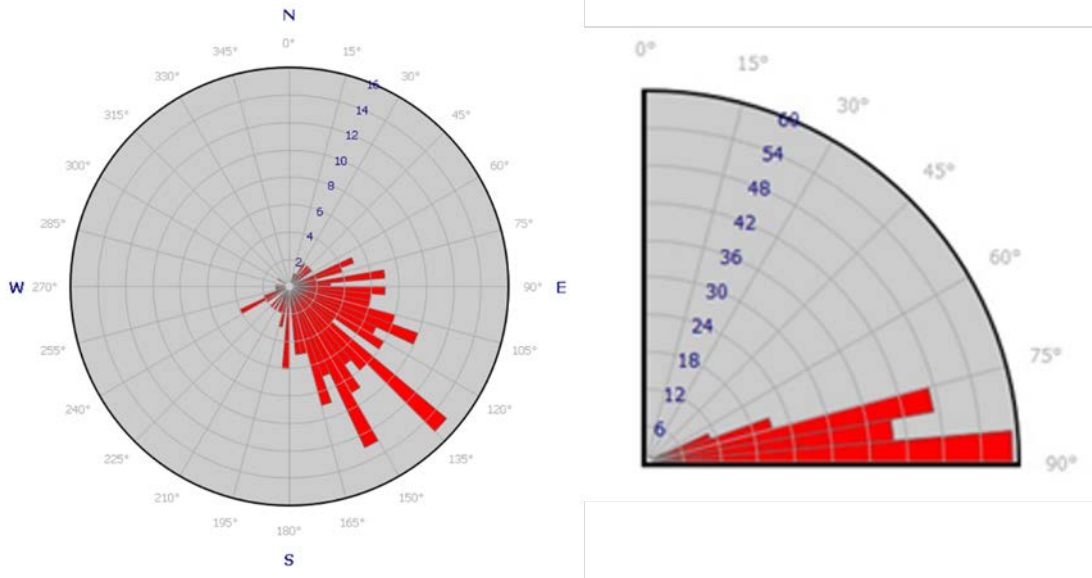
Gül diyagramına göre, eğim yönü GB'ye doğru görülmekte olup eğim miktarı ise 0°-30° arasındadır. Eğim miktarının yataya yakın olduğunu görebiliriz (Şekil 7.11).

### 7.1.8.2 Ağacın 0.5 m Yüksekliği İçin Gül Diyagramları

Gül diyagramına göre, K30-45D arasında kalan egemen doğrultu grubunu oluştururken K30-75D arasında da yoğunlaşmanın olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 7.12).



Şekil 7.12: Doğrultuya ait gül diyagramı.

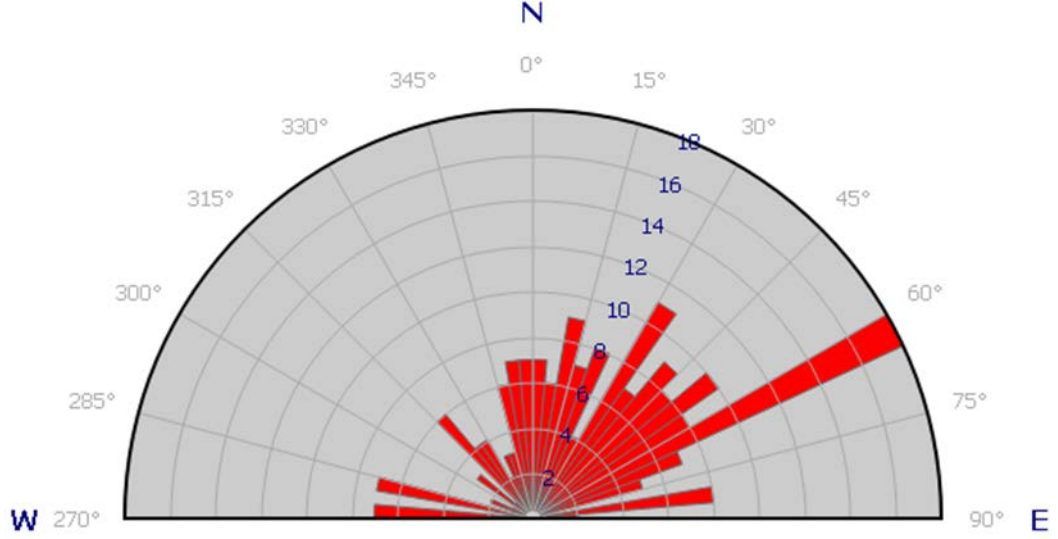


Şekil 7.13: Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.

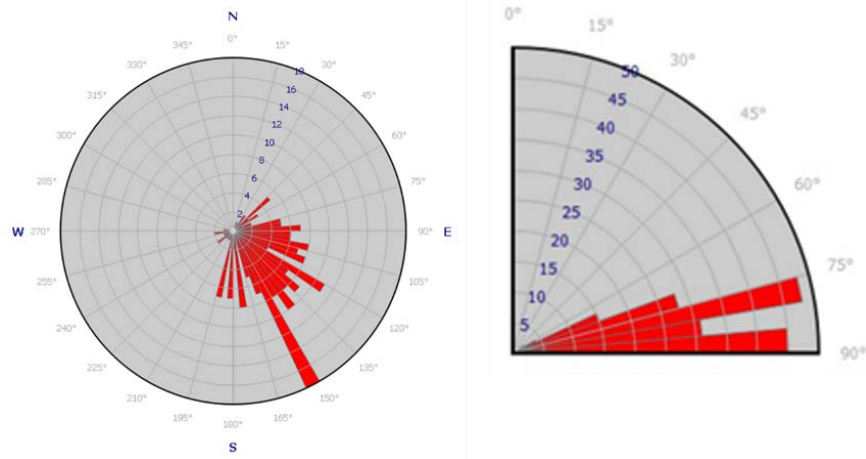
Gül diyagramına göre, eğim yönü GD'ye doğru görülmekte olup eğim miktarı ise 60°-90° arasındadır. Eğim miktarının dike yakın değerlerde çıktığını görebiliyoruz (Şekil 7.13).

### 7.1.8.3 Ağacın 1.0 m Yüksekliği İçin Gül Diyagramları

Gül diyagramına göre, K60-75D arasında kalan egemen doğrultu grubunu oluştururken K30-60D arasında da yoğunlaşmanın olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 7.14).



Şekil 7.14: Doğrultuya ait gül diyagramı.

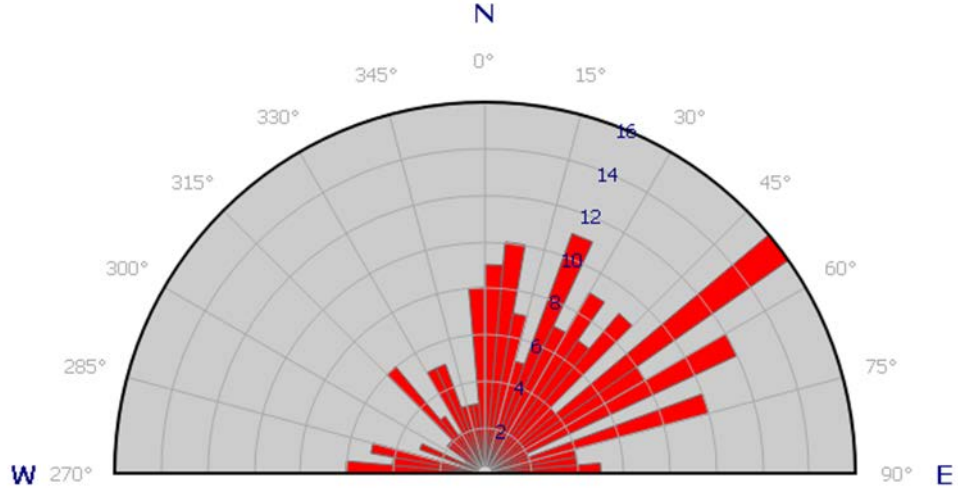


Şekil 7.15: Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.

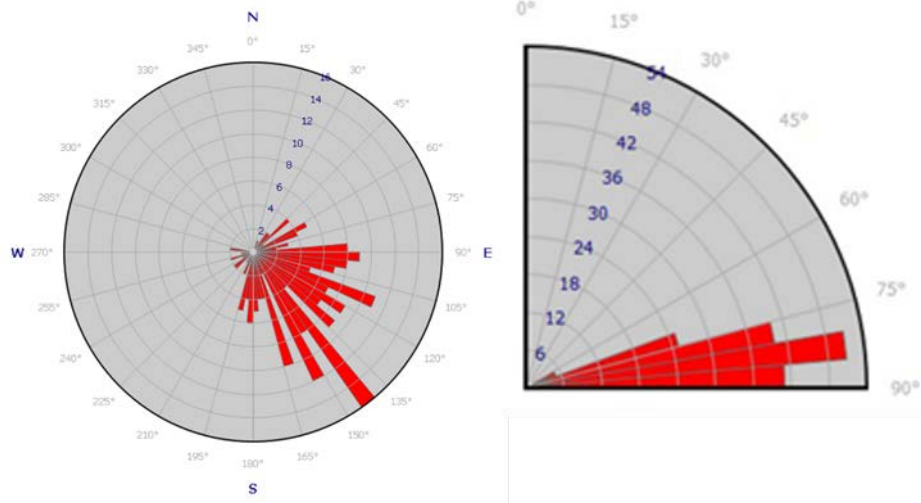
Gül diyagramına göre, eğim yönü GD'ye doğru görülmekte olup eğim miktarı ise 60°-90° arasındadır. Eğim miktarının dike yakın değerlerde çıktığını görebiliyoruz (Şekil 7.15).

#### 7.1.8.4 Ağacın 1.5 m Yüksekliği İçin Gül Diyagramları

Gül diyagramına göre, K45-60D arasında kalan egemen doğrultu grubunu oluştururken K30-60D arasında da yoğunlaşmanın olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 7.16).



Şekil 7.16: Doğrultuya ait gül diyagramı.



Şekil 7.17: Eğim yönü ve eğim miktarına ait gül diyagramları.

