

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK RESİSTİVİTE TOMOGRAFİ VE
ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI
YÖNTEMLERİYLE HEYELAN PROBLEMİNİN
BELİRLENMESİ

Buket ORTAN

Ekim, 2015
İZMİR

ELEKTRİK RESİSTİVİTE TOMOGRAFİ VE ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI YÖNTEMLERİYLE HEYELAN PROBLEMİNİN BELİRLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeofizik Mühendisliği Programı

Buket ORTAN

Ekim, 2015

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BUKET ORTAN, tarafından **PROF. DR. MAHMUT GÖKTUĞ DRAHOR** yönetiminde hazırlanan “**ELEKTRİK RESİSTİVİTE TOMOGRAFİ VE ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI YÖNTEMLERİYLE HEYELAN PROBLEMİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Mahmut G.DRAHOR

Yönetici



Prof. Dr. M. Yalçın KOCA

Jüri Üyesi



Yard. Doç. Dr. Petek SINDIRGI

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, sabır ve anlayışıyla tezimi tamamlama yardımcı olan ve hayatım boyunca hep örnek alacağım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut G. DRAHOR'a,

Tez çalışmamın ilerleyişinde ve sonuca ulaştırılmasında bilgi ve görüşleriyle destek olan Sayın Arş. Gör. Dr. Meriç Aziz BERGE'ye ve Y. Mühendis Caner ÖZTÜRK'e,

Tez çalışmam sırasında bana çalışmalarımı yapma fırsatı sunan ve arazi verilerini kullanmama izin veren GEOİM LTD firmasına,

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen ve bana yardımcı olan Nurcan AKÇAY DURMUŞ, Elif Meriç İLKİMEN ve arkadaşlarıma,

Bu günlere gelmemi sağlayan, eğitim ve öğretim hayatım boyunca yanımda olan aileme ve özellikle kardeşim Fatmaşen ORTAN'a

Sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Buket ORTAN

ELEKTRİK RESİSTİVİTE TOMOGRAFİ VE ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI YÖNTEMLERİYLE HEYELAN PROBLEMİNİN BELİRLENMESİ

ÖZ

Heyelan önemli jeolojik sorunlardan biridir ve afet olarak insanlığı etkilemektedir. Kentleşmeye bağlı olarak dünyada her geçen gün heyelan sahaları artmaktadır. Jeofizik araştırmalar heyelan incelemelerinde büyük öneme sahiptir. Özellikle resistivite yöntemi uzun yıllardan beri heyelan araştırmalarında kullanılmaktadır. Heyelan geometrisi ve karakteristiğinin belirlenmesinde elektrik resistivite tomografi (ERT) yöntemi etkili sonuçlar üretmektedir. Ancak heyelan araştırmalarında çok kanallı yüzey dalgası (MASW) uygulaması sık görülmemektedir. Bu tez kapsamında İstanbul'un önemli heyelan sahalarından biri olan Avcılar'da ERT ve MASW tomografileri yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında heyelan sahasının heyelan geometrisi ortaya çıkarılmış ve heyelanın karakteristiği belirlenmeye çalışılmıştır. Özellikle MASW tomografi yöntemi heyelan geometrisini ve buradaki jeolojik birimlerin Vs dalga hızlarını saptama anlamında önemli sonuçlar üretmiştir. Ayrıca Vs hız değerlerinden yapılan jeoteknik analizlerle heyelanlı alanın zemin özellikleri ortaya çıkarılabilmektedir. Yapılan zemin analizleri heyelan bölgesi ve çevresinin yerleşime uygun alan olmadığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yapılan sondaj çalışmalarının sonuçları jeofizik verilerin yeraltını tanımlamadaki başarısını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Elektrik resistivite tomografi, çok kanallı yüzey dalgası tomografi, heyelan, jeoteknik

DETERMINATION OF LANDSLIDE PROBLEM USING ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY AND MULTI CHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES

ABSTRACT

Landslide is one of the most important problems in geology, and it is affected to humanity as a hazard. The landslide sites in the Earth are increased according to urbanization day by day. Geophysical surveys have great majority in landslide investigations. Particularly, the resistivity methods have been used in landslide since many years. Electrical resistivity tomography (ERT) method is produced effective results to determine the geometry and the characteristics of landslides. However, the multi channel analysis of surface waves (MASW) technique is rarely used in the landslide investigations. In the scope of this thesis, ERT and MASW techniques were applied in Avcılar region, which is one important landslide sites in İstanbul. According to these surveys, the geometry and the characteristic of the landslides was defined in the slided areas. In particular, the MASW technique was produced important results to determine the geometry of landslide and the geological units in means of Vs velocity. In addition, the soil properties of slided areas are determined used by geotechnical analyses carried out using Vs velocities. The soil analyses pointed out that the slided area and its surroundings are not suitable for the settlements. In addition, the results of drilling studies showed that geophysical data are mostly successful in the determination of subsurface and landslide character.

Keywords: Electrical resistivity tomography, multi channel analysis of surface waves tomography, landslide, geotechnics

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - HEYELAN OLGUSU	5
2.1 Heyelana Neden Olan Etkenler	5
2.1.1 Eğim Açısı.....	5
2.1.2 Suya Doygunluk.....	6
2.1.3 Malzeme Yapısı	6
2.1.4 Tektonik Yapı	7
2.2 Heyelan Mekanizması	8
2.2.1 Düşme	9
2.2.2 Devrilme.....	11
2.2.3 Akma	11
2.2.4 Kayma	14
2.2.5 Yanal yayılma	15

BÖLÜM ÜÇ - HEYELAN ARAŞTIRMALARINDA ELEKTRİK RESİSTİVİTE TOMOGRAFİ (ERT) VE ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI (MASW) 17

3.1 Kullanılan Yöntemler	17
3.1.1 Elektrik Resistivite Tomografi (ERT) Yöntemi.....	18
3.1.2 Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) Yöntemi	27

BÖLÜM DÖRT - ARAŞTIRMA ALANI VE JEOLJİ 37

4.1 Araştırma Alanının Yeri ve Jeomorfolojik Özellikleri.....	37
4.2 Jeoloji.....	39
4.2.1 Genel Jeoloji	39
4.2.2 Araştırma Alanının Jeolojisi	42
4.2.3 Modern Dolgular.....	44
4.2.4 Yapısal Jeolojisi	44
4.2.5 Araştırma Alanı ve Çevresinin Tarihsel Jeolojisi	45

BÖLÜM BEŞ - JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE YORUMLARI 47

5.1 Amaç, Kapsam ve Veri Toplama.....	47
5.2 Elektrik Resistivite Tomografi Çalışmaları.....	50
5.2.1 ERT-1 Hattı.....	50
5.2.2 ERT-2 Hattı.....	54
5.2.3 ERT-3 Hattı.....	57
5.2.4 ERT-4 Hattı.....	59
5.2.5 ERT-5 Hattı.....	61
5.2.6 ERT-6 Hattı.....	64
5.3 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Çalışmaları.....	66

5.3.1 MASW-1, 2, 3, 4 Hatları.....	66
5.3.2 MASW-5 Hattı.....	71
5.3.3 MASW-6 ve 7 Hatları	72
5.3.4 MASW-8 ve 9 Hatları	75
5.3.5 MASW-10 Hattı.....	79
5.3.6 MASW-11 ve 12 Hatları	81
BÖLÜM ALTI - JEOTEKNİK.....	85
6.1 V_{s30} Dalga Hızları.....	85
6.2 Elastisite (Young) Modülü	87
6.3 Kayma Modülü	88
6.4 Poisson Oranı.....	89
6.5 Zemin Büyütmesi.....	92
6.6 Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T_0).....	94
6.7 Alanın Genel Zemin Koşulları.....	96
BÖLÜM YEDİ - TÜMLEŞİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	98
7.1 ERT-1 ve MASW-1,2,3,4 Hatları.....	98
7.2 ERT-2 ve MASW-5 Hatları.....	103
7.3 ERT-4 ve MASW-8 ve 9 Hatları	105
7.4 ERT-5 ve MASW-10 Hatları.....	107
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇ VE ÖNERİLER.....	112
KAYNAKLAR	114

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Heyelan kesitinin blok diyagram olarak gösterimi.	8
Şekil 2.2 Düşme hareketi.	10
Şekil 2.3 Devrilme hareketi.....	11
Şekil 2.4 Akma Mekanizması.	12
Şekil 2.5 Moloz akması.....	13
Şekil 2.6 Moloz ve çamur akması.	13
Şekil 2.7 Ötelenmeli toprak kayması.	14
Şekil 2.8 Ötelenmeli blok kayması	15
Şekil 2.9 Dönel kayma ve toprak kayması.....	15
Şekil 2.10 Yanal yayılma	16
Şekil 3.1 Yarı sonsuz homojen ortamda akım ve potansiyel çizgilerinin dağılımı....	19
Şekil 3.2 a) Wenner, b) Wenner-Schlumberger, c) dipol-dipol, d) pol-pol ve e) pol-dipol dizilimlerinde kullanılan elektrotların yüzeydeki dağılımı ve dizilimlere ait geometrik faktör (k) hesabı.....	21
Şekil 3.3 Basitleştirilmiş Schlumberger dizilim şeması ve k dizilim katsayısı.....	22
Şekil 3.4 Wenner-Schlumberger dizilimlerine ait duyarlık kesiti ($100 \Omega.m$ 'lik homojen ortam için hesaplanmıştır).....	22
Şekil 3.5 Çok-kanallı elektrik resistivite verisinin Wenner dizilimine göre toplanması.	24
Şekil 3.6 Sismik dalgaların yeraltında ilerleme görüntüsü.	27
Şekil 3.7 P ve S dalgalarının ilerleme şeklini gösteren görüntü.	28
Şekil 3.8 Love ve Rayleigh dalgalarının ilerleme şeklini gösteren görüntü.	28
Şekil 3.9 Homojen yarı sonsuz ortamda Rayleigh dalgasının retrograde ve prograde hareketi.	28
Şekil 3.10 Yüzey Dalgasının Çok-Kanallı Analizi (MASW) yönteminin veri toplama uygulaması gösterimi.	30
Şekil 3.11 Faz hızı hesabı	32
Şekil 3.12 Homojen ortamda faz hızı sabit (A), derinlikle homojen ortamda faz hızının dalga boyuyla değişimi (B).....	32

Şekil 3.13 Farklı frekans ve fazlı iki harmonik eğrinin toplamından oluşan dalga treni.	33
Şekil 3.14 Örnek MASW kayıt görüntüsü.	34
Şekil 3.15 Örnek dispersiyon eğrisi grafiği.	34
Şekil 3.16 Sismik kaydın tek boyutlu veri-işlem adımlarının gösterimi.....	35
Şekil 3.17 İki boyutlu MASW hız dağılım kesiti.....	36
Şekil 4.1 Avcılar ilçesi ve araştırma alanının uydu görüntüsü.....	37
Şekil 4.2 İstanbul Avrupa Yakasının topoğrafya görüntüsü. Proje alanı yuvarlak daire içinde görülmektedir.	39
Şekil 4.3 Proje alanı ve çevresinin genel stratigrafisi.	41
Şekil 4.4 Küçükçekmece gölü çevresi jeolojisinin kuşbakışı görüntüsü.	43
Şekil 4.5 Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası.....	43
Şekil 4.6 Araştırma alanı ve çevresinin faylarını gösteren görüntü.	45
Şekil 5.1 Elektrik Resistivite Tomografi (ERT) ölçüm hatlarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.	48
Şekil 5.2 MASW ölçüm hatlarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.....	50
Şekil 5.3 İşletme Fakültesinin doğusunda yapılan ERT çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	51
Şekil 5.4 ERT-1 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir.	54
Şekil 5.5 Mühendislik Fakültesinin doğusunda yapılan ERT çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	55
Şekil 5.6 ERT-2 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir	56
Şekil 5.7 Mühendislik Fakültesinin doğusunda yapılan ERT tomografi çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	57
Şekil 5.8 ERT-3 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir	59
Şekil 5.9 MENZA Binasının doğusunda yapılan ERT tomografi çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	59
Şekil 5.10 ERT-4 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir.	61

Şekil 5.11 Mühendislik Fakültesi Binasının kuzeybatısında yapılan ERT çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	62
Şekil 5.12 ERT-5 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	63
Şekil 5.13 Veterinerlik Fakültesi Binasının doğusunda yapılan ERT çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	64
Şekil 5.14 ERT-6 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir.	65
Şekil 5.15 İşletme Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	66
Şekil 5.16 MASW-1 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	67
Şekil 5.17 MASW-2 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	68
Şekil 5.18 MASW-3 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat yakınındaki yerine yerleştirilmiştir.	69
Şekil 5.19 MASW-4 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	70
Şekil 5.20 İşletme Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	71
Şekil 5.21 MASW-5 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	72
Şekil 5.22 Veterinerlik Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	73
Şekil 5.23 MASW-6 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	74
Şekil 5.24 MASW-7 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	75
Şekil 5.25 MENZA binasının kuzeydoğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	76
Şekil 5.26 MASW-8 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	77

Şekil 5.27 MASW-9 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	79
Şekil 5.28 Mühendislik Fakültesinin kuzeydoğusunda yapılan MASW çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	80
Şekil 5.29 MASW-10 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	81
Şekil 5.30 Veterinerlik Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.	82
Şekil 5.31 MASW-11 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	83
Şekil 5.32 MASW-12 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.	84
Şekil 7.1 ERT-1 ve MASW-1, 2, 3, 4 Hatları.	102
Şekil 7.2 ERT-2 ve MASW-5 Hatları.	104
Şekil 7.3 ERT- 4 ve MASW-8, 9 Hatları.	106
Şekil 7.4 ERT-5 ve MASW-10 Hatları.	108
Şekil 7.5 Çalışma sahasının kuzeyden bakış açısına göre ERT fence diyagramı. ...	110
Şekil 7.6 Çalışma sahasının kuzeyden bakış açısına göre MASW fence diyagramı.	111

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Heyelan türlerinin sınıflaması	9
Tablo 6.1 MASW verilerinin Vs30 değerleri ve zemin sınıfları.....	86
Tablo 6.2 Kohezyonlu Zeminlerin Vs Hızlarına Göre Sınıflandırılması	86
Tablo 6.3 MASW verilerinden yeraltısu üstü ve altı için hesaplanan elastisite modül değerleri.....	87
Tablo 6.4 Young modülüne göre zemin sınıfları	88
Tablo 6.5 MASW verilerinden hesaplanan kayma modülü değerleri.....	89
Tablo 6.6 Kayma modülüne göre zemin sınıfları.....	89
Tablo 6.7 MASW verilerinden hesaplanan Poisson oranları	91
Tablo 6.8 Poisson oranlarına göre sıkılık	91
Tablo 6.9 Vs dalga hızı ile bağıl büyütme katsayısı arasındaki ilişki.....	92
Tablo 6.10 MASW verilerinin zemin büyütme değerleri	93
Tablo 6.11 Zemin hâkim titreşim periyodu ile büyütme arasındaki ilişki	93
Tablo 6.12 MASW verilerinin To, Ta, Tb değerleri.....	95
Tablo 6.13 Türk deprem yönetmeliğine göre T ₀ değeri için zemin sınıflaması.....	96
Tablo 6.14 Türk deprem yönetmeliğine göre T _a ve T _b değerlerini ve zemin sınıflaması	96
Tablo 6.15 Zemin Grupları	97
Tablo 7.1 Jeoteknik parametreler tablosu	98

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Son yüzyılda nüfusun sürekli artış göstermesi ve kentleşmeye yönelme kentlerde yeni yerleşim bölgelerine gereksinimi arttırmaktadır. Kentleşmenin artması özellikle engebeli topografyaya sahip alanlarda ve yamaçlarda yapılaşmaya gidilmesine yol açmıştır. Yerleşim alanları oluşturmak amacıyla yamaçların dikleştirilmesi ve şev stabilitesinin bozulması, yapay dolgu alanlarının oluşturulması, yüksek yapıların inşası, yağış sularının drenajının yeterince yapılamaması ve bitki örtüsünün tahrip edilmesi yamaçların duraysız hale gelmesine neden olmaktadır. Duraysız hale gelen toprak, kaya ve molozlu malzemelerin yerçekimi, eğim, su ve deprem gibi kuvvetlerin etkisiyle bulundukları konumdan ayrılarak yer değiştirmesiyle heyelan olgusu gerçekleşmektedir (Ulusay, 2007). Heyelanların oluşabilmesi için uzun süreler gerekebileceği gibi ani kuvvetlerin etkisiyle de bir anda ortaya çıkma olgusu da geçerlidir. Heyelanlar, önemli bir kütle hareketi olmasının yanı sıra afet niteliği de taşımaktadır.

Özellikle yüksek eğimli alanlar, genç faylar ve fay sarplıkları, buzul dönemi vadilerin derine doğru aşındırılması, geçirimsiz malzemelerle birlikte fisürlü kil ve ara seviyelerde geçirimli kum düzeylerini barındıran kütlelerin ve yapay dolgu malzemelerinin şev stabilitesini bozacak şekilde yüklenmesi sonucu harekete geçebilir. Özellikle deprem, yerçekimi ve aşırı yağış sonucu kütle hareketleri bu tür alanlarda gereğince ortaya çıkmaktadır (Dalgıç, 2010).

Çalışma alanı olan İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü önemli bir heyelan sahası içerisinde yer almaktadır. Bölge Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'na yaklaşık 10 km uzaklıkta ve Küçükçekmece ile Büyükçekmece göllerini oluşturan genç faylarla çevrelenmiş durumdadır. Bölgenin zemin büyütmesinin yüksek olmasından dolayı belirli bir büyüklüğün üstündeki her depremden etkilenme potansiyeline sahiptir (Dalgıç, 2010). Bu durumun en temel göstergesi 1999 Kocaeli depreminde Avcılar bölgesinde hasarın oluşması ve deniz içinde heyelanların ortaya çıkmasıdır (İBB, 2007). Bu bölgedeki heyelanların büyük bir bölümünün ay

biçiminde gelişmiş ayna ile içe doğru eğimli çukurlukların belirgin şekilde izlenebilmesi ve kabarmış topuk gibi morfolojik özellikler bölgede genç bir heyelan bölgesi olduğunu düşündürmektedir.

Yapılaşmanın yamaçlar ve eğimli arazilere doğru ilerlemesi bu tip alanların daha ayrıntılı araştırılmasını ve heyelan risklerinin ortaya konulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle ilk olarak Wenner (1912) tarafından uygulanmış ve daha sonra Schlumberger (1920) tarafından geliştirilerek yeraltının elektriksel değişimi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan elektrik resistivite yönteminin temelleri atılmıştır. Bilgisayar ve alet teknolojisinin gelişimine bağlı olarak yeraltının resistivite değişimi bir, iki ve üç boyutlu olarak görüntülenebilmektedir. İlk çalışmalar bir boyutlu olmasına rağmen 1990 yıllardan itibaren iki ve üç boyutlu çalışmalar önemli oranda artış göstermiştir. Yöntemin amacı; yeraltının resistivite dağılımını ortaya koymaktır. Arazi çalışmaları sonucunda elde ettiğimiz görünür resistivite değeri kullanılan dizilim geometrisine bağlı olarak değişim göstermektedir. Böylece, aynı alanda uygulanan farklı dizilim türlerinden elde edilen elektrik resistivite tomografi kesitleri birbirinden farklı sonuçlar verebilmektedir (Berge, 2002; Drahor ve diğer., 2004). Bu nedenle çalışmaların amacına bağlı olarak seçilen dizilim türü oldukça önem taşımakta ve bağımsız bir yeraltı modelinin elde edilmesi için ters-çözüm çalışmalarının uygulanması gerekmektedir.

İki ve üç boyutlu ters-çözüm teknikleri (Smith ve Vozoff, 1984; Tripp ve diğer., 1984; Constable ve diğer., 1987; deGroot-Hedlin ve Constable, 1990; Sasaki, 1992, 1994; Ellis ve Oldenburg, 1994a, 1994b; Loke ve Barker, 1995, 1996a, 1996b) yardımıyla yeraltının iki ve üç boyutlu tomografik görüntüleri elde edilmektedir. Ters-çözüm teknikleriyle görünür resistivite verisiyle hesaplanan resistivite verisi arasındaki fark değeri en küçüklenecek başlangıç modeli her aşamada iyileştirilmeye çalışılır. Fakat çözümün tekil olmaması ve kullanılan ters-çözüm parametrelerine bağlı olarak çözümden uzaklaşmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı değişik algoritmalar ve yeraltı modelleri için çok sayıda sınaama yaparak, farklı dizilimlere bağlı yapay modeller üzerinde çalışmalar yürütmüştür (Sasaki, 1992; Olayinka ve

Yaramancı, 2000; Candansayar ve Başokur, 2001; Dahlin ve Zhou, 2004; Drahor ve diğer., 2004, 2005).

Sığ sorunların araştırılmasında sıklıkla kullanılan elektrik resistivite tomografi (ERT) yöntemi 50 yıldan beri heyelan araştırmalarında da kullanılmaktadır (Drahor ve diğer., 2006). Jeolojik koşullar içerisinde kabul edilebilir çözümlerin bulunabilmesi ve uygun yeraltı modellerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Elektrik resistivite tomografinin hızlı sonuçlar üretmesi ve yeraltının su içeriği ve düşük resistiviteli zonların tespitinde faydalı sonuçlar vermesi, heyelan araştırmalarında kullanımını artırmıştır. Özellikle 1970'lerden beri heyelan araştırmalarında kullanılan elektrik resistivite yönteminin (Bogoslovsky ve Ogilvy, 1977, Caris ve Van Ash, 1991; Hack, 2000; Havenith ve diğer., 2000; Yang ve diğer., 2004) son 30 yıldan beri tomografik uygulamaları ile birlikte heyelan karakteristiği heyelan geometrisi, heyelan yüzeyi ve heyelana uğrayabilecek kütle) daha ayrıntılı biçimde ortaya konulabilmektedir. Özellikle son yıllarda belirli periyotlarla uygulanan elektrik resistivite yöntemi yardımıyla yeraltının zamana bağlı elektrik resistivite görüntülendirmesi (Time-Lapse Electrical Resistivity (TL-ERT)) olası olmaktadır (Legaz ve diğer., 2009). Özellikle bu uygulamanın heyelan sahalarının dinamik hareketlerinin izlenmesinde duyarlı sonuçlar üretmesi, oluşabilecek riskler konusunda önlemlerin alınmasında başarılı sonuçlar üretecektir.

Araştırmada kullanılan bir diğer yöntem çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemidir. 1990'lı yıllarda ortaya çıkmış olan yöntem sismolojideki yüzey dalga analizi temelini kullanmaktadır. Deprem dalgaları cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere iki tür dalga biçiminde kayıt edilmektedir. Yüzey dalgaları Love ve Rayleigh olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Love dalgası kesme dalgası yatay bileşeninin (*SH*) hava-yer ara yüzeyinde oluşmakta ve yayılma doğrultusuna dik ve yatay yönde bir titreşim hareketi yapmaktadır. Rayleigh dalgası yerin serbest yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Rayleigh dalgası sıkışma dalgası (*P*) ve kesme dalgası (*SV*) dalgalarının girişimiyle oluşmakta ve elips şeklinde hareket yönünün tersinde ve yayılım doğrultusunda hareket etmektedir (Xia ve diğer., 2004). MASW yöntemi yüzey dalgalarının kayıt edilmesi ve buradan bazı denklemler yardımıyla zemin

parametrelerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Uygulamalar genellikle bir boyutlu çalışmaları içermekte ve Vs dalgası analizleri yardımıyla ortamın jeoteknik parametrelerinin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Heyelan araştırmalarında kullanımı çok yaygın olmamakla birlikte olumlu sonuçların elde edildiği bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında MASW tomografi yöntemi uygulanmış ve heyelanlı alanın Vs hızları yardımıyla 2 boyutlu yeraltı modelleri ve gerekli jeoteknik parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanı, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü, orta tehlikeli heyelan bölgesi içerisinde yer almaktadır (İBB, 2007). Bölgeye yakın konumda yeralan Kuzey Anadolu Fay zonundaki tektonik aktivitenin günümüzde devam etmesi ve çalışma alanındaki yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın konumda olması ve alanın jeolojik özelliklerinin heyelan oluşumuna olanak vermesi, alanı önemli kılmaktadır. Bu çalışmada heyelan geometrisinin belirlenmesi ve zeminin mekanik ve dinamik parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla İ.Ü. Avcılar yerleşke sahası içerisinde GEOİM LTD tarafından yapılan projenin verilerinden yararlanılarak, heyelanın tanımlanması için gerekli modelleme ve yorumlama çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında ERT ve MASW tomografi çalışmaları ile bu hatlara yakın noktalarda sondaj çalışmalarının sonuçları tümleşik olarak yorumlanarak, buradaki heyelanın karakteristiği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

HEYELAN OLGUSU

Günümüzde hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak gelişen hızlı kentleşme birçok engebeli topografyaya sahip alanlarda da yapılaşmaya gidilmesine yol açmıştır. Yamaç yerleşimlerinin artmış olması bu alanlardaki morfolojinin değişmesine neden olmuştur. Özellikle yerleşim alanları oluşturmada yamaçların dikleştirilmesi, topuk bölgelerinde kazı yapılması, yapay dolgu alanlarının oluşturulması, yüksek yapıların inşası, yağış sularının drenajının yapılamaması ve bitki örtüsünün tahrip edilmesi yamaçların duraysız hale getirmektedir. Duraysız hale gelen kaya, yapay dolgu malzemesi veya zeminlerin yer çekimi, eğim ve su gibi kuvvetlerin etkisiyle bulundukları konumdan ayrılarak yer değiştirmesiyle heyelan olayı gerçekleşmektedir. Heyelanlar bir anda ortaya çıkabileceği gibi, uzun süreçler boyunca da gerçekleşebilmektedir. Aşınma ve sıvı akışı sürecine bağlı olarak ortaya çıkan heyelan türlerinde genelde yaygın bir kütle hareketi ortaya çıkmaktadır. Heyelan sırasında hareket eden kütlenin büyüklüğüne bağlı olarak alanın topografyasında önemli değişiklikler ortaya çıkabilmektedir. Özellikle yüksek eğimli alanlar, fay sarplıkları ve yamaçları, yapay dolgu sahaları heyelan olgusunda önem taşımaktadır ve özellikle yoğun yağışların da ortaya çıkaracağı hareket heyelan riskini artıran unsurlardır.

2.1 Heyelana Neden Olan Etkenler

Heyelanların oluşmasında tetikleyici etmenler vardır. Bunlar arasında eğim dikliği, morfoloji veya arazinin şekli, toprak tipi, jeoloji, insan ve yapı etkileri ana başlıklar altında ilerleyen bölümde açıklanmaktadır.

2.1.1 Eğim Açısı

Heyelanın oluşmasındaki en temel faktörlerden olan eğim açısının yüksek olması hareket riskini artırmaktadır. Doğal eğim açısının bozulması iki yolla oluşabilmektedir; insan kökenli ve doğal yollarla. Akarsu, erozyon, tektonik etkilere

bağlı olaylar ve faylanma ile iklimdeki ani değişimler gibi doğal faktörler yüksek eğimli yamaçların oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca insan eliyle oluşturulmuş kanal, yol yarmaları ve maden çalışmaları sırasında yamaç eğim açısının değişmesi ya da atık malzemenin sevk edildiği alandaki yamaç stabilitesinin bozulması gibi nedenlere bağlı olarak heyelan olgusu ortaya çıkabilmektedir.

2.1.2 Suyu Doygunluk

Zemini oluşturan malzemenin suya doygunluğu heyelan gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Şiddetli ve sürekli yağışlarla iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan ani kar erimeleri gibi doğal kaynaklı olaylar su içeriğini artıran faktörlerdir. İnsan kaynaklı faktörlerin başında ise gömülü alt yapı elemanlarından kaynaklanan kaçakların oluşması ve yeraltı su tablasındaki ani seviye değişiklikleri gelmektedir. Boşluk suyu (u) artıran bu faktörler sonucunda plastisite ve likit sınırlara erişmiş olan malzeme, ortamda ortaya çıkan bir sarsıntı ya da yerçekimine karşı koyamama durumuna bağlı olarak heyelan oluşumu ortaya çıkarabilmektedir. Su içeriği, ortamdaki denge açısını küçülterek, ağırlığı artırarak ve sürtünmeyi azaltarak heyelanı kolaylaştırıcı bir işlev görmektedir. İnceleme alanında yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması ve bölgenin yarı geçirimli ve geçirimli birimlerden olmasına bağlı olarak fay ve heyelan düzlemleri boyunca sızıntılarla beslenmektedir. Bu durum yeraltı suyunun geçirimsiz nitelikli fisürlü kil seviyeleri üzerinde hidrostatik basınç oluşturur ve kontak zonu boyunca genel dengenin bozulmasına neden olur (Dalgıç ve diğer., 2010).