Gül diyagramına göre, eğim yönü GD'ye doğru görülmekte olup eğim miktarı ise 60°-90° arasındadır. Eğim miktarının dike yakın değerlerde çıktığını görebiliyoruz (Şekil 7.17).

Gül diyagramlarından elde ettiğimiz şekiller sonucunda çalışma alanımızda zeminin eğimi KB yönlü ve yataya yakınken, ağaçların eğimi GD yönünde dike yakın çıkmıştır. Sonuç olarak yavaş kaymanın gerçekleştiği yamaçlardaki ağaçların kaymanın ters yönünde eğildiğini ve büyümelerinin de bu şekilde devam ettiğini görebilmekteyiz.

## 7.2 Jeofizik Çalışmalar

### 7.2.1 Çoklu Elektrot Özdirenç Yöntemi Veri Toplama ve Veri İşleme

Jeofizik çalışmalar kapsamında inceleme sahasında Elektrik Özdirenç Tomografisi (ERT) çalışmasını içeren jeofizik araştırma yapılmıştır. Çok elektrotlu ölçü sistemi ile 4 profilde alınan elektrik özdirenç birleşik sondaj-profil saha verisinin 2B (iki-boyutlu) ters çözümünü kapsamaktadır.

ÇEO yönteminde ölçü alınan yerlerin koordinatları(diğer ölçümlerde de aynı veya birbirine çok yakın seviyelerde koordinat sisteminde ölçü alınmıştır) (Şekil 7.18).



Şekil 7.18: Ç.E.Ö yönteminde ölçü alınan yerlerin arazide gösterimi

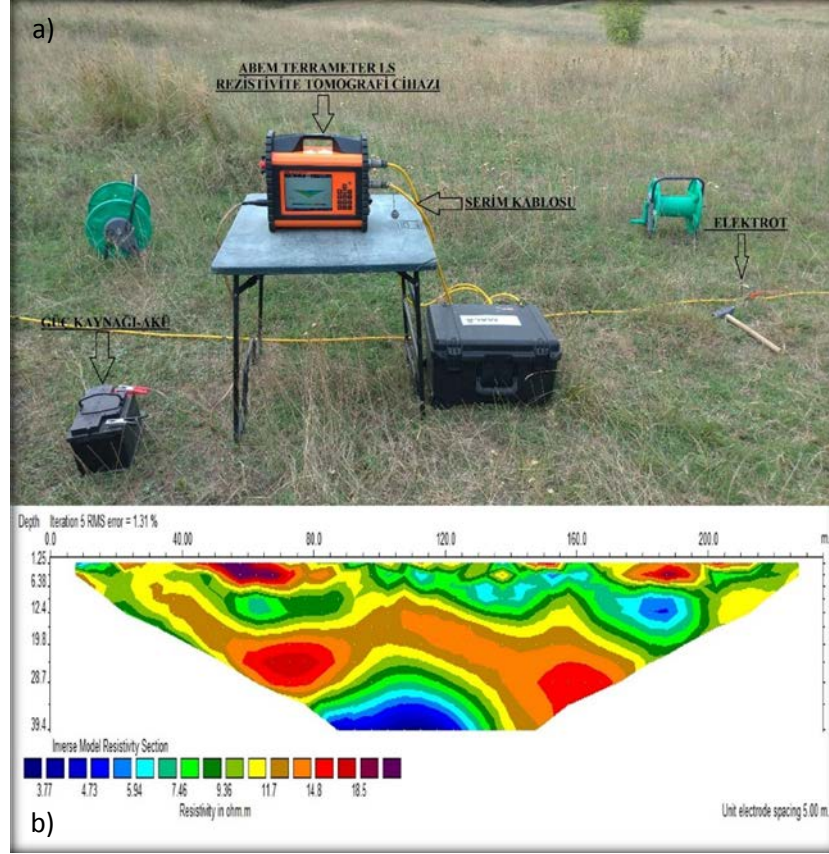
**Tablo 7.2:** Çok elektrotlu öz direnç yöntemine ait serimlerin koordinatları.

Profil No;	Koordinat Tablosu				Elektrot Aralığı (m)	Profil Uzunluğu(m)
	Başlangıç		Bitiş			
	X	Y	X	Y		
Ç.E.Ö - 1	676476	4181011	676486	4180890	5	120
Ç.E.Ö - 2	676528	4180947	676493	4180832	5	120
Ç.E.Ö - 3	676515	4180944	676594	4180854	5	120
Ç.E.Ö - 4	676538	4180959	676612	4180865	5	120

İnceleme alanında yapılan 4 adet çoklu elektrotlu rezistivite tomografi çalışmaları 24 elektrot olarak uygulanan yöntemde 5 metrelik elektrot aralıkları seçilmiş olup, 20 metre derinlikte toplam profil uzunlukları her bir profil için ayrı ayrı 120 metre toplamda 480 metre olarak WennerSchulumberger diziliminde ölçümler alınmıştır. Ölçüm boyunca 24 elektrot ve 5 metre aralıklı Jeo-elektrik serim kablosu kullanılmıştır.

Gelişen teknolojiyle beraber doğrultu boyunca sondaj-profil ölçülerinin alınmaları sağlanmakta otomatik olarak değiştirebildiğimiz çok elektrotlu öz direnç ölçü alınması sistemlerinin ilerlemesine imkan vermiştir. Elde ettiğimiz görüntü (görünür öz direnç yapma kesiti) ters çözüm algoritması ile işlenerek profil boyunca öz direnç-derinlik değerlerini hesaplamaktadırlar (Bernard ve diğ. 2004). Çok elektrotlu öz direnç yöntemi eşit aralıklarla bir hat boyunca çakılarak, elektrotlarla bağlantısını sağlayan kablolardan meydana gelmektedirler. Elektrot sayısı, çalışma amaç ve kapsamına göre farklı olabilir. Çalışmada İsveç Malags / Guideline Geo firmasının Abem Terrameter LS çok elektrotlu 4 kanallı 64 Elektrot dijital tomografi cihazı kullanılmıştır (Şekil 7.19).





Şekil 7.19: a) Ç.E.Ö yöntemin ana bileşenleri b) 2B örnek görüntüsü.

Çok kanallı öz direnç aletleri, yer altının düşey ve yanal elektriksel değişimlerine duyarlı olan tomografi ölçüsünün alınmasına olanak verdiği için günümüzde sıkça tercih edilmektedir. Ölçümlerde veri sayısı, araştırma derinliği ve ölçüm duyarlılığına bağlı elektrot dizilimleri seçilebilmektedir. Çalışmada araştırma amacına ve planına uygun olacak biçimde WennerSchulumberger dizilimi kullanılmıştır. Bu dizi hem yatay hem de dikey yapılara orta derecede duyarlıdır.

Çalışma alanında ölçülen elektrik öz direnç verileri RES2DINV programı sayesinde işlenmiştir. Bu programda doğrusal olmayan problemlerin çözümü sağlamaktadır. Arazide ölçülen değerlerin ve en küçük kareler ters çözüm yönteminin uygulanmasından elde edilen sonuçlarla oluşabilen uyumsuzlukları en aza indirmek için bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilir (Hedlin ve Constable 1990). Toplanan veriler RES2DINV programının formatına dönüştürülür ve topoğrafya verileri ekleyerek ters çözüm işlemine hazır hale getirilir. Görünür öz direnç verileri programa aktarıldıktan sonra, veri işleminin aşamalarından ilk sırada uygulanması gereken filtreleme işlemi uygulanır. Bu aşamada verilerdeki uyumsuzluk gösteren değerleri teker teker seçilerek veri setinden silinir. Bu tür veriler genellikle kullanılan öz direnç

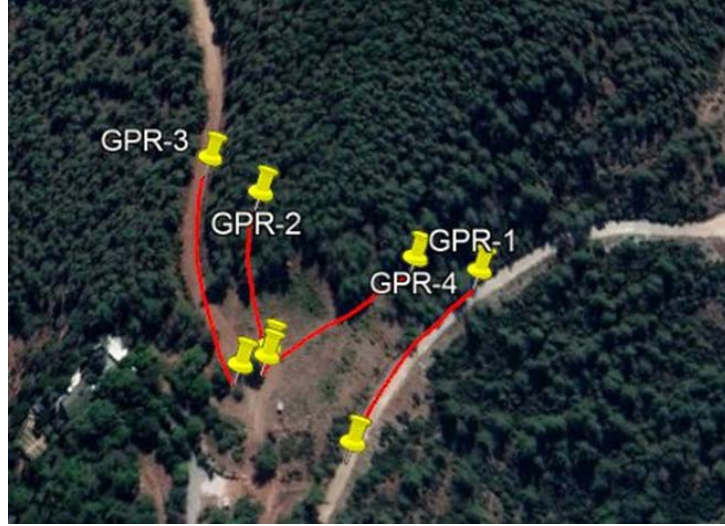
cihazındaki rölelerin biri veya birkaçının arızalanması veya elektrotların toprakla zayıf iletimde olmalarından kaynaklanmaktadır.

### 7.2.2 Yer Radarı Yöntemi Veri Toplama ve Veri İşleme

GPR ölçümleri, GSSI SIR-3000 Sys cihazının yansıma modun da ayarlanmasıyla 400 MHz anten ile ölçümler alınmıştır. Ölçümler yapılmadan önce GPR cihazı 50 ns zaman penceresi, metrede 50 iz ve 50 iz başına 512 örnek alacak şekilde ayarlanarak cihazın mesafe kalibrasyon ayarlaması yapılarak ölçümleri mesafe ortamında kaydederek ayarlanmıştır. Bu sayede oluşan radagramla x ekseninde zaman yerine mesafe yer almıştır. GPR verileri alınırken dielektrik geçirgenliği 8 olarak belirlenmiştir. Toplam da 4 profil olarak farklı uzunluklarda ölçümler alınmıştır. Farklı uzunluklarda alınmasının sebebi ise arazinin elverişli olup olmamasına göre değişmektedir (Şekil 7.20). Şekil 7.21’de GPR yönteminde ölçü alınan yerler gösterilmiştir.