2.1.3 Malzeme Yapısı

Litolojik özellikler jeomorfolojiyle ilgili verilerin temel kaynağını oluşturmaktadır ve heyelan olgusunda malzemenin litolojik özellikleri farklı duyarlılıklar göstermektedir. Kuru yoğunluk, su emme indeksi, toplam porozite, efektif porozite, plastisite ve likit oranlarına bağlı olarak malzemenin litolojik özelliklerindeki değişim heyelanı tetikleyebilmektedir. Özellikle kil türlerinde plastisite değerlerinin birbirine yakın olmasına karşın, likit limit değerleri birbirinden çok farklı

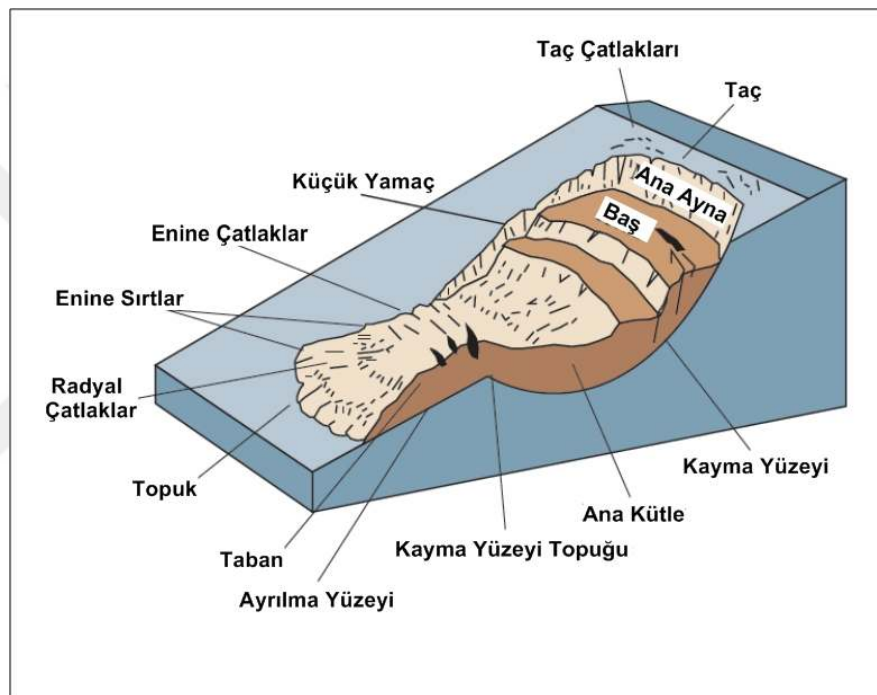
olabilmektedir. Bu nedenle killeri çok az suyla likit limit sınırlarına ulaşarak heyelana neden olabilir. Killi formasyonların, fliş, marn ve tuf gibi kil depolarının yaygın olduğu sahalarda heyelan riski yüksektir. Kayaçlarda ise deformasyonlara bağlı olarak gelişen ayrışmalar malzemede değişimlere yol açabilmektedir. Ayrışma, kayaçta fiziksel değişimlere (tane sınırlarının ve mikro-kırıkların açılmasına, yeni mikro-kırıkların oluşmasına) ve mineralojik kimyasal değişimlere yol açmaktadır. Kalkerli ve volkanik kayaç türlerindeki kırık ve çatlak sistemleri heyelanın oluşmasına neden olan önemli etmenlerdir. İnceleme alanında yer alan Miyosen yaşlı çökel birimleri, az tutturulmuş veya tutturulmamış çakıllı kum tabakalarıyla ardalanmalı kil tabakalarından oluşmaktadır. Heyelanlar, aşırı konsolide, yüksek plastiseli, yer yer fisürlü, katı-sert kil, alt kesimleri kireçtaşıdan oluşan birim içerisinde gerçekleşmektedir. Bu birime ait kil düzeyleri aşınmaya uğrayarak topografik eğim boyunca stabiliteyi koruyamayarak heyelana neden olurlar.

2.1.4 Tektonik Yapı

Tektonizmaya bağlı olarak gelişen yükselmeler, eğimlenme ve dalımlar şevlerin eğim açılarında değişikliğe neden olduğu gibi depremler ve depreme bağlı olarak gelişen faylanmalar heyelan oluşmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Sıkışma tektoniği ile gelişen oblik ve normal faylanmalar duraysız malzeme içeriğine sahip alanlarda heyelan oluşmasına neden olabilmektedir. Sismik aktivite sonucu oluşan faylanmalar ve tabakalar arasında killi seviyelerin bulunması, kar veya yağmur sularının toprağa sızması sonucunda kilerin plastik veya likit hale geçmesine neden olmaktadır. Sıvılaştıran kil tabakasının üzerindeki kütleler çekim gücüne karşı koyamayarak hareket etmeye başlar. Kayaçlı ortamlarda faylanmaya bağlı olarak falez oluşumları gözlenmektedir ve kayaçların diyaklazlarla derin ve sık bir şekilde parçalanmış olması heyelanı tetikleyen sebepler arasında yer almaktadır. Deprem kaynaklı heyelanların hangi şartlar altında oluştuğu kararlılık analizlerinin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Deprem kaynağından uzaklaştıkça heyelan riski de azalmaktadır. Özellikle magnitudü 6'dan büyük olan depremler jeolojik yapıya bağlı olarak büyük heyelan oluşmasını tetikleyebilmektedir (Hunt,2005). İnceleme alanının Kuzey Anadolu Fay Zonuna olan uzaklığı ve alanda birçok genç fayın bulunması alandaki heyelan riskini artırmaktadır.

2.2 Heyelan Mekanizması

Düzensiz veya belirli bir geometriye sahip şevler, jeolojik süreçlerle ya da insan eliyle oluşturulmaktadır. Şevleri oluşturan kaya veya toprak zeminlerin makaslama yenilmesi veya yerçekimi etkisiyle şev boyunca hareket etmesiyle heyelan olayı gerçekleşmektedir. Uluslararası Jeoteknik Komisyonu (IAEG) tarafından kabul edilen heyelan mekanizmasının oluşumu ve heyelanın şematik kesiti Şekil 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.1 Heyelan kesitinin blok diyagram olarak gösterimi (USGS, 2004).

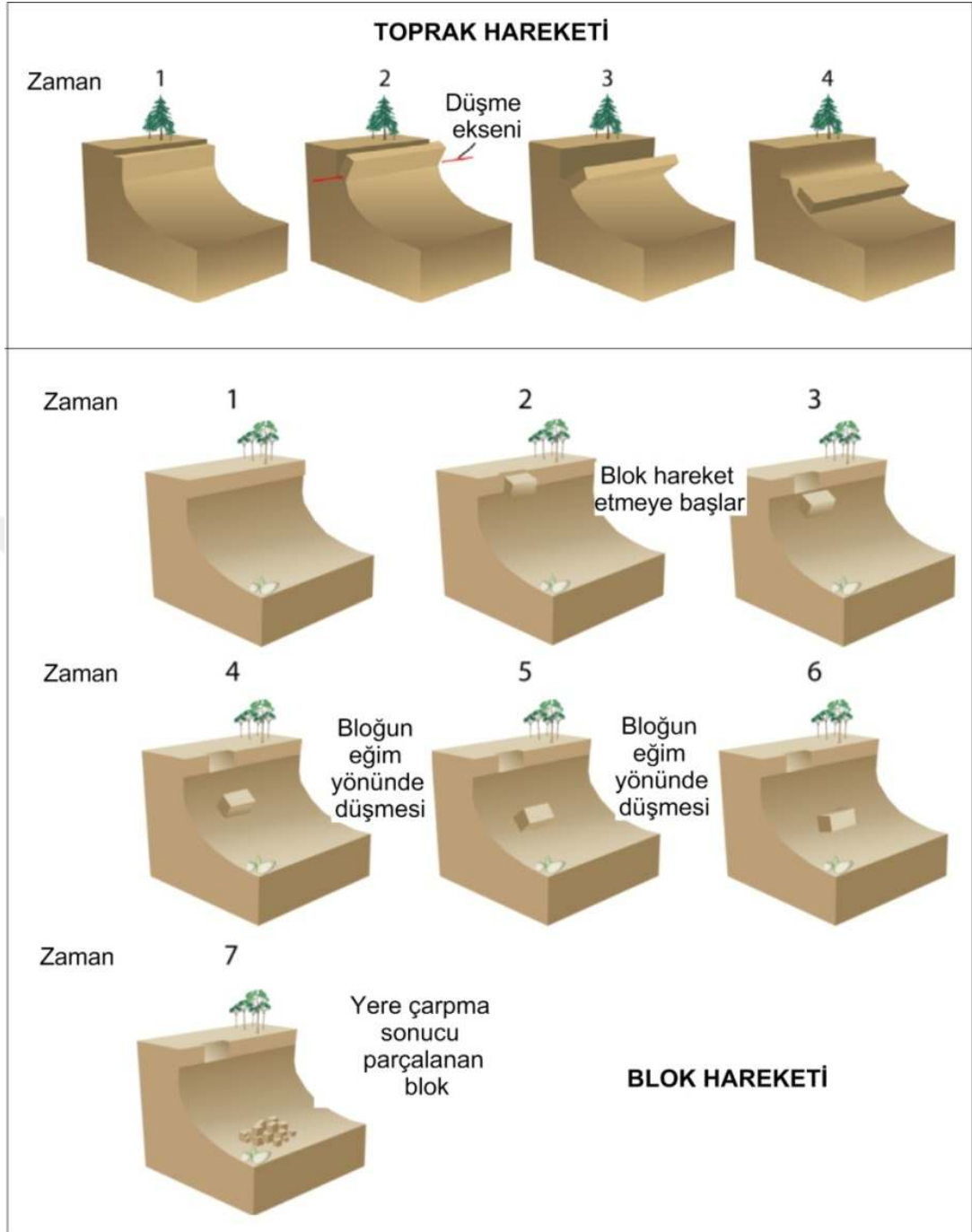
Kütle hareketlerini tanımlamak amacıyla hareket mekanizması, kayma yüzeyinin şekli, seviye oluşturan malzemenin genel niteliğiyle tane boyu, duraysızlığın hızı ve yaşı gibi özelliklerden pek çoğunun dikkate alması açısından, heyelan olgusunda Varnes'ın (1978)'in yapmış olduğu tanımlama kullanılmaktadır. Duraysızlık türlerinin genel karakteristiğini gösteren sınıflama Tablo 2.1' de verilmektedir.

Tablo 2.1 Heyelan türlerinin sınıflaması (Varnes, 1978).

DURAYSIZLIK TÜRÜ			MALZEMENİN TÜRÜ		
			TOPRAK ZEMİNLER		ANA KAYA
			İNCE TANELİ	İRİ TANELİ	
DÜŞME			Zemin düşmesi	Moloz düşmesi	Kaya düşmesi
DEVİRİLME			Zemin devrilmesi	Moloz devrilmesi	Kaya devrilmesi
KAYMA	DÖNEL (Dairesel)	Sınırlı sayıda birim	Zeminde dairese kayma	Molozda dairese kayma	Kayada dairese kayma
	ÖTELENMELİ	Çok sayıda birim	Zeminde blok türü ötelenme Zemin kayması	Molozda blok türü ötelenme Moloz kayması	Kayada blok türü ötelenme Kaya ötelenmesi
YANAL YAYILMA			Zemin yayılması	Moloz yayılması	Kaya yayılması
AKMA			Zemin akması	Moloz akması	Kaya akması
			(Zeminde krip)		(Derin krip)
KARMAŞIK KAYMALAR			Yukarıda belirtilen diğer duraysızlık türlerinden ikisinin veya birkaçının birleşmesiyle gelişen duraysızlıklar		

2.2.1 Düşme

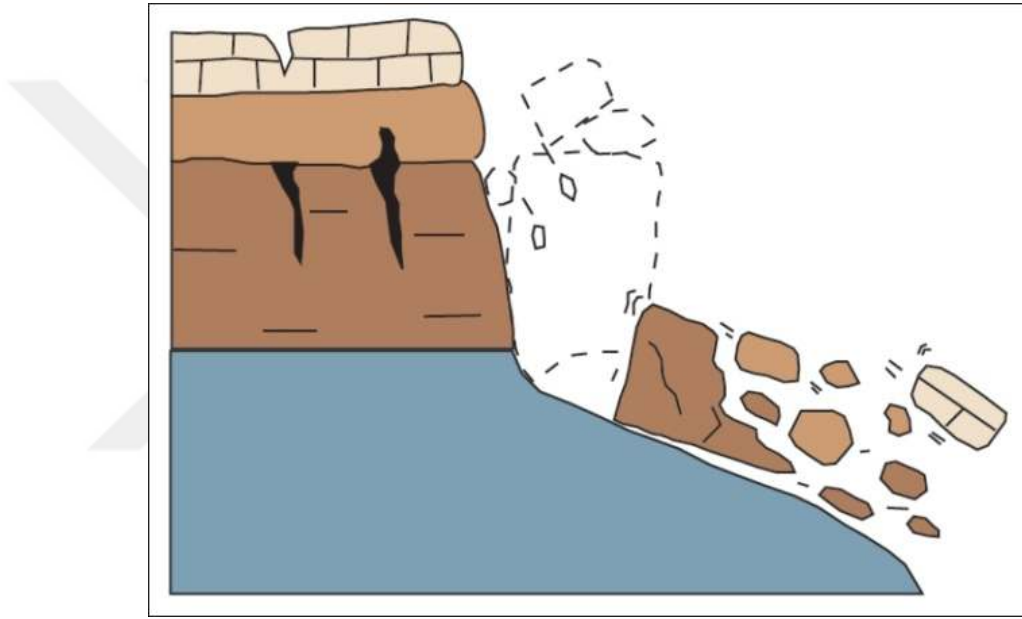
Düşme türü duraysızlık türü, kaya kütlelerindeki süreksizlikler ile toprak zeminlerde ayrışmaya bağlı olarak ortaya çıkan, kopan bloklardaki dik eğimli yamaçların yerçekimine bağlı olarak düşmesiyle gerçekleşir. Yerçekimine bağlı olarak gerçekleşen bu hareket sırasında herhangi bir makaslama yenilmesi olmamaktadır. Hareket, yamaç topuğunda meydana gelen erozyon sonucu blokların desteklerini yitirmesi, süreksizliklere uygulanan su veya buz basınçları, mühendislik çalışmaları sırasında yapılan patlatma ve kazı işlemleri sonucu zeminin duraysız hale gelmesi sonucu oluşmaktadır. Duraysız hale gelen zeminde hareket ani ve hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Coduto,1999). Özellikle kaya düşmeleri (rock falls) önemli zararlara yol açan bir düşme türüdür. Kaya ve toprak düşmesinin zamana bağlı hareketi Şekil 2.2’ de verilmektedir.



Şekil 2.2 Düşme hareketi (Girty, 2009).