Şekil 7.20: a), b) GPR yönteminin ana bileşenleri ve c) örnek radagram görüntüsü.



Şekil 7.21: GPR yönteminde ölçü alınan yerlerin arazide gösterimi.

GPR veri işlem adımları ReflexW, Sandmaier (2005) programı ile yapılmıştır. Veri işlem; genel olarak Dewow (çok düşük frekansların atılması), Subtract DCShift (bileşenin veriden atılması), Bandpass (bandın dışındaki bileşenlerin atılması) ve Gain (genlik kazanç) adımlarını kapsamaktadır. Migrasyon (göç) adımları bu çalışmada uygulanmamıştır. Çünkü 2B migrasyon veri işlem sırasında küçük düşey çatlakları görünmez hale getirmektedir (Grasmueck ve diğ. 2005). Bununla birlikte güçlü yansımalara sahip çok geniş hiperboller, göçe (migrasyona) uğramamış GPR veri görüntülenmesini sınırlandırabilir (Kadioğlu 2008).

### 7.2.3 MASW Yöntemi Veri Toplama ve Veri İşleme

İnceleme alanında zeminlerin dinamik-elastik mühendislik parametrelerini, tabaka kalınlıklarını, deprem yönetmeliklerine göre zemin sınıflarını belirlemek amacıyla sismik kırılma-MASW çalışmaları yapılmıştır. Toplam 4 adet sismik kırılma MASW yapılmıştır. Sismik kırılma ölçümünde düz, orta ve ters noktadan vuruşlar yapılmış olup yeraltının 30 m derinliğini görecektir şekilde ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlere bağlı olarak tabakalanma, yer altı hız yapısı, zeminlerin dinamik-elastik mühendislik parametreleri, zemin sınıfları, zemin hakim titreşim periyotları, zemin büyütme ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikler belirlenmiştir. Jeofizik ölçümler, alanı en iyi şekilde temsil edecek yerlerde alınmıştır (Şekil 7.22).

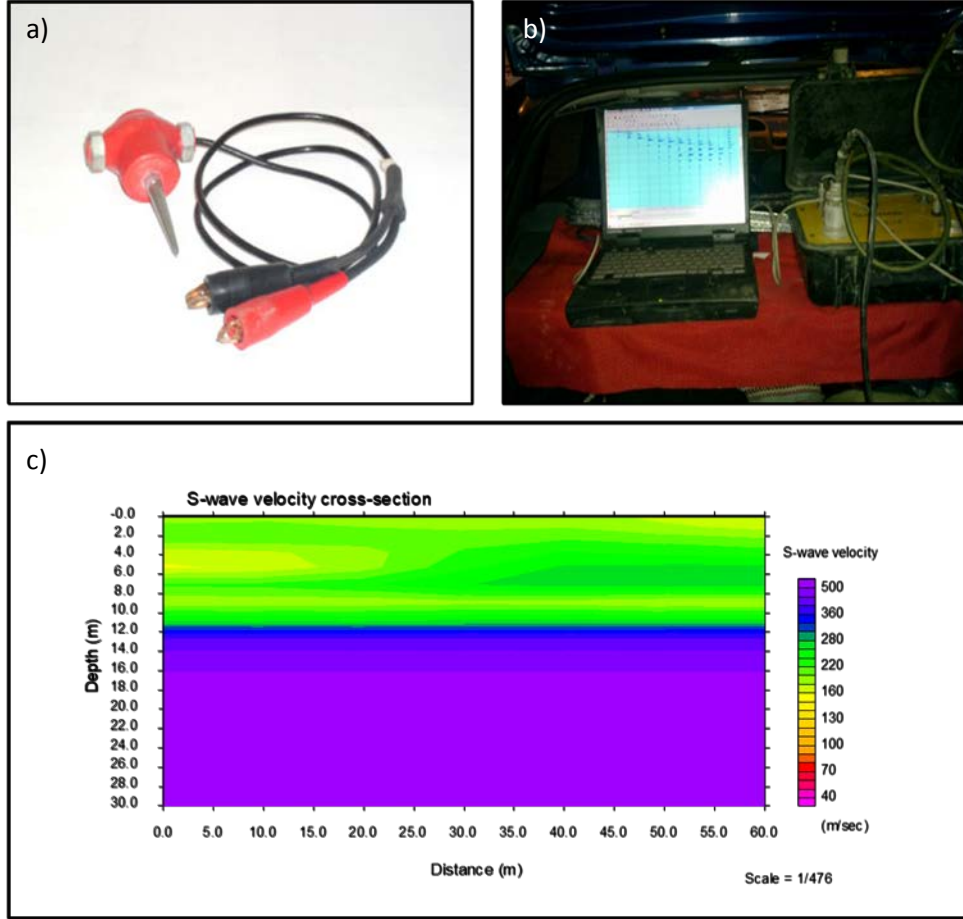


Şekil 7.22: MASW yönteminde ölçü alınan yerlerin arazide gösterimi.

İnceleme alanında 4 adet 55 metre açılımlı MASW Yüzey Dalgası ölçümleri yapılmıştır. Toplam 4 profil üzerinde 12 kanallı olarak uygulanan MASW yönteminde jeofon aralıkları 5 m ve ofset 10 m seçilerek 4.5 Hz'lik jeofonlar kullanılmıştır. MASW ölçümlerinde örnekleme aralığı 0.5 msn ve kayıt uzunluğu 1 msn olarak seçilmiştir.

Ölçü alınırken "Seistronix" marka "RAS-24" model, sinyal biriktirmeli sismograf kullanılmıştır (Şekil 7.23). Sistem otomatik örnekleme ve gösterim yapabilen, sinyal artırıcı çok kanallı olarak sinyal grafiği verebilen optik ünite, kablolar, S jeofonları ve güç ünitesinden ibarettir. Güç ünitesi olarak 12 voltluk aküden yararlanılmış, S sinyalleri için 12 adet 4.5 Hz' lik düşey jeofon kullanılmıştır.

Sahada ölçümler Ras-24 Ver. 2.1 yazılımıyla alınmış ve kaydedilmiştir. Sahada kaydedilen MASW ölçümleri Seisimager Ver. 2.8.0.1 yazılımıyla değerlendirilmiştir.



Şekil 7.23: a), b) MASW yönteminin ana bileşenleri ve c) örnek tomografi görüntüsü.

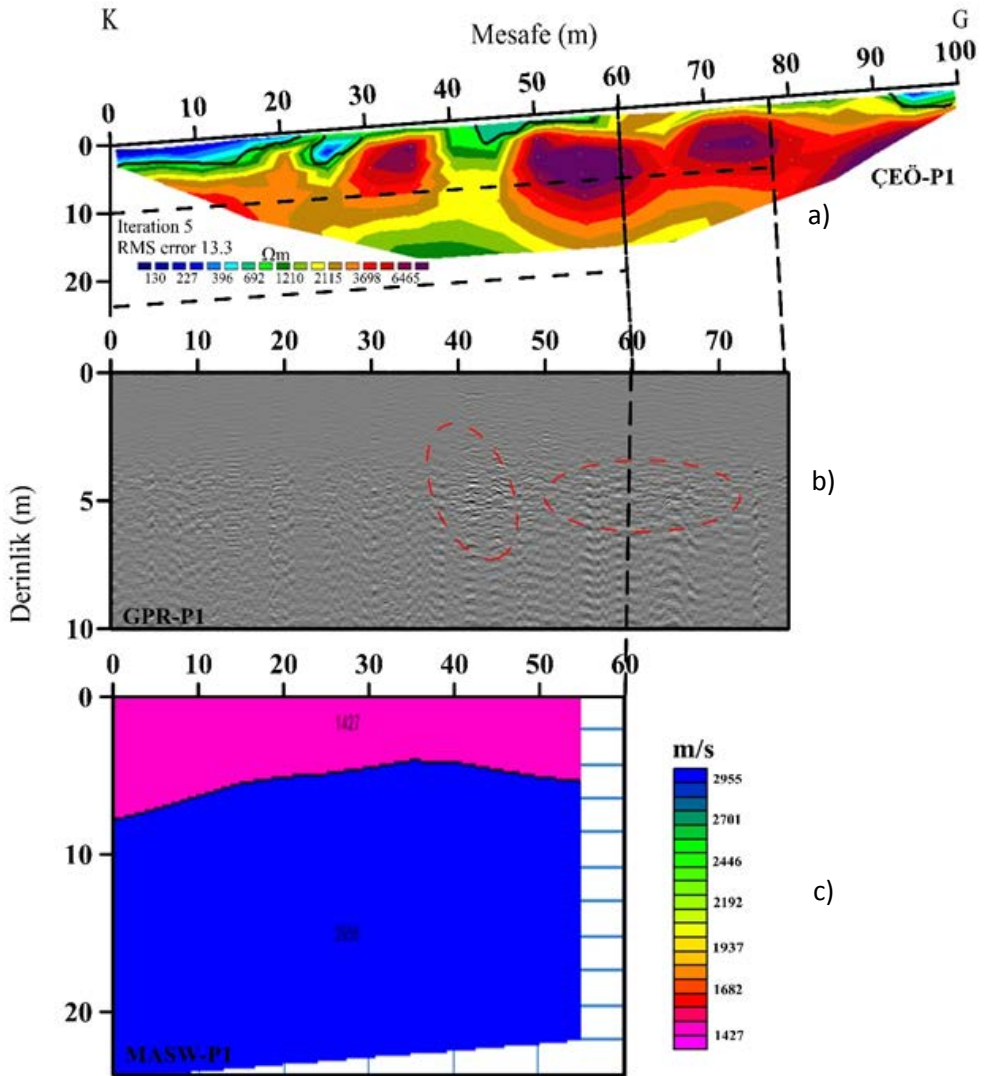
#### 7.2.4 Jeofizik Veri Toplanmasında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Heyelanlı sahanın karmaşık olması nedeniyle, 2B ve 3B'lu çalışmalar (arazi ve büro) dikkat edilmelidir. Ölçümleri mümkün olduğunca sık ve birbirine paralel almalıyız ki doğru sonuçlara ulaşabilelim. Heyelanın yüzey ve kayma düzlemi topoğrafyasının hesaba katılması için, kayma doğrultusuna dik hatlar atılarak ölçümler almalıyız. Hatlar boyunca koordinat ve topoğrafik bilgiler (kotlar) arazi defterine not edilmeli ve daha sonra bilgisayar ortamında kayıt altına alınmalıdır. Heyelan alanının dışından ölçümler alınarak, heyelan kütlesi üzerinde alınan ölçümlerle karşılaştırılmalı ve değişimler gözlenmelidir. Elde edilen jeofizik yer kesiti, kesinlikle jeolojik kesitler ile karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmeli ve sonuçlar birbirleriyle olan ilişkilerine göre değerlendirilmelidir. Jeofizik bulgulara göre belirlenen yerlerde sondajlar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

## 7.2.5 Jeofizik Verilerin Yorumlanması

Çalışma alanımızda toplam da 4 adet farklı profiller bulunmaktadır. Bu 4 adet her profil için jeofizik yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar neticesinde çalışma alanı içinde yer alan kütle hareketi yönü ve büyüklüğü hakkında bilgilere erişme imkanımız olacaktır.

Bu kısımda kesitte yer alan çok elektrotlu öz direnç yönteminin 2B (iki boyutlu) görüntüsü, jeoradar yönteminin radagram görüntüsü ve MASW içinde derinlik kesiti hakkında yorumlar yapılacaktır (Şekil 7.24).



Şekil 7.24: 1.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri.

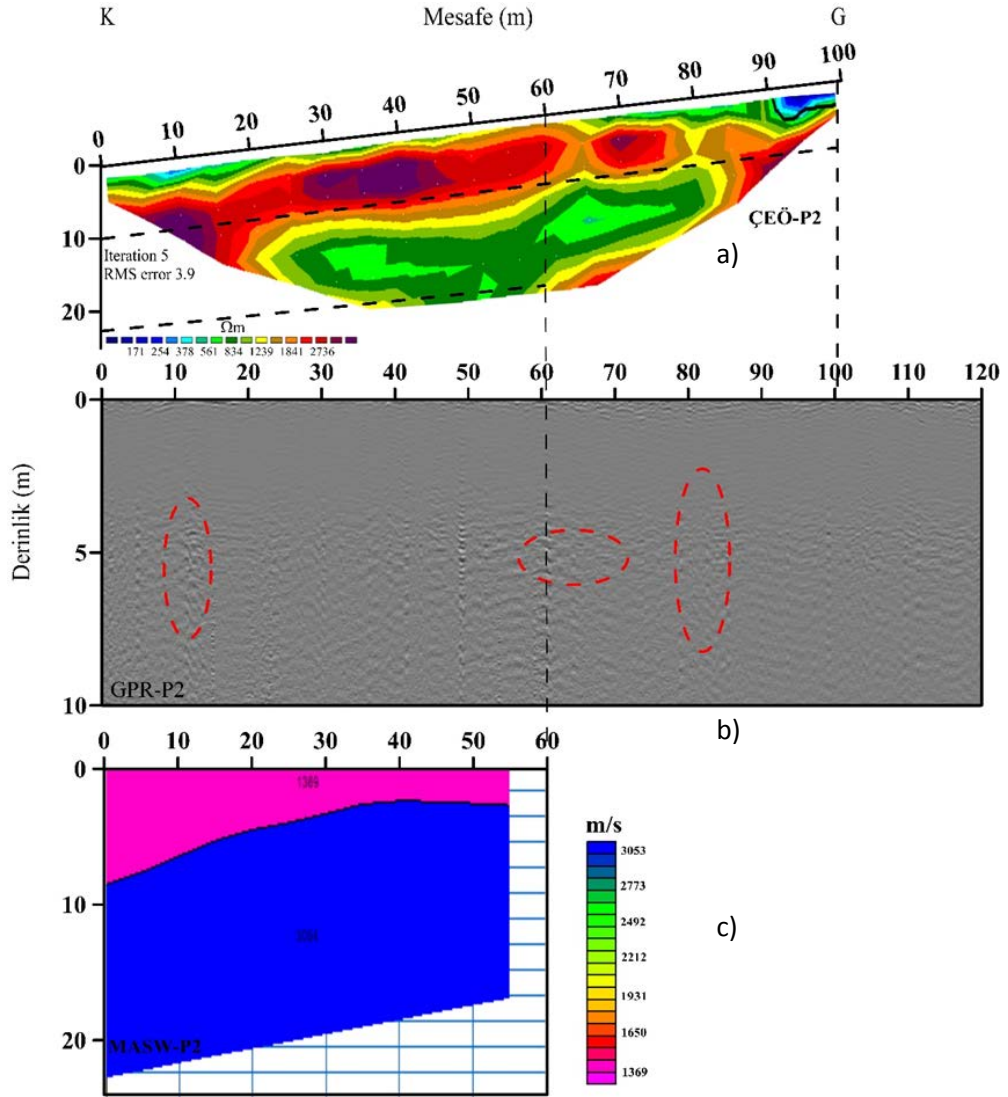
**ÇEÖ-P1 için;** Kesite baktığımızda yüzeyden yaklaşık olarak 20 metre derinliğe ulaşılmıştır. Özdirenç değerleri 130-6465 ohm.m aralığında değişmektedir. Genel jeoloji ve kesitin bulunduğu formasyon incelendiğinde; ölçüm hattının 1. metresinden 100. metresi arasında yüzeyden yer yer 16 metre derinliğe kadar yüksek özdirençli birimlerin olduğunu söyleyebiliriz (sarı-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 2115-6465 ohm.m olan bu birimleri bloklu kireçtaşı olarak yorumlayabiliriz (kahverengi-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 692-1210 ohm.m olan birimler ise düzgün tabakalanma göstermeyen az ayrışmış kireçtaşları olarak yorumlayabiliriz (açık-koyu ve yeşil olan bölgeler). Ölçüm hattının birçok metreleri arasında 1 ile 3 metre derinlik arasında özdirenç aralığı 130 – 396 ohm.m olan birimleri de ayrışmış kireçtaşı ve dolgu toprak olarak tanımlayabiliriz (açık ve koyu mavi renkli bölgeler). Eğimin etkisi ile durağan bir yapı göstermeyerek kayma gerçekleşebilir. Açık ve koyu mavi yerler iletken bölge, kırmızı-mor-kahverengi bölgeler ise yüksek özdirençli ve ayrışmamış kireçtaşından oluşan nispeten kayma yüzeyini oluşturan birimdir.

**GPR-P1 için;** Radagram görüntüsüne baktığımızda gpr, çok elektrotlu özdirenç ve masw yöntemine göre daha sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Radagram da gördüğümüz gibi yüzeyden 10 m derinliğe kadar ölçülmüştür. Görüldüğü üzere 5 metre derinlikten sonra ayrışma ve dolgu toprağın altındaki kireçtaşından kaynaklı yansımalar gözlenmektedir. Bu yansımalar iki tane katmanı birbirinden ayıran kayma yüzeyini göstermekte olup, ÇEÖ-P1 ile uyum içindedir. Kırık-çatlak veya ayrışma zonu olarak görülen 2-3 m ve 40-50. m arasındaki yansımalarla örtüşmektedir. GPR-P1 kesitinin 40-50.metrelerinde bu yansımalar alınmış olup, aynı aralıkta ÇEÖ-P1 kesitinde bloklu kireçtaşı katmanının ayrıldığı da görmekteyiz. 60. ve 70. Metrelerde de kesik çizgiyle gösterilen yerde bir bozunma yüzeyi olabilir. Profilin genelinde eğim yönünde yüzey ayrışmış malzemesi akma yönünde giderek arttığı görülmüştür.

**MASW-P1 için;** Derinlik kesitini incelediğimizde K-G doğrultulu 55 m boyunca jeofonlar arası 2 m, derinliği 22 m iki ayrı tabakayı görebilmekteyiz. Bu tabakalardan 1.tabakanın hızı 1427 m/sn iken 2.tabakanın hızı 2956 m/sn 'dir. Nispeten dolgu ve ayrışmış malzemedan oluşan birinci tabaka ilk iki yöntemden elde edilen ve kayma yüzeyi ile tanımlı ara yüzeyi ortaya koymuş, profilin sol tarafında

daha kalın bir tabaka olarak görülmektedir. Dokanak şeklindeki çizgi iki tabakayı birbirinden ayıran kayma yüzeyi olarak da yorumlanabilir.

Bu kısımda kesitte yer alan çok elektrotlu öz direnç yönteminin 2B (iki boyutlu) görüntüsü, jeoradar yönteminin radagram görüntüsü ve MASW içinde derinlik kesiti hakkında yorumlar yapılacaktır (Şekil 7.25).



Şekil 7.25: 2.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri.

**ÇEÖ-P2 için;** Kesite baktığımızda yüzeyden yaklaşık olarak 20 metre derinliğe ulaşılmıştır. Öz direnç değerleri 171-2736 ohm.m aralığında değişmektedir. Genel jeoloji ve kesitin bulunduğu formasyon incelendiğinde; ölçüm hattının 1. metresinden 100. metresine arasında yüzeyden yer yer 12 metre derinliğe kadar yüksek öz dirençli birimlerin olduğunu söyleyebiliriz (sarı-kırmızı-mor olan bölgeler).