2.2.2 Devrilme

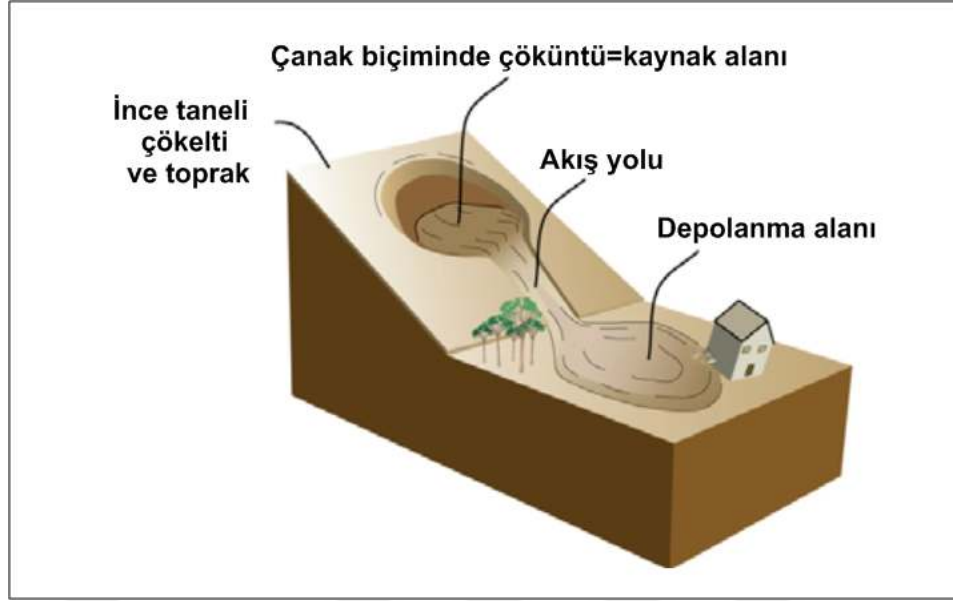
Kaya ya da sert kil kütlesinin şevin tersi yönde ve devamlılığı yüksek süreksizliklerin neden olduğu kolonsal elemanların belirli bir dönme noktası üzerinde domino etkisi şeklinde devrilmesiyle oluşan bir mekanizma türüdür (Ulusay, 2007). Devrilme makaslama yenilmesini içeren bir bükülme davranışdır. Zemin, kaya ve moloz devrilmesi olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 2.3’de devrilme mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Devrilme hareketi (USGS, 2004)

2.2.3 Akma

Eğimli yamaçlarda bulunan ince taneli çökelti ve toprağın sıvı içeriğinin artması onları duraysız hale getirmektedir. Malzemelerin eğim boyunca hareket edip dengeye gelebileceği bir depolanma alanına kadar yer değiştirmesine akma denir (Şekil 2.4). Akmanın gerçekleşmesi için malzemenin konsolide olmamış olması ve yüksek hızla viskoz bir sıvı gibi davranması gerekmektedir. Kendi içerisinde dört gruba ayrılmaktadır.

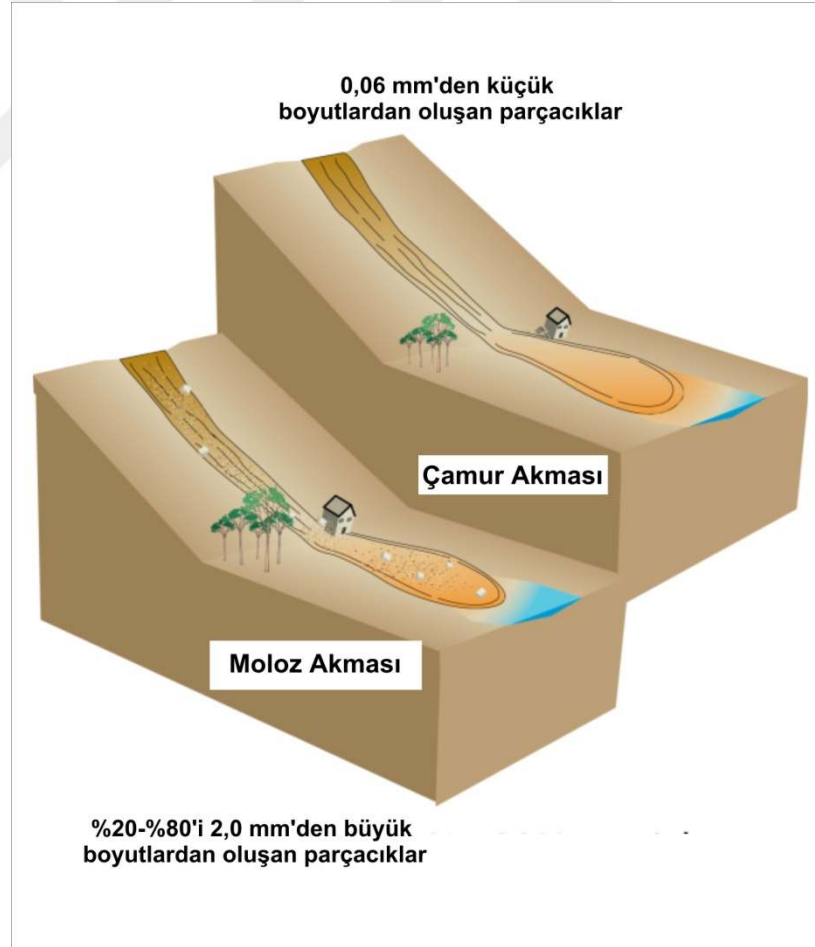


Şekil 2.4 Akma Mekanizması (Girty, 2009).

Tane boyuna bağlı olarak yapılan bu sınıflamalar kaya, moloz, toprak ve çamur akması şeklindedir. Kaya akmaları, kaya içerisinde bulunan çatlak sistemlerinin artmasına bağlı olarak yavaş yavaş gelişmektedir. Kayanın doğal özelliğini kaybetmesiyle birlikte sıvı içeriği yüksek olmasa bile şiddetli ve hızlı bir hareket başlar. Malzeme içeriğinin %80'den fazlasının tane boyunun yaklaşık 2 mm'den küçük olan çökelti ve toprak karışımından oluşan akma türüne "toprak akması" denir. Akma hızı saatte 0,17-20 km arasında değişmektedir. Moloz akması olarak adlandırılan akma türünün malzeme içeriği 2 mm'den büyük boyutlarda tanelerden oluşmasından kaynaklanmaktadır. Şiddetli yağışlar birikinti akmasını tetikleyici etmenlerin başında gelmektedir (Şekil 2.5) Malzeme içeriğinin %80 oranından fazlasının 0,06 mm'den küçük taneli olması durumunda çamur akması olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.6)



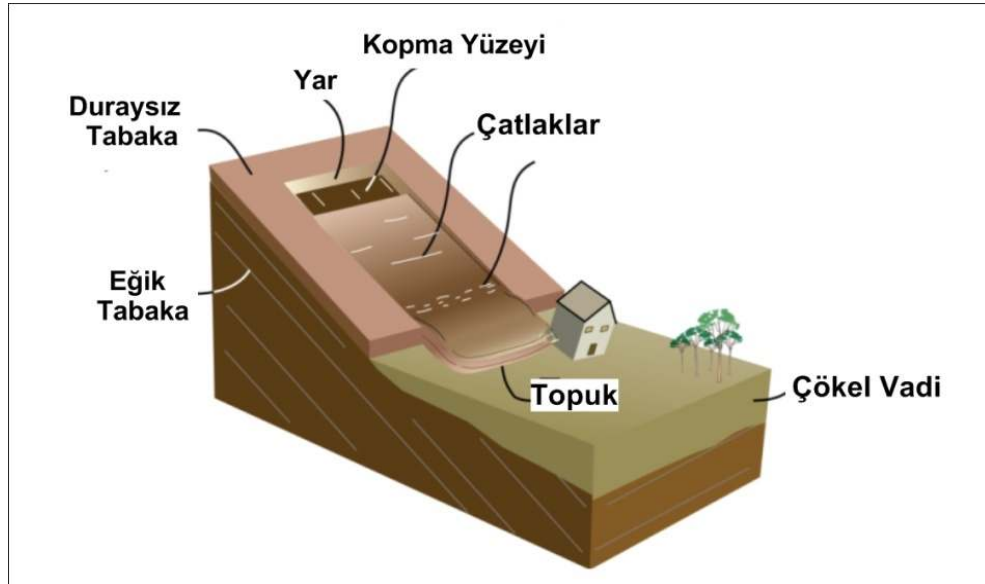
Şekil 2.5 Moloz akması (Girty, 2009)



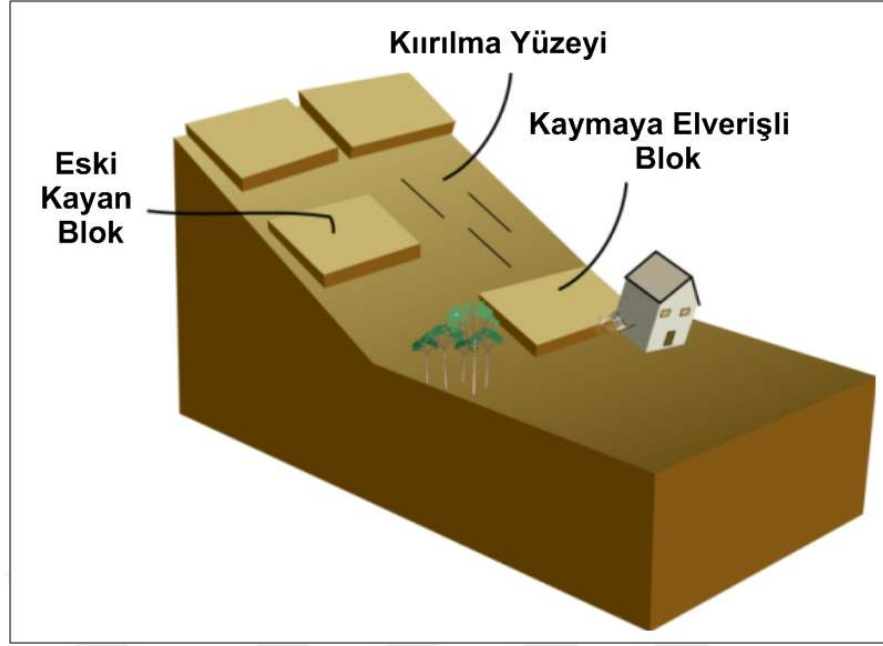
Şekil 2.6 Moloz ve çamur akması (Girty, 2009).

2.2.4 Kayma

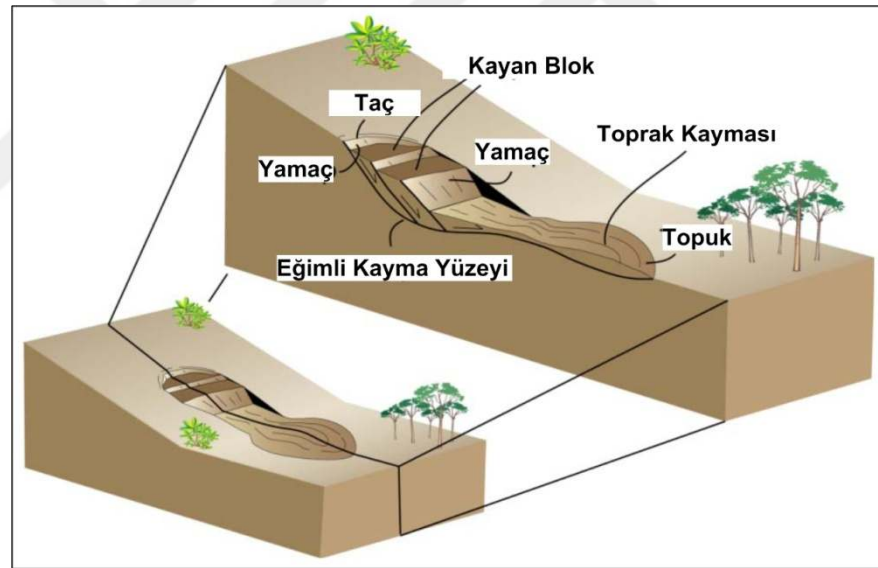
Heyelan türleri içerisinde kayma tipi heyelanın gerçekleşebilmesi için eğimli bir yüzeye ve malzemenin makaslama gerilmesine yenilmesi gerekmektedir. Kayma hareketi dönel (rotasyonel) ve ötelenmeli kayma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ötelenmeli kaymalar, bir ya da birden fazla süreksizlik düzlemi içeren duraysız zeminlerin eğim yönünde hareket ederek yer değiştirmesiyle gerçekleşmektedir (Şekil 2.7). Kayan malzemenin içeriğine bağlı olarak kaya, moloz ve toprak kayması şeklinde üçe ayrılmaktadır. Toprak kaymasının yanı sıra malzemeler büyük bloklar halinde de harekete geçebilmektedir (Şekil 2.8). Dönel kaymalar, doğal eğimli alanlarda malzemenin duraysız hale gelmesiyle ya da mühendislik çalışmalar sırasında oluşturulan şevlerde, nehir yataklarında, dolgularda, atık sahalarında, açık işletmelerdeki pasa yığınlarında, ileri derecede eklemli kaya kütleleri ile ileri derecede ayrılarak toprak zemine dönüşmüş kayalarda meydana gelir (Ulusay, 2007). Kayma hareketi dairesel yüzeyler boyunca gelişir ve kayan kütle geriye doğru bir eğim kazanmaktadır. Dönel kaymaya örnek Şekil 2.9’da verilmektedir. Kayma hareketi sırasında ortamın dayanımına bağlı olarak bir ya da birden fazla hareket meydana gelebilmektedir. Bu tür hareketlere karmaşık kaymalar denilmektedir.