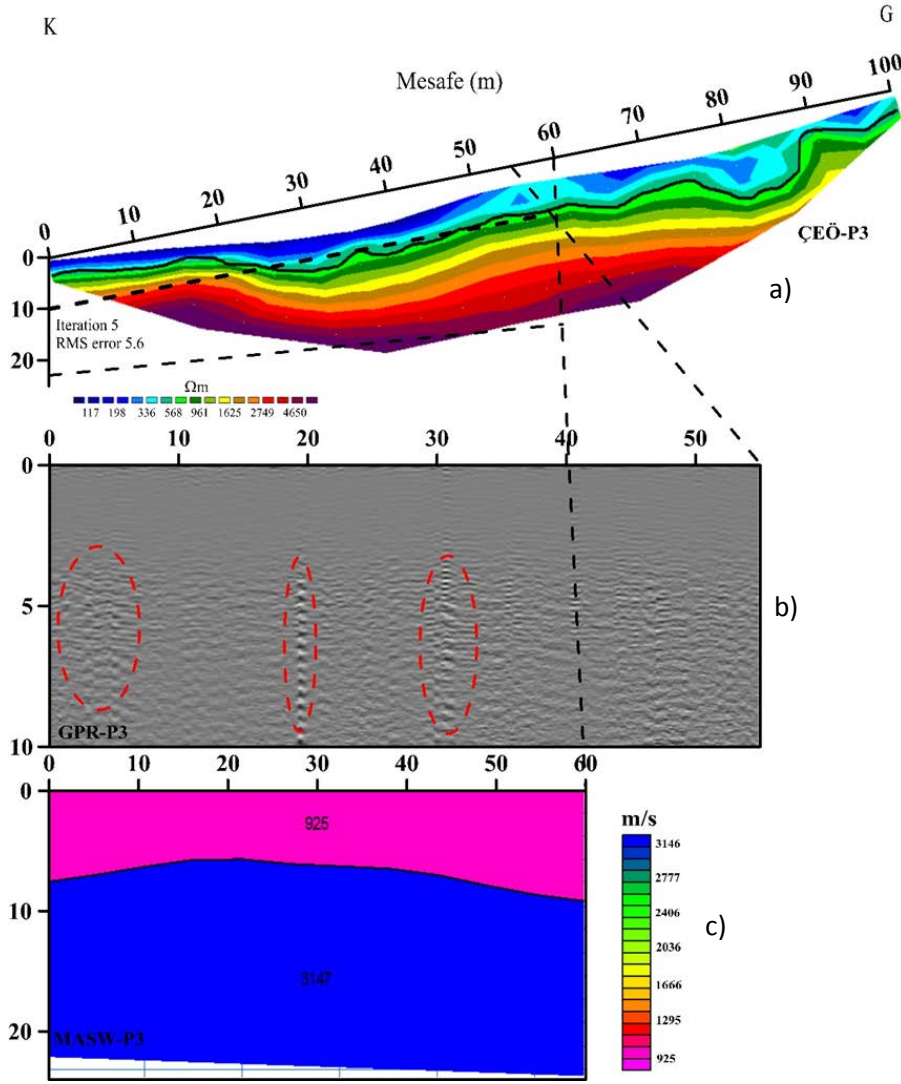


Özdirenç aralığı 1239-2736 ohm.m olan bu birimleri bloklu kireçtaşı olarak yorumlayabiliriz (kahverengi-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 561-834 ohm.m olan birimler ise düzgün tabakalanma göstermeyen az ayrılmış kireçtaşı yorumlayabiliriz (açık-koyu ve yeşil olan bölgeler). Ölçüm hattının bazı metreleri arasında 1 ile 3 metre derinlik arasında özdirenç aralığı 171-378 ohm.m olan birimleri ayrılmış kireçtaşı ve dolgu toprak olarak tanımlayabiliriz (açık ve koyu mavi renkli bölgeler). Eğimin etkisi ile durağan bir yapı göstermeyerek kayma gerçekleşebilir. Açık ve koyu mavi yerler iletken bölge, kırmızı-mor-kahverengi bölgeler ise yüksek özdirençli ve ayrılmamış kireçtaşından oluşan nispeten kayma yüzeyini oluşturan birimdir.

**GPR-P2 için;** Radagram görüntüsüne baktığımızda gpr çok elektrotlu özdirenç ve masw yöntemine göre daha sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Radagram da gördüğümüz gibi yüzeyden 10 m derinliğe kadar ölçülmüştür. Görüldüğü üzere 5 metre derinlikten sonra ayrışma ve dolgu toprağın altındaki kireçtaşından kaynaklı yansımalar gözlenmektedir. Bu yansımalar iki tane katmanı birbirinden ayıran kayma yüzeyini göstermekte olup, ÇEÖ-P2 ile uyum içindedir. Kırık-çatlak veya ayrışma zonu olarak görülen 2-3 m ve 60-70.m arasındaki yansımalarla örtüşmektedir. GPR-P2 kesitinin 60-70.metrelerinde bu yansımalar alınmış olup, Aynı aralıkta ÇEÖ-P2 kesitinde bloklu kireçtaşı katmanının ayrıldığını da görmekteyiz.10. ve 80-90.metrelerde de kesik çizgiyle gösterilen yerde bir bozunma yüzeyi olabilir. Profilin genelinde eğim yönünde yüzey ayrılmış malzemesi akma yönünde giderek arttığı görülmüştür.

**MASW-P2 için;** Derinlik kesitini incelediğimizde K-G doğrultulu 55 m boyunca jeofonlar arası 2 m, derinliği 22 m iki ayrı tabakayı görebilmekteyiz. Bu tabakalardan 1.tabakanın hızı 1369 m/sn iken 2.tabakanın hızı 3054 m/sn 'dir. Nispeten dolgu ve ayrılmış malzemedan oluşan birinci tabaka ilk iki yöntemden elde edilen ve kayma yüzeyi ile tanımlı ara yüzeyi ortaya koymuş, profilin sol tarafında daha kalın bir tabaka olarak görülmektedir. Dokanak şeklindeki çizgi iki tabakayı birbirinden ayıran kayma yüzeyi olarak da yorumlanabilir.

Bu kısımda kesitte yer alan çok elektrotlu özdirenç yönteminin 2B (iki boyutlu) görüntüsü, jeoradar yönteminin radagram görüntüsü ve MASW içinde derinlik kesiti hakkında yorumlar yapılacaktır (Şekil 7.26).



Şekil 7.26: 3.Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri.

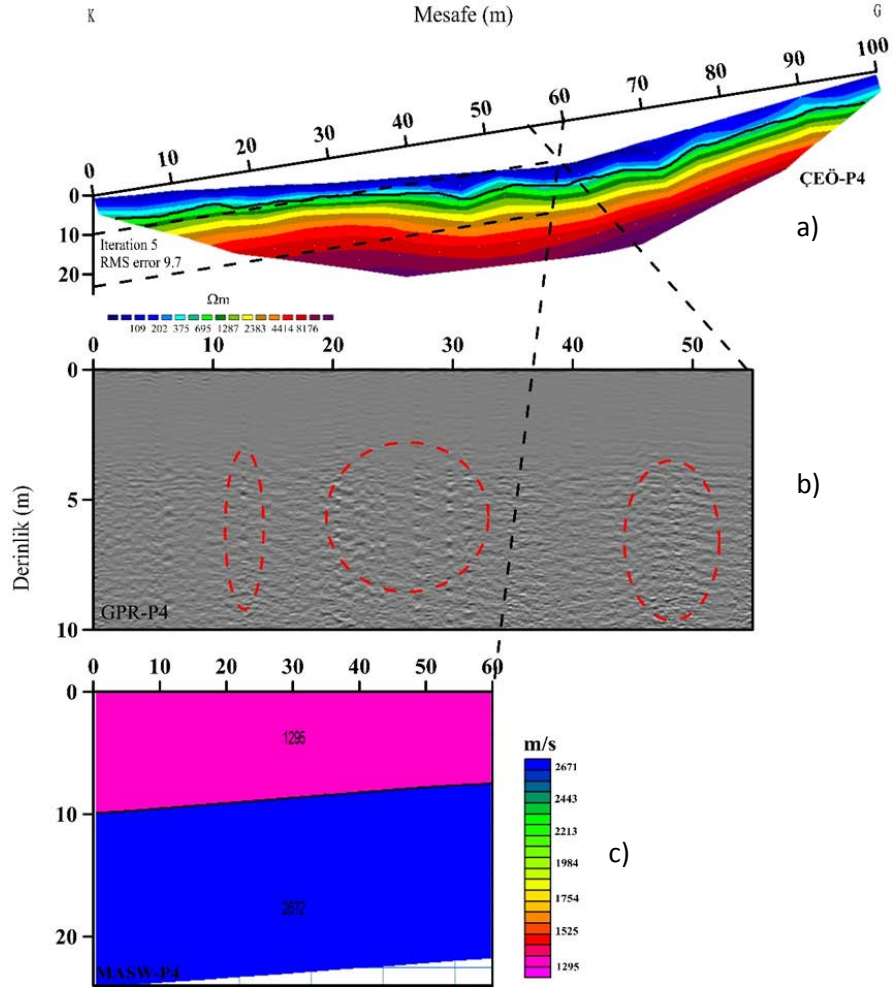
**ÇEÖ-P3 için;** Kesite baktığımızda yüzeyden yaklaşık olarak 20 metre derinliğe ulaşılmıştır. Özdirenç değerleri 117-4650 ohm.m aralığında değişmektedir. Genel jeoloji ve kesitin bulunduğu formasyon incelendiğinde; ölçüm hattının 1. metresinden 100. metresine arasında yüzeyden yer yer 15-20 metre arasındaki derinlikte yüksek özdirençli birimlerin olduğunu söyleyebiliriz (sarı-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 1625-4650 ohm.m olan bu birimleri bloklü kireçtaşı olarak yorumlayabiliriz (kahverengi-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 568-961 ohm.m olan birimler ise düzgün tabakalanma göstermeyen az ayrılmış kireçtaşı olarak yorumlayabiliriz (açık-koyu ve yeşil olan bölgeler). Ölçüm hattının birçok metreleri arasında 1 ile 8 metre derinlik arasında özdirenç aralığı 117-336 ohm.m olan birimleri ayrılmış kireçtaşı ve dolgu toprak olarak tanımlayabiliriz (açık ve koyu mavi renkli

bölgeler). Eğimin etkisi ile durağan bir yapı göstermeyerek kayma gerçekleşebilir. Açık ve koyu mavi yerler iletken bölge, kırmızı-mor-kahverengi bölgeler ise yüksek öz dirençli ve ayrışmamış kireçtaşıdan oluşan nispeten kayma yüzeyini oluşturan birimdir.

**GPR-P3 için;** Radagram görüntüsüne baktığımızda gpr çok elektrotlu öz direnç ve masw yöntemine göre daha sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Radagram da gördüğümüz gibi yüzeyden 10 m derinliğe kadar ölçülmüştür. Görüldüğü üzere 5 metre derinlikten sonra ayrışma ve dolgu toprağın altındaki kireçtaşıdan kaynaklı yansımalar gözlenmektedir. Bu yansımalar iki tane katmanı birbirinden ayıran kayma yüzeyini göstermekte olup, ÇEÖ-P3 ile uyum içindedir. Kırık-çatlak veya ayrışma zonu olarak görülen 20-30.m arasındaki yansımalarla örtüşmektedir. 5.metrelerde de kesik çizgiyle gösterilen yerde bir bozunma yüzeyi olabilir. Profilin genelinde eğim yönünde yüzey ayrışmış malzemesi akma yönünde giderek arttığı görülmüştür.

**MASW-P3 için;** Derinlik kesitini incelediğimizde K-G doğrultulu 55 m boyunca jeofonlar arası 2 m, derinliği 22 m iki ayrı tabakayı görebilmekteyiz. Bu tabakalardan 1.tabakanın hızı 925 m/sn iken 2.tabakanın hızı 3147 m/sn 'dir. Nispeten dolgu ve ayrışmış malzemedan oluşan birinci tabaka ilk iki yöntemden elde edilen ve kayma yüzeyi ile tanımlı ara yüzeyi ortaya koymuş, profilin sol tarafında daha kalın bir tabaka olarak görülmektedir. Dokanak şeklindeki çizgi iki tabakayı birbirinden ayıran kayma yüzeyi olarak da yorumlanabilir.

Bu kısımda kesitte yer alan çok elektrotlu öz direnç yönteminin 2B (iki boyutlu) görüntüsü, jeoradar yönteminin radagram görüntüsü ve MASW içinde derinlik kesiti hakkında yorumlar yapılacaktır (Şekil 7.27).



Şekil 7.27: 4. Profile ait a) MASW, b) Jeoradar, c) Çoklu Elektrot kesitleri.

**ÇEÖ-P4 için;** Kesite baktığımızda yüzeyden yaklaşık olarak 20 metre derinliğe ulaşılmıştır. Özdirenç değerleri 109-8176 ohm.m aralığında değişmektedir. Genel jeoloji ve kesitin bulunduğu formasyon incelendiğinde; ölçüm hattının 1. metresinden 100. metresine arasında yüzeyden yer yer 12-20 metre arasındaki derinlikte yüksek özdirençli birimlerin olduğunu söyleyebiliriz (sarı-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 2383-8176 ohm.m olan bu birimleri bloklu kireçtaşı olarak yorumlayabiliriz (kahverengi-kırmızı-mor olan bölgeler). Özdirenç aralığı 695-1287 ohm.m olan birimler ise düzgün tabakalanma göstermeyen az ayrılmış kireçtaşı olarak yorumlayabiliriz (açık-koyu ve yeşil olan bölgeler). Ölçüm hattının bazı metreleri arasında 1 ile 8 metre derinlik arasında özdirenç aralığı 109-375 ohm.m olan birimleri ayrılmış kireçtaşı ve dolgu toprak olarak tanımlayabiliriz (açık ve koyu mavi renkli bölgeler). Eğimin etkisi ile durağan bir yapı göstermeyerek kayma gerçekleşebilir. Açık ve koyu mavi yerler iletken bölge, kırmızı-mor-kahverengi bölgeler ise yüksek

özdirençli ve ayrışmamış kireçtaşıdan oluşan nispeten kayma yüzeyini oluşturan birimdir.

**GPR-P4 için;** Radagram görüntüsüne baktığımızda gpr çok elektrotlu özdirenç ve masw yöntemine göre daha sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Radagram da gördüğümüz gibi yüzeyden 10 m derinliğe kadar ölçülmüştür. Görüldüğü üzere 5 metre derinlikten sonra ayrışma ve dolgu toprağın altındaki kireçtaşıdan kaynaklı yansımalar gözlenmektedir. Bu yansımalar iki tane katmanı birbirinden ayıran kayma yüzeyini göstermekte olup, ÇEÖ-P4 ile uyum içindedir. Kırık-çatlak veya ayrışma zonu olarak görülen 10.ve 20-30.m arasındaki yansımalarla örtüşmektedir. 50.metrelerde de kesik çizgiyle gösterilen yerde bir bozunma yüzeyi olabilir. Profilin genelinde eğim yönünde yüzey ayrışmış malzemesi akma yönünde giderek arttığı görülmüştür.

**MASW-P4 için;** Derinlik kesitini incelediğimizde K-G doğrultulu 55 m boyunca jeofonlar arası 2 m, derinliği 22 m iki ayrı tabakayı görebilmekteyiz. Bu tabakalardan 1.tabakanın hızı 1296 m/sn iken 2.tabakanın hızı 2572 m/sn 'dir. Nispeten dolgu ve ayrışmış malzemedan oluşan birinci tabaka ilk iki yöntemden elde edilen ve kayma yüzeyi ile tanımlı ara yüzeyi ortaya koymuş, profilin sol tarafında daha kalın bir tabaka olarak görülmektedir. Dokanak şeklindeki çizgi iki tabakayı birbirinden ayıran kayma yüzeyi olarak da yorumlanabilir.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma Denizli ili Merkezefendi Belediyesine bağlı Şirinköy Mahallesiinde gerçekleştirilmiş heyelanlı alanlarda üst yüzey bitki ve ağaçlarına bağlı olarak kütle hareketlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında yapılan gözlemler, ağaçlardan alınan veriler ve yapılan jeofizik yöntemler sonucunda yavaş akmanın gerçekleştiği belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan ağaçların belirlenmiş olan yüksekliklerinden ve zeminden ölçümler yapılarak kaymanın eğim, yönü eğim miktarı belirlenmiştir. Burada hareket eden bir kütle için 7-8 m derinlikteki ara yüzey boyunca yüzeydeki ağaçlara yansımaları görmekteyiz. Üstteki katman hareket ederken hareket topluda olsa ağaç hareket başladıktan sonra eğilip bükülmeye başlamaktadır.

Çalışma alanında yapılan jeofizik ölçümler (MASW, jeoradar ve çok elektrotlu öz direnç) sonucunda çok önemli parametrelere ulaşılmıştır. Aynı zamanda bu tarz yapılan çalışmalarda jeofizik ölçümlerin yapılarak daha doğru sonuçlara ulaşılabileceği, ucuz ve pratik olacağı sonucuna varılmış ve böyle bölgesel çalışmalarda kullanılarak sonuca daha kolay varılabileceğine düşünülmüştür.

Heyelanlı alanlarda yapılan çalışmaların ağaçlarında çok önemli rol oynadığı belirlenmiş bu tarz çalışmalara ağaçlardaki yapılan ölçümlerin de eklenerek daha doğru sonuçlar ortaya koyacağı düşünülmüştür.

Yavaş akmanın gerçekleştiği arazide akmanın eğim yönü ile ağaçların eğim yönü birbirinin tam tersidir. Yani yavaş akma gerçekleşirken ağaçlar dik bir şekilde durağan kalmaya çalışırken kökleri ve gövdelerinde eğimin tam tersi bir durum gerçekleşerek eğilip bükülmüşlerdir.

Şirinköy mahallesiinde gerçekleşen çalışmada bulunan ağaçların özellikleri de belirlenmiş ve şu şekildedirler. Çalışma alanındaki bulunan ağaçlar kızılçam olarak belirlenmiştir. Orta kalınlıkta ve yaşları 20-30 yıl arasında değişmektedir. Çalışma alanında bulunan ağaçlar güneşi çok az görmekteyler. Boyu en yüksek ağaç 32 m, boyu en düşük ağaç 6 m olarak ölçülmüştür. Genel anlamda çalışma alanımızda bulunan ağaçların ortalama boyu 19 m aralığındadır.

Zeminin eğim yönü K, KB ve KD yönündedir. Ağaç gövdesinin 0.5, 1.0 ve 1.5 m yüksekliğinden yapılan ölçümler sonucunda eğim yönü GB ve GD yönünde gerçekleşmiş ve ağaçta bu yönlerde gövdede sapma eğilme bükülme belirlenmiştir. Heyelandan kaynaklanan eğilip bükülmelerden dolayı iki yükseklikten ölçülen değerler birbirine yakın olmakla beraber, gövde yüksekliği 1.0 m olan yerlerde daha farklı eğim yönleri bulunmaktadır. Heyelan bazı ağaçlarda kök kısmına yakın yeri (0.5 m) bazılarında gövdede orta kısımları (1.0 m) ise etkilemiş ve bükülmelere sebep olmuştur.

Jeofizik ölçümler sonucunda çok elektrotlu öz direnç yönteminden 2B kesiti, jeoradar yönteminden radagram görüntüsü, MASW yönteminden de yeraltının derinlik kesiti birbirleriyle ilişkilendirilerek çalışma alanı içinde yer alan kütle hareketi yönü ve büyüklüğü belirlenmiştir. Çalışma alanında yer altının 20-30 m derinliğine kadar ulaşılmıştır. Bunların sonucunda yüksek öz dirençli birimler ve iletken birimler belirlenmiştir. Jeofizik modellerde MASW yöntemi ile düşük ve yüksek hız zonları belirlenmiştir. Bu alanlarda sismik hızların 910m/s'den daha düşük olduğu anlaşılmış olup GPR kesitlerinde bu alanların yansıma bölgelerine karşılık geldiği görülmüştür. Buna göre her iki yöntemin kesitlerinin birbirleri ile uyumlu olduğu ve bu alanların ayrışma ve dolgu toprağın altındaki kireçtaşıdan kaynaklı yansımalar olduğu gözlenmektedir. Aynı zamanda bozunma yüzeylerine de karşılık gelmektedir.