Şekil 2.7 Ötelenmeli toprak kayması (Girty, 2009)



Şekil 2.8 Ötelenmeli blok kayması (Girty, 2009)

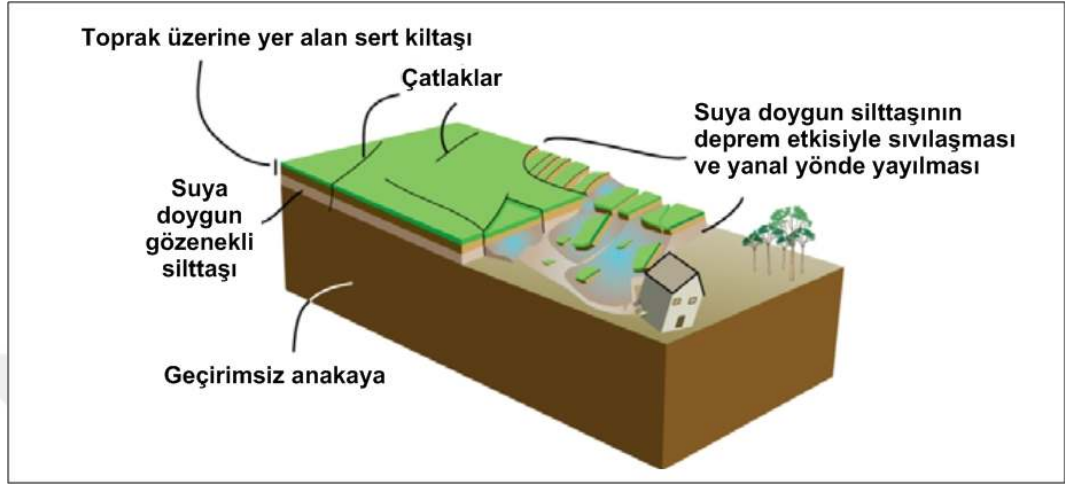


Şekil 2.9 Dönel kayma ve toprak kayması (Girty, 2009)

2.2.5 Yanal Yayılma

Yanal yayılma eğimi az ve düz yamaçlarda meydana gelir. Suyu doymuş kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşması sonucu zeminin hareket etmesiyle yanal yayılma gerçekleşir. Bu türlü bir hareketin başlamasını deprem ve benzeri güçte yer sarsıntıları tetiklemektedir. Sıvılaşmanın üst tabaka yerine sağlam zeminin altında

yeralan tabakalarda gerçekleşmesi durumunda, üst katmanda çatlaklar meydana gelir ve sonrasında çökme, çevrilme, dönme, parçalanma ve akma gibi hareketler meydana gelebilmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Yanal yayılma (Girty, 2009)

BÖLÜM ÜÇ

HEYELAN ARAŞTIRMALARINDA ELEKTRİK RESİSTİVİTE TOMOĞRAFİ (ERT) VE ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI (MASW)

3.1 Kullanılan Yöntemler

Jeofizik yöntemler yaklaşık elli yıl öncesinden günümüze değin heyelan araştırmalarında uygulanmaktadır. Özellikle topoğrafik değişimin çok yüksek olduğu alanlarda uygulanması çok zor olmakla birlikte, son yıllarda GPS yardımıyla ölçüm noktalarının hassas bir biçimde belirlenmesi, topoğrafik değişimlerin model oluşumunda kullanılabilmesi ve bu konuda modelleme çalışmalarının önemli oranda gelişmesi ve özellikle tomografik yöntemlerin ortaya çıkması, başarılı jeofizik çalışmaların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar içinde özellikle elektrik resistivite tomografi (ERT) araştırmalarının heyelanın geometrik özelliklerinin belirlenmesindeki önemi yadsınamaz. ERT çalışmaları özellikle heyelan oluşumu öncesi ve sonrası ortam değişimlerinin ortaya çıkarılmasında çok önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Ayrıca ortamın zaman içindeki değişimlerini de yapılacak zaman atlamalı (time-lapse) çalışmalarla belirlemek olası olabilmektedir. Heyelan olgusunun belirlenmesinde diğer uygulamalardan biri de son yıllarda kullanımı görülen çok-kanallı yüzey dalgası analizleridir. Bilindiği gibi sismik yöntemler jeoteknik ve mühendislik uygulamalarında uzun yıllardan beri başarılı bir biçimde uygulanmaktadır. Özellikle S dalgası analizleri ortamın jeoteknik parametrelerinin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Kullanımı çok yaygın olmamakla birlikte olumlu sonuçların elde edildiği bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında da MASW yönteminin iki boyutlu tomografik uygulaması ile birlikte ERT modelinin birleşik yorumu önem taşımaktadır. Özellikle heyelan gibi oldukça karmaşık ortamların modellenmesinde ve yorumlanmasında yöntemlerin tümleşik kullanımı önem taşımaktadır ve bu nedenle heyelan geometrisinin ve bu geometri ile ilişkili jeolojik birimlerin jeoteknik özellikleri heyelanın belirlenmesi anlamında heyelan öncesi ve özellikle heyelan sonrası araştırmalarda önem taşıyacaktır. Bu çalışmada heyelanlı bir sahada çalışma alanının aktif heyelan öncesi durumu

incelenerek, olası heyelanın genel özellikleri jeoteknik parametrelerle birlikte irdelenmiştir.

3.1.1 Elektrik Resistivite Tomografi (ERT) Yöntemi

Elektrik resistivite çalışmaları heyelanlı bir sahanın özelliklerinin incelenmesinde önem taşıyan bir uygulamadır ve bu uygulama ile ortamın geometrisi, ortamdaki sıvı içeriği ve akışkana bağlı olarak değişimler incelenebilmektedir. Özellikle sığ jeofizik sorunların irdelenmesinde önem taşıyan ERT yöntemi heyelan karakteristiğinin belirlenmesinde de önemli sonuçlar vermektedir ve 1970'lerin sonundan beri uygulanan resistivite çalışmalarını yorumsal anlamda daha üst bir noktaya taşımaktadır (Bogoslovsky ve Ogilvy, 1977; Caris ve Van Ash, 1991; Hack, 2000; Havenith ve diğer., 2000; Yang ve diğer., 2004). Günümüzde 2 ve 3-boyutlu elektrik resistivite çalışmaları heyelan araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Lapenna ve diğer., 2003).

Belirli periyotlarla uygulanan elektrik resistivite yöntemi, zamana bağlı elektrik resistivite görüntüleme 'Time-Lapse Electrical Resistivity (TL-ERT)' son yıllarda sığ yeraltı sorunlarının araştırılmasında büyük önem taşımaya başlamıştır (Legaz ve diğer., 2009). Ayrıca heyelan olgusu ERT çalışmalarının zamansal değişimlere bağlı olarak incelenmesi ile de farklı bir boyuta taşınmaktadır ve heyelan olgusu böylece 4Boyutlu olarak incelenebilmektedir.

Ayrıca heyelan olgusu ERT çalışmalarının zamansal değişimlere bağlı olarak incelenmesi ile de farklı bir boyuta taşınmaktadır ve heyelan olgusu böylece 4Boyutlu olarak incelenebilmektedir.

Elektrik resistivite çalışmaları ilk olarak 1912 yılında Wenner tarafından kullanılan yöntem sonraki yıllarda Schlumberger tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin uygulanış şekli; yere iki elektrot yardımıyla akım verilmesi ve bu akımın oluşturduğu potansiyel farkı ölçmek için iki potansiyel elektrot kullanılmasıyla gerçekleştirilir ve yeraltının resistivite dağılımı saptanmaya çalışılır. Yere elektrik

The diagram illustrates the current and equipotential lines for a two-electrode system. Two electrodes, A and B, are shown on a horizontal line representing the ground surface. Electrode A is on the right, and electrode B is on the left. The distance between the electrodes is labeled r_1 . The distance from electrode A to a point M on the surface is labeled r_2 , and the distance from electrode B to a point N on the surface is labeled r_3 . The distance from electrode A to a point on the surface is labeled r_4 . The current lines are shown as curved lines with arrows pointing from the electrodes towards the center. The equipotential lines are shown as concentric arcs centered on the electrodes. The equipotential lines are labeled with values 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, and 0.9. The current lines are labeled with values 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, and 0.9. The diagram also includes a legend: A,B Akım elektrodu (Current electrode) and M,N Potansiyel elektrodu (Potential electrode).

Elde edilen değerlerden Ohm yasası yardımıyla yeraltının görünür resistivite değerine ulaşılır. Ohm yasasının vektör formundaki eşitliği;

ile verilir. Formülde σ , yapının iletkenliği; J, akım yoğunluğu ve E, elektrik alan şiddetidir. Yapının iletkenliği ve ortam özdirenci arasındaki bağıntı $\rho=1/\sigma$ olarak

tanımlanmaktadır. Çalışmalarda elektrik alan potansiyeli ölçülmektedir ve elektrik alan-alan şiddeti arasındaki bağıntı ise;

$$E = -\nabla \Phi \quad (3.2)$$

ile tanımlanır. (3.1) ve (3.2) denklemlerinden;

$$J = -\sigma \cdot \nabla \Phi \quad (3.3)$$

elde edilir. Akım kaynakları nokta kaynak olarak davranış göstermektedir. Akım kaynağının (I), akımı çevreleyen ΔV hacim elemanı üzerinde (x_s, y_s, z_s) koordinat yönlerinde akım çevresinde oluşturacağı potansiyel dağılım Dey ve Morrison (1979) tarafından aşağıdaki denklemle ortaya koyulmuştur (Berge, 2005).

$$\nabla \cdot J = \left(\frac{I}{\Delta V}\right) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (3.4)$$

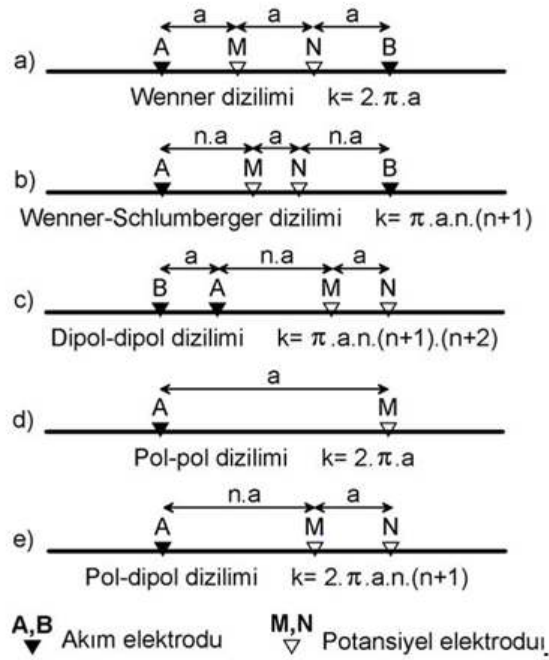
Denklemde verilen δ , Dirac Delta fonksiyonu olmak üzere (3.3) denklemi aşağıdaki şekilde tekrar düzenlenebilir.

$$-\nabla \cdot [\sigma(x,y,z) \cdot \nabla \Phi(x,y,z)] = \left(\frac{I}{\Delta V}\right) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (3.5)$$

Bu denklem nokta akım kaynağında oluşan potansiyel dağılımı veren eşitliktir. Bu denklemin çözümü ile potansiyel dağılım modellenenir ve bu teknik elektrik resistivite yönteminde “Düz-Çözüm Modellemesi” olarak adlandırılır.

Yöntemin uygulanmasında kullanılan 4 adet elektrotun birbirlerine göre uzaklıklarının değiştirilmesine bağlı farklı dizilim türleri ortaya çıkmaktadır. Araştırmaların amacına bağlı olarak kullanılan dizilim türleri oldukça önem taşımaktadır. Böylece herhangi bir yer modeli için hesaplanan ya da ölçülen görünür resistivite değerleri farklı elektrot dizilimlerine göre değişik sonuçlar verecektir. Bu

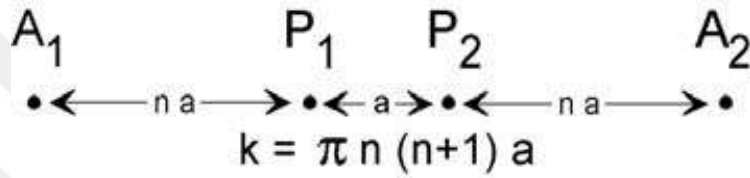
nedenle araştırmanın amacına uygun elektrot diziliminin seçimi araştırmanın başarısını artıracaktır. Literatürde tanımlanan yüzden fazla elektrot dizilimi süperpozisyon, odaklanma ve doğrusallık özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Slazai ve Szarka, 2008). Jeoelektrik çalışmalarda Wenner, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol ve sol yönlü pol-dipol olmak üzere sıklıkla kullanılan beş dizilim bulunmaktadır (Şekil 3.2)



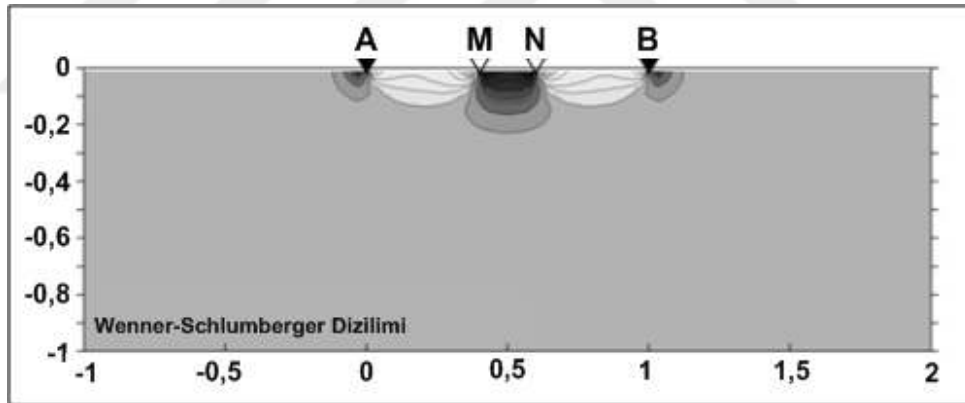
Şekil 3.2 a) Wenner, b) Wenner-Schlumberger, c) dipol-dipol, d) pol-pol ve e) pol-dipol dizilimlerinde kullanılan elektrotların yüzeydeki dağılımı ve dizilimlere ait geometrik faktör (k) hesabı (Berge, 2011).

Wenner-Schlumberger diziliminde resistivite değeri dizilimin orta noktasına atanmakta ve yerleşim düzeninde ‘a’ ve ‘n’ ayrı ayrı veya birlikte artırılmasıyla derinlik seviyelerinden bilgi alınmaktadır. Dizilim sisteminde ‘n=1’ olması durumunda wenner dizilimi elde edilmektedir. Dizilime ait duyarlılık kesiti incelendiğinde; potansiyel elektrotları arasında kalan pozitif alanın Wenner diziliminden daha dar ve derine doğru yayvan olduğu görülmektedir (Şekil 2.2). Bu durum dizilimin hem yatay hem de düşey süreksizliklere karşı duyarlı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılmıştır ve bu dizilimin genel geometrisinde resistivite değeri dizilimin orta noktasına atanmakta ve yerleşim düzeninde ‘a’ ve ‘n’ ‘in ayrı ayrı veya birlikte artırılmasıyla derinlik seviyelerinden bilgi alınmaktadır (Şekil 3.3). Dizilim sisteminde ‘n=1’ olması durumunda Wenner dizilimi elde edilmektedir. Dizilime ait duyarlılık kesiti incelendiğinde; potansiyel elektrotları arasında kalan pozitif alanın Wenner diziliminden daha dar ve derine doğru yayvan olduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Bu durum dizilimin hem yatay hem de düşey süreksizliklere karşı duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.3 Basitleştirilmiş Schlumberger dizilim şeması ve k dizilim katsayısı.



Şekil 3.4 Wenner-Schlumberger dizilimlerine ait duyarlılık kesiti (100 Ω.m’lik homojen ortam için hesaplanmıştır).