Çalışma alanının da yer alan birimler şu şekildedir; bloklu kireçtaşı (nispeten kayma yüzeyini oluşturan birimdir), düzgün tabakalanma göstermeyen az ayrışmış kireçtaşları, ayrışmış kireçtaşı ve dolgu toprak birimleri belirlenmiş ve eğimin etkisiyle durağan bir yapı göstermeyerek kaymanın gerçekleşeceği ortaya koyulmuştur.

Radagram görüntülerinden de yola çıkılarak iki tane katmanı birbirinden ayıran kayma yüzeyinin ayrışma ve dolgu toprağın altındaki kireçtaşı olduğu belirlenmiştir. Profilin genelinde eğim yönünde yüzey ayrışmış malzemesi akma yönünde giderek arttığı görülmüştür. Yer altı kesitlerinde iki tabakanın olduğu belirlenmiş ve bu her tabaka için hızları belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışma, bu konuda bu amaçla ülkemizde gerçekleştirilen ender jeofizik çalışma olması sebebiyle daha sonra yapılacak olan benzer amaçlı çalışmalarda araştırmacılar için ilgi çekecek bir konu olarak nitelendirilebilir.

## 9. KAYNAKÇA

Akkemik, Ü., “Batı Akdeniz Bölgesi’ndeki Pinus nigra Arn. ve Abies cilicica Carr. Taksonları Üzerinde Dendrokronolojik Araştırmalar”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul, (1997).

Alçıçek, H., “Kızılyer Evaporitlerinin sedimentolojik incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2002).

Aytekin, M., *Deneysel Zemin Mekaniği*, Ankara: Teknik Yayınevi, 624-625, (2004).

Anaçali, İ. ve Şirin, A., “Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu”, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, (2015).

Aloğlu, S., “Zemin Etüdü Sondaj Bulgularının Sismik ve Yer Radarı Gibi Tekniklerle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir, (2006).

Annan, A. P., “Ground penetrating radar workshop notes”, *Sensors Software Inc*, Mississauga, Ontario, Canada, (2003).

Bathurst, J.C. Moretti, G. El-Hames, A. Begueria, S. and Garcia-Ruiz, J.M., ‘Modeling the impact of forest loss on shallow landslide sediment yield, Ijuez river catchment’, Spanish Pyrenees, *Hydrol Earth Syst Sci*, 11(1): 569-583, (2007).

Berger, F. and Rey, F., “Mountain protection forests against natural hazards and risks: new french developments by integrating forests in risk zoning”, *Natural Hazards*, 33, 395-404. (2004).



Bollschiweiler, M. and Stoffel, M., "Tree rings and debris flows: Recent developments, future directions", *Progress in Physical Geography*, 627, (2010).

Bozkuş, C., "Seismicity of active Honaz fault under an extensional tectonic regime", (eds: Kumsar, H., Özkul, M., and Hançer, M.), *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, İzmir, 7-16, (2001).

Bari, C. Lapenna, V. Perrone, A. Puglisi, C. and Sdao, F., *Geomorphology Picerno, Basilicata*: 34-46, (2011).

Buderi, R., "The Invention That Changed the World", New York, (1996).

Başokur, A.T., *Düşey Elektrik Sondajı Verilerinin Yorumu*, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara, (2004).

Balanis, C.A., *Advanced Engineering Electromagnetics*, Newyork: John Willey and Sons, (1989).

Coduto, D. P., *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*, Ankara: Gazi Kitapevi, (2006).

Dağ, S. ve Bulut, F., "Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 3562, (2012).

Dağlı, İ., "Gömülü Sığ Yapıların Araştırılmasında İki-Boyutlu Özdirenç Uygulaması ve Elektrot Dizilimlerinin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2011).

Daniels, D.J., "Surface-Penetrating Radar", *Electronics and Communication Engineering Journal*, 8, 165-182, (1996).

Davis J.L. and Annan A.P., “Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy”, *Geophysical Prospecting*, 37, 531–551, (1989).

De Groot-Hedlin C., “Constable S Occam’s inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data”, *Geophysics*, 55, 1613-1624, (1990).

Dewey, J.F. and Şengör., “Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonic in a convergent zone”, *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84-92, (1979).

Dikmen, Ü., “Jeoteknik Araştırmalarda Yüzey Dalgası Yöntemleri”, *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını kurs notları*, Ankara, (2006).

Dikmen, Ü., “Sismik Yöntemlerde Aktif ve Pasif Kaynaklı Yüzey Dalgaları ile Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi”, *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası yayını, Kurs notları*, Ankara, 40. (2012).

Dikmen, Ü., Başokur, A.T., Akkaya, İ., ve Arısoy, M.Ö., “Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi”, *Yerbilimleri*, 31(1), 23- 32, (2009).

Dizioğlu, M.Y. ve Keçeli A.D., *Elektrik ve elektromanyetik prospeksiyon yöntemleri*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi, (1981).

*Dendrokronoloji ve Jeomorfoloji: Dendrojeomorfoloji*, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi, (2013).

Efe, A. ve Yalıtık, F., *Dendroloji*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, (2000).

Ercan, T. Güney, E. ve Baş, H., “Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26/2, 153-159, (1983).

Ercan, T. Satır, M. Kreuzer, H. Türkecan, A. Günay, E. Çevikbaş, A. Ateş, M. ve Can, B., “Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28(2), 121-136, (1985).

Ercan, T. Satır, M. Sevin, D. ve Türkecan, A., “Batı Anadolu’daki Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu”, *MTA Dergisi*, 119, 103-112, (1996).

Erguvanlı, K., *Mühendislik Jeolojisi*, 4, İstanbul: Seç Yayın Dağıtım, (1994).

Ergünay, O., *Türkiye’nin Afet Profili*. 57, Ankara TMMOB Afet Sempozyumu: 214, Aralık, (2007).

Ergünay, O., “Afet Yönetimi Nedir? Nasıl Olmalıdır?”, *Türk Psikoloji Bülteni, Deprem Özel Sayısı*, 5: 110-118, (1999).

Ergünay, O., “Afete Hazırlık ve Afet Yönetimi”, *Ankara Türkiye Kızılay Derneği Genel Müdürlüğü Afet Operasyon Merkezi (AFOM)*. (2002).

Ergünay, O., *Türkiye “nin Afet Profili, TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara: Mattek Matbaacılık, (2007).

Ergünay, O., “7269 sayılı Yasa Açısından Afet Bölgesi Nedir?”, (20 Eylül 2020) <http://ahsenokyar.com/?p=14880>, (2020).

Erişen, B., “Denizli – Dereköy Sahasının Jeolojik Etüdü ve Jeotermal Enerji İmkanları”, *M.T.A. Raporu*, No:4665, (baskıda) (1971).

Fantucci, R. ve Sorriso-Valvo, M., “Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy).” *Geomorphology* 30, 165-174, (1999).

Forbes, K. Broadhead, J., “Forests and Landslides: The role of trees and forests in the prevention of landslides and rehabilitation of landslide-affected areas in Asia”, *Rap Publication* 19, (2011).

Fritts, H., *Tree Rings and Climate*, New Jersey, U.S.A: The Blackburn Press, (2001).

Gabrieli, F. Corain, L. and Vettore, L., ‘‘A low-cost landslide displacement activity assessment from time-lapse photogrammetry and rainfall data: Application to the Tessina landslide site’’, *Geomorphology*, 269: 56-74, (2016).

Gökgöz, A., ‘‘Babadağ İlçe Merkezi ve Köylerine İçme Suyu Sağlayan Kaynak Sularının Hidrojeokimsiyal İncelemesi’’, *1. Babadağ Sempozyumu Bildiri Metinleri Kitabı*, 53-83. (1999).

Gökoğlu, Ö., ‘‘Doymun Olmayan Zeminlerde Şev Stabilite Analizi’’, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2015).

Görçelioğlu, E., *Biyoteknik Yapılar*. 483, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 178, (2004).

Grasmueck, M. Weger, R. and Horstmeyer, H., ‘‘Full-resolution 3- D GPR imaging’’, *Geophysics*, 70(1), K12–K19, (2005).

Griffin, S. ve Pipet, T., *Ground Penetrating Radar Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration*, 144, 80-89, (2002).

Hançer, M., ‘‘Structural evolution of the NE-SW-trending tectonic lineament and a model for graben formation in the Denizli region of western Anatolian (West of the Zagros fold and thrust belt), Developments in Structural geology and Tectonics, Part Vol’’, *Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt*, 3, 6, (2018),

Hack, R., ‘‘Geophysics for slope stability’’, *Surveys in Geophysics*, 21, 423-448. (2000).

Hakyemez, Y.H., ‘‘Kale - Kurbalık (GB Denizli) bölgesindeki Senozoyik yaşı çökel kayaların jeolojisi ve stratigrafisi’’, *M.T.A. Derg*, 109, 9 – 21, (1989).

Imauzimi, F. Sidle, R.C. and Karnei, R., ‘‘Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan’’, *Earth Surf Process Landforms*, 33, 827–840, (2008).

İslamoğlu, Y. Babayiđit, S. ve Sarıkaya, H., ‘‘Bayıralan Formasyonunun Mollusk ve Mercan Faunası ile yeni stratigrafik düzeyi (KD Denizli, Türkiye)’’, *56th Türkiye Jeoloji kurultayı Bildiri özleri*, 206, (2003).

Jongmans, D. and Garambois, S., ‘‘Geophysical investigation of landslides: a review’’, *Bulletin Soci t  G ologique de France*, 178(2): 101-112.

K.G.M., 2013 Karayolu Teknik Şartnamesi, (2007).

K.G.M., ‘‘Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, (2015).

Kadıođlu, S., ‘‘Photographing Layer Thicknesses and Discontinuities in a Marble Quarry with 3D GPR Visualisation’’, *Journal of Applied Geophysics*, 64, 109-114, (2008).

Kanlı, A.I. Tjldy, P. Pronay, Z. Pınar, A. and Hermann, L., ‘‘Vs 30 mapping’’, (2006).

Karaaslan, H., ‘‘Alabanda Antik Kentin Meclis Binası İçindeki Gömülü Yapıların Elektrik Yöntemlerle Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakaraya, (2015).