Elektrik resistivite yönteminde son yıllarda ortaya çıkan hızlı ve duyarlılığı yüksek ölçüm cihazları yardımıyla veri değerlendirmede sayısal yöntemlerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Veri işleme çalışmalarında sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede 2 ve 3 boyutlu düz ve ters-çözüm modellemeleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu şekilde yeryüzünden yeraltının değişik derinlik seviyeleri için yapılan ölçülerle yeraltının iki ve üç boyutlu tomogramları oluşturulabilmektedir.

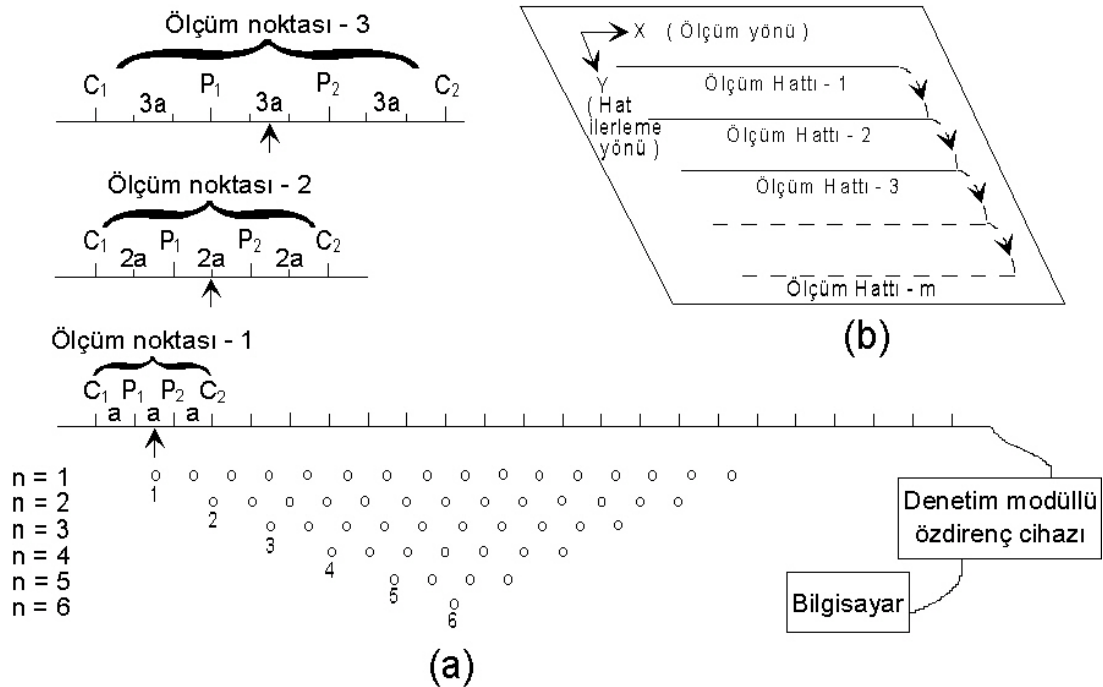
Bu teknik kullanılarak yapılan değerlendirmede ortam heterojenitesinin sadeleştirme yapılmadan çözüme katılması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kompleks yeraltı yapıları bu şekilde kolayca modellenebilmektedir. Son yıllarda elektrik resistivite tomografi yönteminin iki boyutlu anlamda kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle mühendislik ve çevresel sorunlar ile birlikte değişik jeolojik sorunların çözülmesi ve arkeolojik amaçlı uygulamaların ağırlığı da her geçen gün artmaktadır.

Elektrik resistivite yönteminde ters-çözüm çalışmalarıyla yeraltının gerçeğe yakın resistivite dağılımı elde edilir. Bu yönde geliştirilen ters-çözüm algoritmaları (deGroot-Hedlin ve Constable, 1990; Sasaki, 1992; Loke ve Barker, 1996a,b; Günther ve diğer., 2006) yeraltının tomografik görüntülerinin 2 ve 3-boyutta elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ters-çözüm değerlendirmeleriyle tomografi görüntülerine benzer sonuçlar elde edilmesi, bu tip uygulamaların elektrik resistivite tomografisi olarak ta adlandırılmasına yol açmıştır. ERT ters-çözümünde amaç sınırlı sayıdaki görünür resistivite verisinden yeraltı modeli olan resistivite dağılımına ulaşmaktır. Bu durum çözülecek sorunların doğrusal olmayan ters-çözüm sorunu olmasına sebep olmaktadır. Bu tür sorunların çözümü, gözlenen ve kuramsal görünür resistivite verisi arasındaki farkın yinelemeli bir yolla küçüklenmesini sağlayarak bir başlangıç modelinin iyileştirmesini gerektirmektedir. Başlangıç modelinden kuramsal verinin elde edilmesi ve yinelemeler sonucu model parametrelerinin iyileştirilmesiyle yeniden bir kuramsal verinin üretilmesinde ise düz-çözüm aşamasına gereksinim duyulur. Tomografik yaklaşım teknikleri olarak da adlandırılan bu yinelemeli işlem elektrik resistivite verisinin değerlendirilmesinde 1980'lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır (Tripp ve diğer., 1984; Sasaki, 1992; Loke ve Barker, 1996a, 1996b).

Yeraltı homojen bir ortam olarak düşünöldüğünde ve farklı geometrik şekillerde yapılar ve süreksizlik sistemleri için oluşturulan modeller için analitik yöntemler kullanılmaktadır. Fakat heterojen bir ortam söz konusu olduğunda gelişi güzel bir resistivite dağılımı oluşacak ve çözüm için sayısal teknikler kullanılacaktır. Yeraltının belirli sayıda yatay katman ile sınırlandırıldığı durumlarda bir boyutlu

çalışmalarda uygulanan doğrusal süzgeç yöntemleri çözüme ulaşmakta kullanılmaktadır (Koefoed, 1979). İki ve üç boyutlu çalışmalarda, sonlu-farklar ve sonlu-elemanlar yöntemleri kullanılmaktadır.

Jeoloji amaçlı yeraltı araştırmalarında günümüzde elektrik resistivite tomografi yaygın şekilde kullanılmaktadır. Son 20 yıl içerisinde bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesine bağlı olarak resistivite veri toplama sistemleri de gelişmiştir. Sistem içerisinde; resistivite cihazı, bilgisayar, elektrotları denetleyen bir anahtar devre, elektrot kabloları, bunların bağlantıları ve elektrotlardan oluşur (Van Overmeeren ve Ritsema, 1988; Griffiths ve diğer., 1990; Griffiths ve Barker, 1993; Dahlin, 2001). Elektrot aralıkları araştırmanın amacına bağlı olarak düzenlenmektedir. Çalışmalar sırasında elektrotların bağlandığı kablolar çalışma alanına serildikten sonra, elektrotlar yere çakılır ve kablolar elektrotlara bağlanarak sistem ölçüme hazır duruma getirilir. Ölçümler istenilen dizilim türleri için kısa süre içinde gerçekleştirilir ve ölçüm hattı bir sonraki hatta kaydırılır. Böyle bir sistemi oluşturan ana elemanlar ve ölçüm sistemi Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Çok-kanallı elektrik resistivite verisinin Wenner dizilimine göre toplanması (Griffiths ve Barker, 1993).

Jeofizik çalışmalarda düz-çözüm ve ters-çözüm olmak üzere iki modelleme türü kullanılmaktadır. Düz-çözüm modelleme tekniği ile yeraltının fiziksel koşullarına benzetilen model ile bu modelin yüzeyde oluşturacağı model yanıtı belirlenmeye çalışılmaktadır. Geometrik ve fiziksel parametrelerden oluşan yeraltı modeli araştırma sorunlarına göre belirlenmekte ve bunlara ek olarak düz-çözüm işlemine tanıtılan başlangıç değerleri ve sınır koşulları ile matematiksel bir fiziki model oluşturulmaktadır (Canitez, 1997). Analitik, integral ve sayısal yöntemler kullanılarak model yanıtı elde edilmekte ve böylece 1, 2 ve 3 boyutlu düz-çözüm modelleri elde edilebilmektedir. Ölçülen veriden yeraltını oluşturan modele ait parametrelere ters-çözüm yöntemi ile ulaşılmaktadır. Ters-çözüm işlemi, düz-çözüm işlemi sonucu kuramsal modelden elde edilen yapay veri ile ölçülen verinin karşılaştırılması ilkesine dayanmaktadır. İki veri arasındaki yanılığı en küçük yapan modelin yeraltını temsil ettiği kabul edilir. Ters-çözüm işleminde birden fazla kuramsal modele ait yapay verinin denenmesi gerektiğinden, bu işlemler yinelemeli bir yol ile yapılmaktadır (Berge, 2011). Başlangıç parametrelerinde tanımlanan yineleme sayısı ve çıkışma ölçütlerine bağlı olarak işlem sonlandırılır.

Elektrik resistivite ters-çözüm teknikleri, yinelemeli olarak eldeki görünür resistivite verisi ile hesaplanan görünür resistivite verisi arasındaki farkın bir ölçütü olan veri RMS uyumsuzluk değerini en küçükleyerek verilen bir başlangıç modelini iyileştirmeye çalışır. Hesaplanan görünür resistivite verisi ile eldeki görünür resistivite verisi arasındaki farkları en aza indirmek için yapılan yineleme işleminin sayısı, ön kestirim değerlerinin gerçeğe yakınlığı ve verinin gürültü içeriği ile ilişkilidir. Ters-çözüm sonucunun farklı yeraltı modellerinin aynı model tepkisine ulaşması (çözümün tekil olmaması), model seçimi veya ön kestirim değerlerinin gerçeğe yakın olmaması, kullanılan farklı ters-çözüm parametrelerine (kullanılan çözüm tekniği, sönüm faktörü vb.) göre farklı sonuçların elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı çözümden uzaklaşmaktadır (gerçek yer altı modeline yaklaşıp yaklaşmama durumu). Bu nedenle, jeolojik koşullar çerçevesinde kabul edilebilir bir çözümün bulunabilmesi ve yeraltının gerçekçi temsili için model seçimi oldukça önemlidir. Bunun için sentetik yeraltı modelleri oluşturarak, bu modellerin düz-çözüm hesaplaması sonucunda elde edilen görünür resistivite verilerini tersçözüm

işlemine girdi olarak vermek ve işlem sonuçlarını tasarlanan sentetik model ile karşılaştırarak uygun çözümü elde etmek gerekir. Yöntemin değişik algoritmalar ve yeraltı modelleri için sınanması ve farklı elektrot dizilimlerine bağlı olarak soruna yaklaşımı üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Sasaki, 1992; Olayinka ve Yaramancı, 2000; Candansayar ve Başokur, 2001; Dahlin ve Zhou, 2004; Drahor ve diğer., 2004, 2005).

ERT çalışmaları sonucunda elde elden ters-çözüm modellerinde görüntü kalitesini artırmak ve veri kayıplarından kaynaklı model darlığını gidermek amacıyla DOI (dept of investigation-araştırma derinliği) indeks çalışması değerlendirme aşamasında başlangıç modeli olarak tanımlanmıştır. Bu alandaki ilk tanımlar Oldenburg ve Li tarafından 1999 yılında verilmiş ve ilk çalışmalar Marescot ve diğerleri tarafından 2003 yılında yapılmıştır. Q_A ve Q_B gibi iki farklı model olması durumunda, modelin her bir hücresi için DOI indeks (R) hesabı aşağıdaki 3.6 bağıntısı yardımı ile yapılmaktadır (Oldenburg ve Li, 1999).

$$R_{AB}(x, z) = \frac{q_A(x, z) - q_B(x, z)}{q_A - q_B} \quad (3.6)$$

DOI indeksli ve standart yineleme sonucu endekslerin sıfıra yaklaşması ve modellerin benzer elektrik resistivite değerlerini üretmesi beklenmektedir. Fakat modelin DOI indeks uygulanmış bölümleri araziden toplanan veri kadar duyarlı değildir. İki başlangıç modelinin seçimi ve sönümlenme faktörünün etkisini azaltmak için 3.7 bağıntısında R_{max} kullanılarak elde edilen maksimum R_{AB} değeri ile DOI indeks normalleştirilebilmektedir.

$$R(x, z) = \frac{q_A(x, z) - q_B(x, z)}{R_{max}(q_A - q_B)} \quad (3.7)$$

Sıfıra yaklaşan DOI indeks değerleri ile yüksek duyarlık değerleri korale edilmektedir. DOI indeks değeri 0,1'den büyük seçilen modeller için düşük duyarlık değeri sunan alanlarda ters-çözüm sonucu elde edilen görüntüde yer alacağından

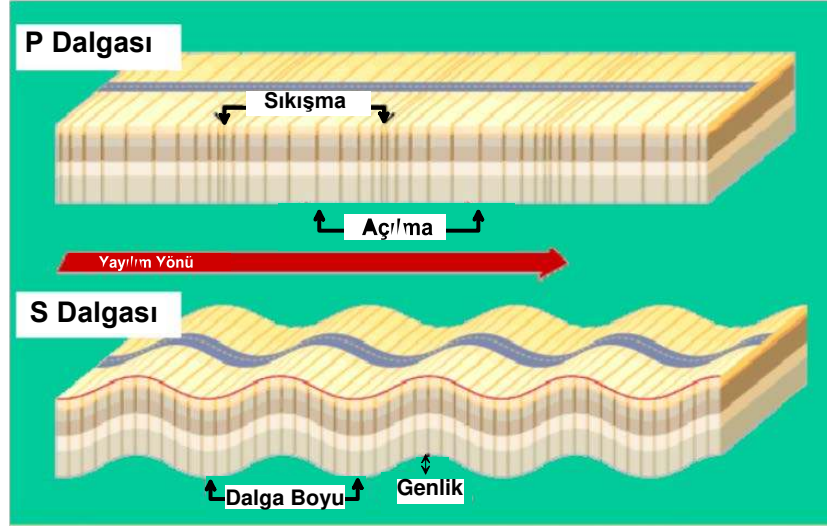
düşük duyarlık değerli alanların yorumlamalarına dikkat edilmelidir (Marescot ve diğer., 2003; Oldenburg ve Li, 1999, Robert ve diğer., 2011).

3.1.2 Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) Yöntemi

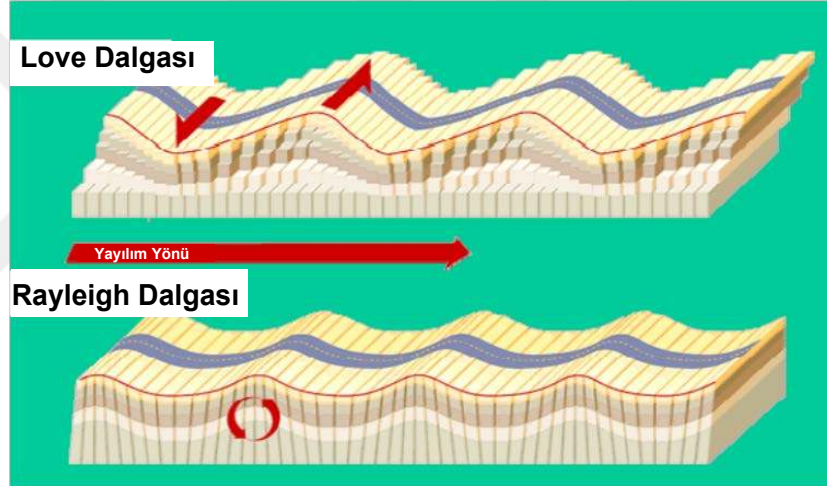
Deprem dalgalarının kayıt edilmesiyle ortaya çıkan iki tür sismik dalga vardır. Bunlar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sismograflara ilk olarak cisim dalgaları ve sonrasında yüzey dalgaları ulaşır (Şekil 3.6). Cisim dalgaları kendi içerisinde P ve S olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 3.7). İlk dalga olan P (Primary, Pressure), yayılım doğrultusunda küresel olarak hareket eden ve uzak mesafelere ulaşan bir dalgadır. P dalgasını ikincil olan S (Secondary, Shear) dalgası izler. Hareket dalga hareketine dik doğrultudadır ve birbirine paralel olan bu dalgalar hareket yönünde polarize olmuş dalgalardır. Bu dalga sıvı ortamlarda yayılım göstermez. Yüzey dalgaları da kendi içerisinde Love ve Rayleigh olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.8). Love dalgası kesme dalgası yatay bileşeninin (SH) hava-yer ara yüzeyinde oluşmakta ve yayılma doğrultusuna dik ve yatay yönde bir titreşim hareketi yapmaktadır. Rayleigh dalgası yerin serbest yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Rayleigh dalgası sıkışma dalgası (P) ve kesme dalgası (SV) dalgalarının girişimiyle oluşmakta ve elips şeklinde hareket yönünün tersinde ve yayılım doğrultusunda hareket etmektedir (Xia ve diğer., 2004). Rayleigh dalgasının bu hareketine retrograde hareket denir ve bu hareket belirli bir derinliğe kadar geçerlidir. Belirli bir derinlikten sonra prograde hareket etmektedir (Şekil 3.9).



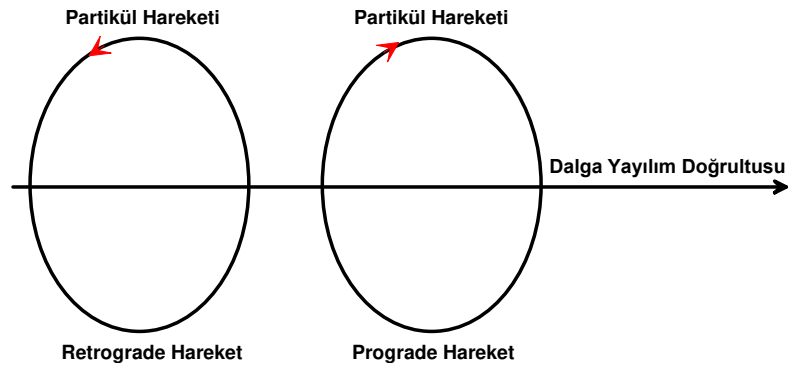
Şekil 3.6 Sismik dalgaların yeraltında ilerleme görüntüsü.



Şekil 3.7 P ve S dalgalarının ilerleme şeklini gösteren görüntü (Bolt, 1976).



Şekil 3.8 Love ve Rayleigh dalgalarının ilerleme şeklini gösteren görüntü (Bolt, 1976).



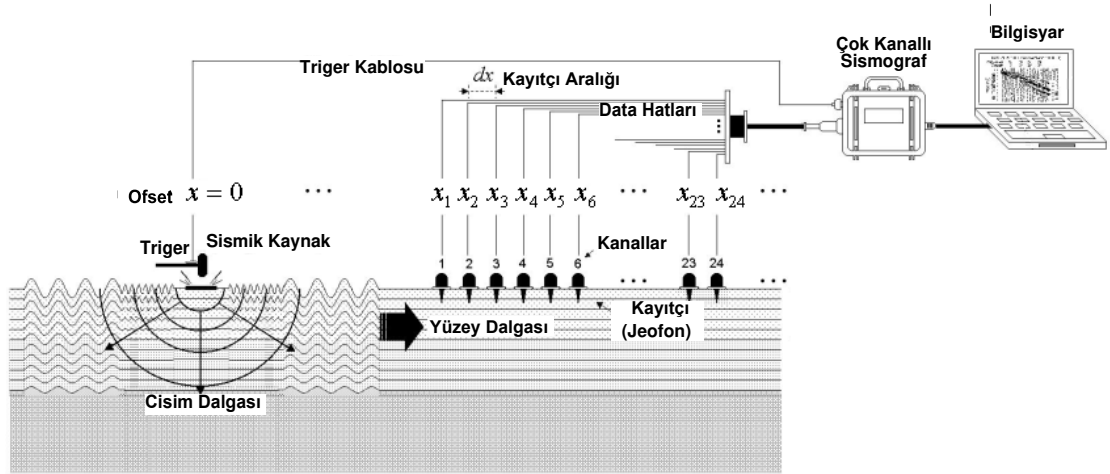
Şekil 3.9 Homojen yarı sonsuz ortamda Rayleigh dalgasının retrograde ve prograde hareketi.

Rayleigh dalgalarının yayılım hızı (VR), kayma dalga hızına (VS) oldukça yakındır (Richart ve diğer., 1970). Poisson oranına bağlı olarak bu değerler $VR = 0,87*VS$ ve $VR = 0,96*VS$ aralığında değişmektedir. Yüzey dalgalarının genliğinin cisim dalgalarının genliğinden daha kuvvetli olması yüzey dalgalarının enerjilerinin çok hızlı kaybolmasına neden olmaktadır (Bullen, 1985). Yüzey dalgalarının bir diğer özelliği tabakalı ortamlarda dispersiyona uğramalarıdır. Bu durum dalga hızının periyoda bağlı olarak değişim göstermesidir.

Sismik yöntemler kendi içerisinde pasif ve aktif kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Pasif kaynaklı yöntemler kaynağın kullanıcının kontrolünde olmadığı yöntemlerdir. Mikrotremör Yöntemi (*Microtremor Array Measurement;MAM*), rüzgar, yağmur, deniz dalgaları ve atmosfer basınç dağılımı gibi doğal olaylardan veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan, periyotları 0,005-2 saniye aralığındaki titreşimleri kaynak olarak kullanmaktadır. Aktif kaynaklı yöntemler ise kaynağın kullanıcı tarafından kontrol edildiği yöntemlerdir. Aktif kaynaklı yöntemler Durağan Rayleigh Dalgası Yöntemi (*Steady State Rayleigh Wave;SSRW*), Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi Yöntemi (*Spectral Analysis of Surface Wave;SASW*) ve Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yöntemi (*Multi-channel Analysis of Surface Wave;MASW*) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Yüzey dalgasının çok-kanallı analizi (MASW) yöntemi, Park ve diğer., (1999) tarafından geliştirilen ve günümüzde özellikle jeoteknik ve mikrobölgeleme araştırmalarında yaygın bir kullanıma sahip olan bir sismik yöntemdir. Sismik yöntem yeraltına bir kaynaktan gönderilen akustik dalganın yeraltında bulunan jeolojik formasyonlar arasındaki ara yüzeylerinde (süreksizlik) oluşan yansıma ve kırılmaların (iletimlerin) yeryüzünde zamana bağlı olarak kayıt edilmesi ve böylece ortaya çıkan sismik hızlardan ortamın hız dağılımlarının belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Snell yasası optikte kullanıldığı gibi sismik dalga yayılımında da kullanılmaktadır. Snell yasanına göre farklı iki ortam ara yüzeyine gelen ışın yansıyan ve kırılan olmak üzere iki farklı özellik göstermektedir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde farklı ortam ara yüzeylerinden yansıyan dalgalar kullanılarak yeraltı modellemesi yapılmaktadır. Yapay kaynak kullanılarak deprem enerjisinin üretmiş olduğu akustik dalgaya benzer bir çalışma yürütülmektedir. Enerji kaynağı oluşturabilmek için darbe, ağırlık

düşürme, patlatma, sarsıntı-vibro gibi sistemler kullanılmaktadır. Yüzey dalgalarının yer içerisinde dağılımı frekansa, faz hızına ve ortam yoğunluğuna bağlıdır. Bu üç faktör dispersiyon eğrisinin tespitinde doğrudan ilişkilidir ve kayma dalgası hızının tespitinde önemli rol oynamaktadır (Xia ve diğer., 1999).

Basit anlamda alıcı, verici ve bir kayıtçıdan oluşan ölçüm sistemi içerisinde yeryüzüne belirli aralıklarla yerleştirilen jeofonlar (alıcı), çok kanallı sismograf (kayıtçı) ve balyoz (kaynak) kullanılmaktadır (Şekil 3.10). MASW çalışmalarında kullanılan jeofonlar 4,5-10 Hz'lik düşey jeofonlardır. Ölçümler sırasında sismografa bağlı bir bilgisayar yardımıyla ölçüme uygun giriş parametreleri ve vuruş sonrasında kayıt kalitesi incelenebilmektedir. Elde edilen kayıtlar zaman-derinlik ekseninde gösterilir. MASW yöntemiyle yüzey dalgalarından elde edilen veriler üzerinden dispersion eğrisinin belirlenmesi ve ters-çözüm tekniği ile yeraltının kesme dalgası hız (Vs) dağılım kesiti elde edilir. Derinliğe bağlı sismik hız kesitleri elde edebilmek amacıyla farklı dalga boylarında kaydedilen yüzey dalgaları analiz edilir.



Şekil 3.10 Yüzey Dalgasının Çok-Kanallı Analizi (MASW) yönteminin veri toplama uygulaması gösterimi (MASW, b.t).

Yeraltı modelinin yüksek çözünürlükte belirlenebilmesi yeterli bir kaynak kullanımı, jeofon aralığı, kanal sayısı ve doğru dispersiyon eğrisinin belirlenmesine bağlıdır. Veri içerisinde bazı durumlarda tekrarlı yansımalar da elde edilebileceği için doğru yeraltı modelini oluşturabilmek için dispersiyon eğrisinin seçiminin

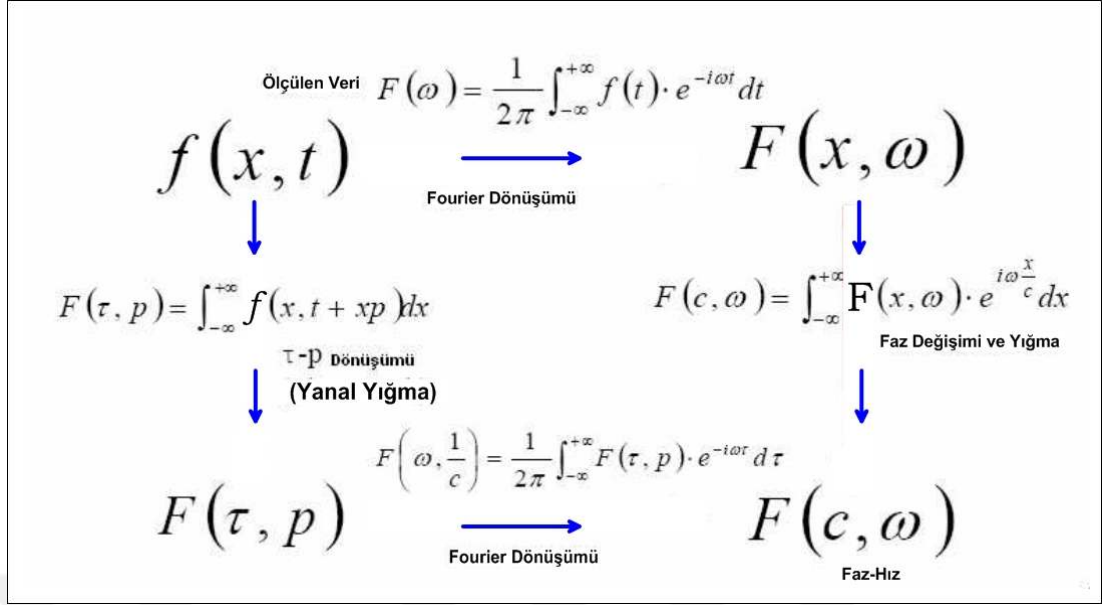
yapılacağı frekans aralığı oldukça önemlidir ve doğrudan ters-çözüm işlemi sırasında frekans ve faz hızını doğrudan etkilemektedir. Yüksek çözünürlükte bir yeraltı kesiti elde edebilmek amacıyla jeofon aralığının (dx) küçük olması gerekmektedir (Park, 1995). Ölçüm çalışmaları sırasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da ofset mesafesinin doğru ayarlanmasıdır. Ofset mesafesinin doğru ayarlanamamasına bağlı olarak veride yakın kaynak etkisi meydana gelmektedir. Bu etkinin yok edilebilmesi için ofset aralığı,

$$dx \geq (0,5) \cdot Z_{\max} \quad (3.6)$$

seçilmelidir (Stokoe ve diğer., 1994).

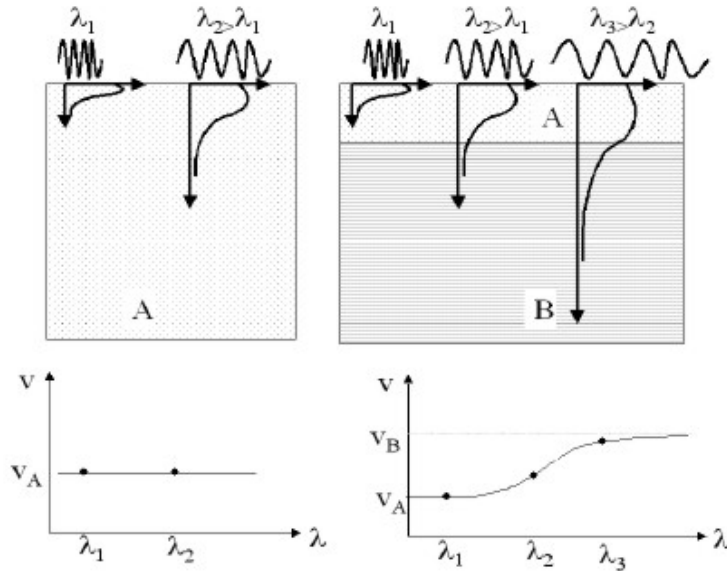
Yakın kaynak etkisi giderilmediği takdirde Rayleigh dalgası yatay seyahat eden hava dalgası gibi bir davranış sergiler (Richard ve diğer., 1970). Sismik enerjinin yer içindeki seyahati sırasında yüksek frekanslı yüzey dalgası kaynaktan uzaklaştıkça hızlı bir şekilde sönümlenir (Bullen, 1985). Ofset mesafesinin büyüklüğüne bağlı olarak yüksek frekanslı sismik dalganın enerjisi sönümleneceği için spektrumun yüksek frekans bölümünde baskın hale gelmeyecektir.