Kastelli, M., ‘‘Denizli vilayeti güneyinin jeoloji incelemesi ve jeotermal alan olanakları’’, *MTA rapor no:4573*, (baskıda) (1971).

Kaya, M.A., “JFMO Prof. Dr. Rahmi Pınar Kentleşme ve Yapı İncelemeleri Çalıştayı”, (eds: Öziçer, S. and Timur, E.), *Restorasyon Amaçlı Jeofizik Çalışmalar*, Ankara: TMMOB JFMO, 61-70, (2017).

Kaya, M.A., “Kelenderis Antik Kenti Agorasında Antik Yapı Kalıntılarının Özdirenç Yöntemi ile Araştırılması”, (eds: Öztürk, C. and Zoroğlu, L.) *Türkiye 16. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, Ankara, 397-400, (2004).

Kaynak, G., “Uzunkaya (Rize) Heyelanının Geoteknik İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, (2007).

Kesemen, O., “Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Yeni Yaklaşımlar”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, (2007).

Kılıçaslan, A., “23 Haziran 1988 Tarihli Çatak Heyelanının Beşerî ve Ekonomik Sonuçları”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Coğrafya Anabilim Dalı, (1990).

Koçaslan, A., “FDTD yöntemi kullanılarak çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalga alanı hesabı”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 269, Ankara, (2008).

Koçyiğit, A. Yusufoglu, H. and Bozkurt, E., “Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey”, *Journal of Geological Society*, London, 156, 605-616, (1999).

Konak, N. Akdeniz, N. ve Çakır, M.H., “Çal – Çivril – Karahallı dolayının jeolojisi”, MTA Raporu No: 8945, (baskıda) (1990).

Kurtulmuş, T.Ö. ve Drahor, M. G., “Yer radarı modellemesinde fiziksel ve geometrik parametre etkilerinin araştırılması”, *Yerbilimleri*, 29 (2), 37–52. (2008).

Le Pichon, X. and Angelier, J., ‘‘The Hellenic arc and trench systems: a key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area’’, *Tectonophysics*, 60,1-42, (1979).

Le Pichon, X. and Angelier, J., ‘‘The Aegean sea’’, *Philosophical Transactions of Royal Society*, London, 300, 357-372, (1981).

Leucci, G. Negri, S., ‘‘Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area’’. *Journal of Archaeological Science*, 33, 502-512, (2006).

Loke, M.H., ‘‘Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies’’, *A Practical Guide to 2-D and 3-D surveys*, (2000).

Malik, I. ve Wistuba, M., ‘‘Dendrochronological methods for reconstructing mass movements- An example of landslide activity analysis using tree-ring eccentricity’’, *Geochronometria* , 39, 180- 196, (2012)

McKenzie, D. P., ‘‘Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt, the Aegean Sea and surrounding regions’’, *Geophys, J.R. Astron. Soc*, 55, 217-254, (1986).

Okay, A. İ., ‘‘Denizli'nin Güneyinde Menderes Masifi ve Likya Naplarının Jeolojisi’’, *MTA Dergisi*, 109, 45-58, (1989).

Olhoeft, G. R., ‘‘Electrical properties of rocks’’, (eds: Y. S. Touloukian, W. R. Judd, and R. F. Roy.), *Physical properties of rocks and minerals in*, NY: McGraw-Hill, 257-330, (1981).

Önay, T.S., ‘‘Babadağ Civarı Göçüntüleri’’, *MTA dergisi*, Sayı 36, 300-304, (1946).

Öz, D., ‘‘Avcılar Heyelan Bölgesindeki Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).

Özpınar, Y. and Semiz, B., “Geological, Mineralogical and Petrographical Investigation of Yukarıkaraçay (Honaz) Dolomitic Clays in Denizli Region (Southwestern Anatolia, In Turkey)”, *Third Mediterranean Clay Meeting Jarusalem*, Israel: Semp, 30-Oct.3, (2002).

Özpınar, Y. Hançer, M. and Semiz, B., “Clays in Denizli Region (Soutwestern Anatolia)”, *Turkey, Geologica Carpathica, Bratislava* , 53 (2), 109-116, (2002).

Özpınar, Y. Kargı, H. Akyol, E. Özkul, M. Hançer, M. Manav, H. Topal, S. Erten, H. Alçıçek, H. Semiz, B. Gökgöz, F. Türker, E. Kumsar, H. Köseoğlu, M. Çelik, S.B. Gülbaş, E. Topaloğlu, S. İmançlı, O. Gökgöz, A. Taşdelen, S. Bülbül, A. Kaya, M. Baran, H.A., “Denizli Belediyesi yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri”, *Denizli Belediyesi’ne Rapor*. 666, (2002).

Öztürk, C., “Kalenderis Antik Kentindeki Arkeolojik Yapıların Elektrik Özdirenç Yöntemiyle araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2004).

Öztürk, K., “Heyelanlar ve Türkiye’ye etkileri”, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 35-50, (2002).

Park, C.B. Miller, R.D. and Xia, J., “Imaging dispersion curves of Surface waves on multichannel record”, *The Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts*, 1377-1380, (1998).

Park, C.B. Xia, J. and Miller, R. D., “Multi-channel analysis of surface waves (MASW)”, *Geophysics*, 64, 800–808, (1999).

Paü Haber., “Prof. Dr. Kumsar ve ekibinin uluslararası düzeydeki projesi 2000 kişinin hayatını kurtardı [online]”,(09/11/2018). (<http://haber.pau.edu.tr/tr/Haber/>, (2000).



Pekuz, Ü., “Honaz (Denizli) çevresinde evaporit içeren Neojen tortulların stratigrafisi ve depolanma özellikleri”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 180, (Yayımlanmamış), (1998).

Rice, R.M., “Forest management to minimize landslide risk”, *FAO Conservation Guide, Guidelines for Watershed Management*, (1977).

Rickli, C.H. Graf, F., “Effects of forests on shallow landslides case studies in Switzerland”, *For. Snow Landsc. Res*, 82 (1), 33–44, (2009).

Sabbağ, N., “Atatürk Baraj Gölünün Tuzlanmasına Neden Olabilecek Jeolojik Yapıların Doğru Akım Özdirenç ve Elektro Manyetik Yöntemlerle Tanımlanması” , Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2012).

Sakals, M.E. Innes, J.L. Wilford, D.J. Sidle, R.J. and Grant, G.E., “The role of forests in reducing hydrogeomorphic hazards; For”, *SnowLandsc. Res*, 80 (1), 11–22, (2006).

Sass, O. Bell, R. and Glade, T., “Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide”, *Geomorphology*, 93: 89-103, (2008).

Semiz, B., “Pamukkale (Denizli) bölgesi killerin karakteristik özellikleri ve seramik sektöründe kullanılabilirlikleri”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 24(6), 1237-1244, (2018).

Soeters, R. and Van Westen C.J., “Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner AK, Schuster RL (eds) Landslides: investigation and mitigation”. *Transp Res. Board, Nat Res*, 247,129–177, (1996).

Sözbilir, H., ‘‘Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting and accomodation faults in the Gediz and B. Menderes Grabens, Western Anatolia’’, *Proceedings of the International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, Proceedings, V1, 73-93. (1995).

Spies B.R. and Eggers D.E., ‘‘The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods’’, *Geophysics*, 51, 1462-1471, (1986).

Stern, W., ‘‘Principles, Methods and Results of Electrodynamic Thickness Measurement of Glacier Ice’’, *Zeitschrift fur Gletscherkunde*, 18-24, (1930).

Strobbia, C., ‘‘Surface Wave Methods Acquisition Processing and Inversion, Phd Thesis,’’ *Politecnico Di Torino*, (2005).

Stummer, P., ‘‘New developments in electrical resistivity imaging’’. *Natural Resources*, 5(12), 2727–2735, (2011).

Sun S., ‘‘Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları’’, *General Directorate of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, Ankara, Scientific Report No: 9985, 92, (1990).

Sun, S., ‘‘Denizli - Uşak arasının jeolojisi ve linyit olanakları’’, *M.T.A. raporu*, No.9985. (baskıda) (1990).

Sünbül, F., ‘‘Balıkesir-Burhaniye-Ören’deki Bergaz Tepe Adremytteion Antik Alanının Arkeojeofizik Yöntemlerle Tespiti’’, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Arkeoloji Anabilim Dalı, Sakarya, (2007).

Şahin, R., ‘‘MasW Yönteminin İrdelenmesi ve Uygulamaları’’, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2009).

Şimşek, S., “Denizli-Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Kaynakları”, *İ. Ü. Yer Bilimleri Dergisi*, 3, 145-162, (1984).

Şimşek, Ş., “Denizli, Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji olanakları”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi*, Hidrojeoloji Anabilim Dalı, İstanbul, (1984).

Şimşek, Ş., “Denizli, Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklar”, *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Yayın Organı*, 3, 145-162, (1984).

Taner, G., “Denizli bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü”, *MTA dergisi*, 82, 89-27. (1974).

Taner, G., “Denizli bölgesi Neojenine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme”, 54. *Jeoloji Kurultayı*, 54-79, (2001).

Tarhan, f., “Mühendislik Jeolojisi Prensipleri”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları*, Trabzon, (2002).

Ulusay R., “Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler”, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, 38, 458 s, (2010).

Ünsal, N., “Heyelan ve Kitle Hareketleri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ders Notları*, Ankara, (2010).

Vallejo, L.I. and Ferrer, M., “Mühendislik Jeolojisi”, *Ankara Üniversitesi Yayınevi*, 674 s. (2014).

Van Nostrand, R. G. and Cook, K. L., “Interpretation of resistivity data”, *USGS Prof. Washington: Paper, Printing Office*, (1966).

Varnes, D. J., “Slope Movement Types and Processes Transportation Research Board”, *Special Report*, 176, 11-33, (1978).

## 10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Turan AKAR

Doğum Yeri ve Tarihi : Aksaray, 22.05.1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : turanakar93@gmail.com

Telefon (GSM) : 05419475154

İletişim Adresi : Yunus Emre Mahallesi 6445.sokak no:13 zemin  
kat Denizli/Pamukkale