Yüzey dalgasının çok kanallı analizi yönteminin veri-işlem adımları dispersiyon eğrisinin seçimiyle başlamaktadır. Dispersiyon eğrisini oluşturmak için öncelikle uzaklık-zaman ortamında kaydedilen veriye dalga alanı dönüşümü uygulamak gerekmektedir. Çok kanallı toplanan verinin $U(x,t)$ zaman-uzaklık ortamından, $(f-k)$ frekans-dalgasayısı ortamına aktarımı aşağıdaki şemada verilen Fourier dönüşümü ile sağlanır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Faz hızı hesabı (Hayashi, 2003)

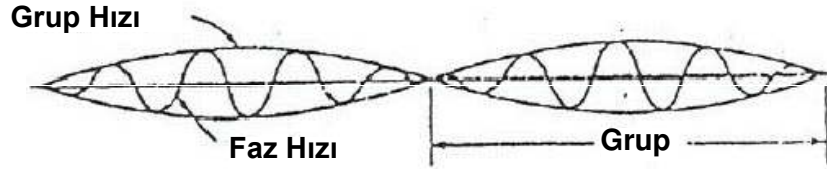
Yeraltında farklı özelliklere sahip tabakalardaki sismik dalgaların farklı hız ve dalga boylarında yayılmasına geometrik dispersiyon adı verilir (Şekil 3.12), (Strobbia, 2002; Socco ve Strobbia, 2004).



Şekil 3.12 Homojen ortamda faz hızı sabit (A), derinlikle homojen ortamda faz hızının dalga boyuyla değişimi (B) (Socco ve Strobbia, 2004)

MASW yönteminde dispersiyona bağlı olarak iki tür hız ortaya çıkar. Farklı frekanstaki dalgaların farklı fazlarda ilerlemesi sonucu dalgalar üst üste biner ve bu

durum dalga treni olarak adlandırılır. Dalga treni üzerinde bulunan herhangi bir noktanın ilerleme hızına faz hızı (c) ve dalga treninin ilerleme hızına da grup hızı (U) denir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Farklı frekans ve fazlı iki harmonik eğrinin toplamından oluşan dalga treni.

Frekans-dalga sayısı (f - k) ortamına aktarılan veri üzerinden dispersiyon eğrisinin elde edilmesi için;

$$c(w) = \frac{w}{kw} \quad (3.7)$$

bağıntısı kullanılır. Bağıntıda w açısal frekans ve k frekansa bağlı dalga sayısıdır.

Dalga treninin yapıcı girişimi sonucu dispersif özellik gösteren grup hızı,

$$U(w) = \frac{\partial w}{\partial k} \quad (3.8)$$

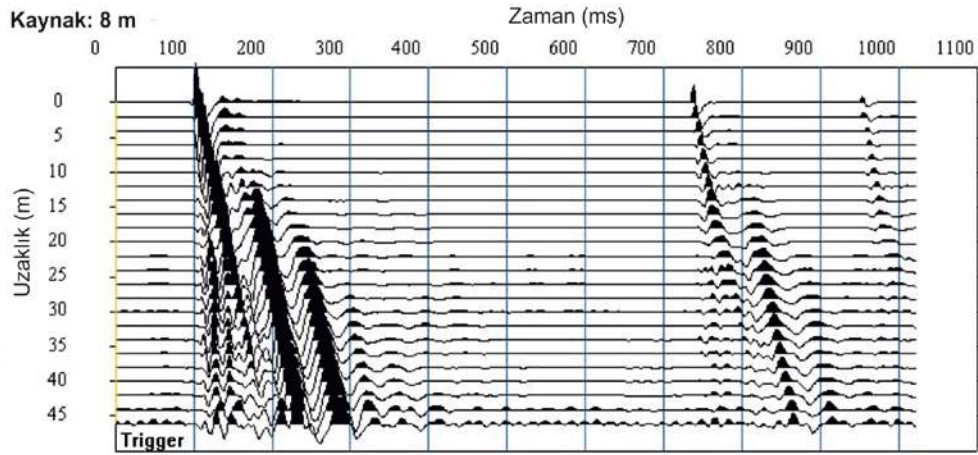
ile hesaplanır. Faz hızı ve grup hızı arasındaki ilişki ise,

$$U(w) = c(w) - \lambda \frac{\partial c(w)}{\partial \lambda} \quad (3.9)$$

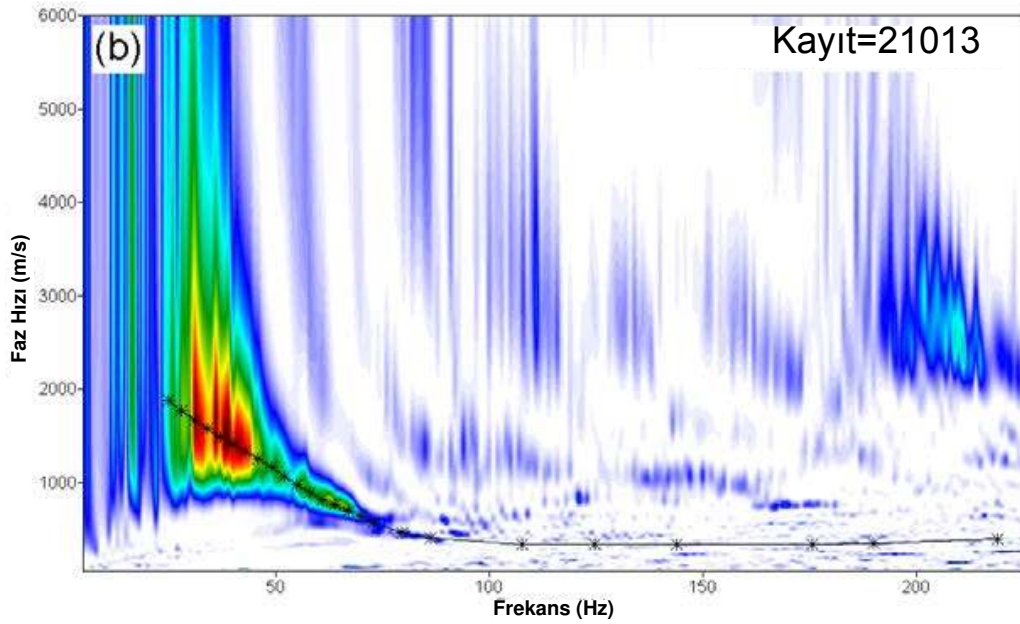
ile gösterilir. Burada U grup hızı, c faz hızı, λ dalga boyudur. Grup hızı faz hızından her zaman küçüktür.

MASW uygulamaları kullanılan cihazın kanal sayısına bağlı olarak 4,5-10 Hz'lik jeofonların bu kanallarla bağlanması ile yapılmaktadır. Toplanan veriler zaman-uzaklık ekseninde görüntülenir (Şekil 3.14). Eğer vuruşlar belirli ofsetler yardımıyla baş ve sondan yapılırsa tek boyutlu bir sonuç üretilir. Ancak tüm jeofonların

arasından yapılan vuruşlarla iki boyutlu yeraltı kesme dalgası modeli üretmek olanaklıdır. Elde edilen veriler ön proseslerden geçirildikten sonra, Şekil 3.15’de verilen dispersiyon eğrileri elde edilir. Dispersiyon eğrilerinden yararlanılarak yapılan ters-çözüm işlemleri sonucunda yeraltının derinliğe ve tabaka sayısına bağlı olarak Vs hız değerleri saptanır (Şekil 3.16). İki boyutlu toplanan veriler ise yapılan ters-çözüm işlemlerinden sonra iki boyutlu görüntülenerek, yeraltının iki boyutlu Vs hız dağılım kesitleri elde edilir (Şekil 3.17).



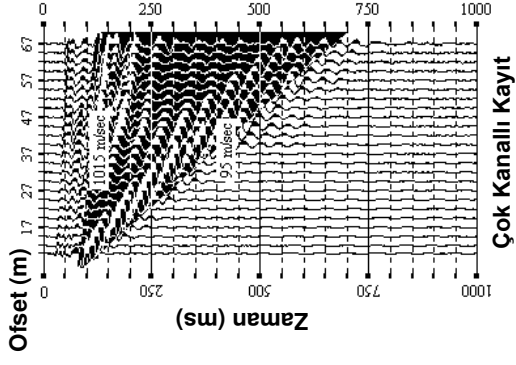
Şekil 3.14 Örnek MASW kayıt görüntüsü.



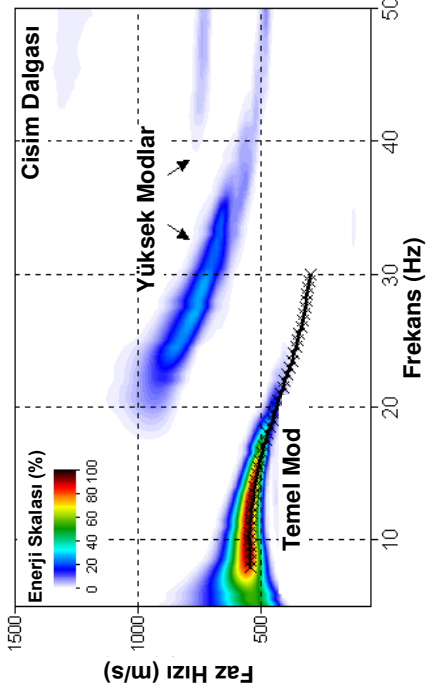
Şekil 3.15 Örnek dispersiyon eğrisi grafiği (Park ve Miller, 2005).

Veri İşlem Adımlarının Basitleştirilmiş Gösterimi

Kaydedilen Yüzey Dalgası

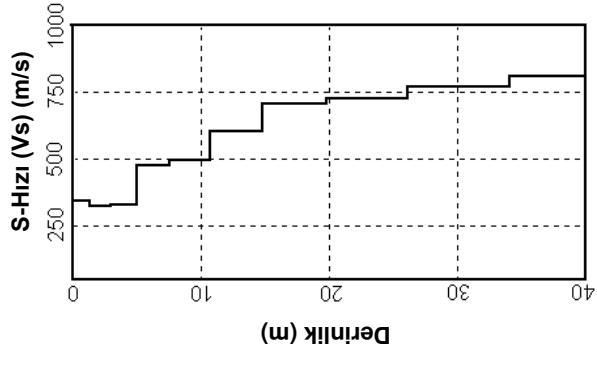


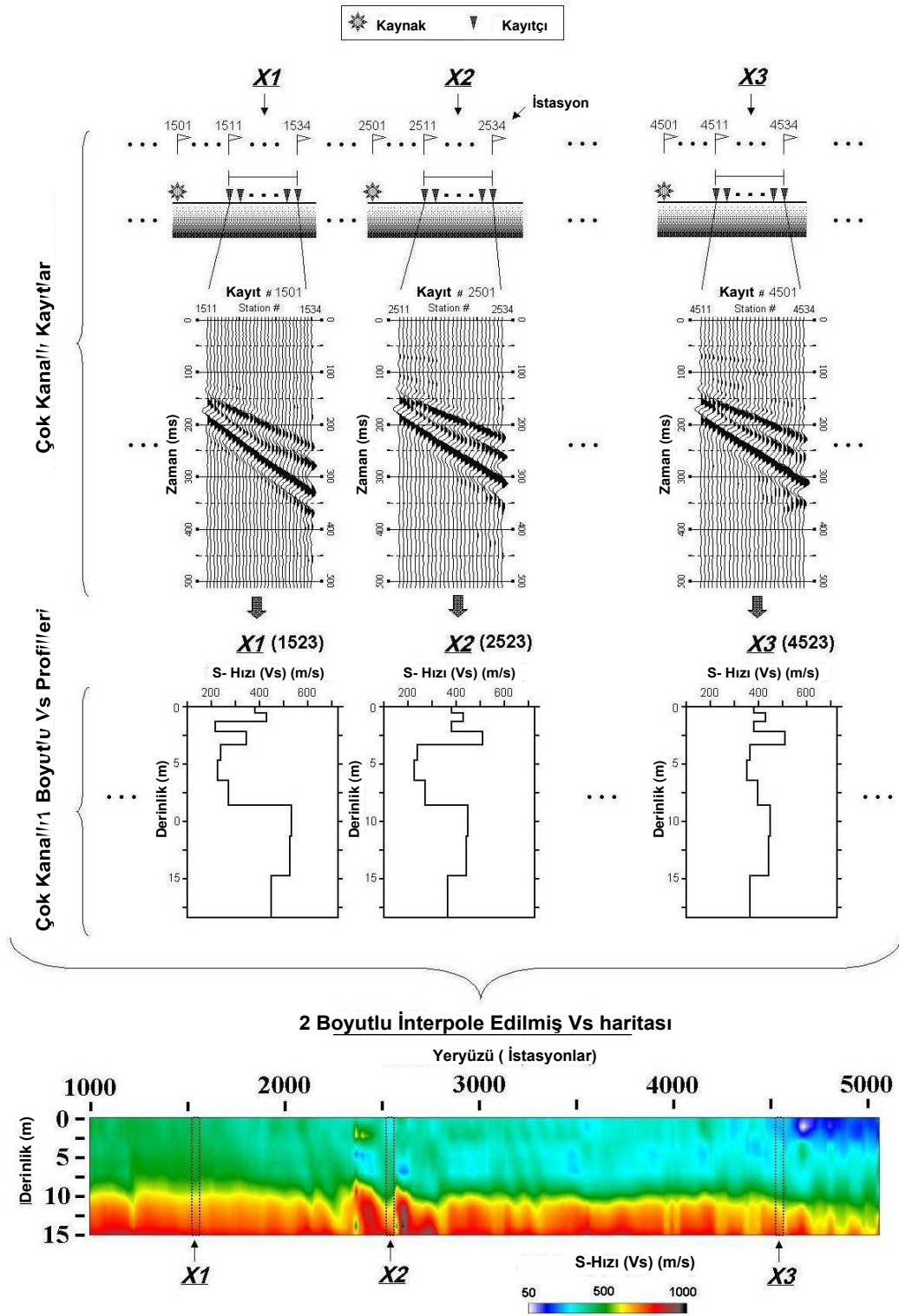
Elde Edilen Dispersiyon Eğrisi



A : 2 Boyutlu Dalga Dönüşümü
B: Ters-çözüm

1 D S Hızı (Vs) Profili





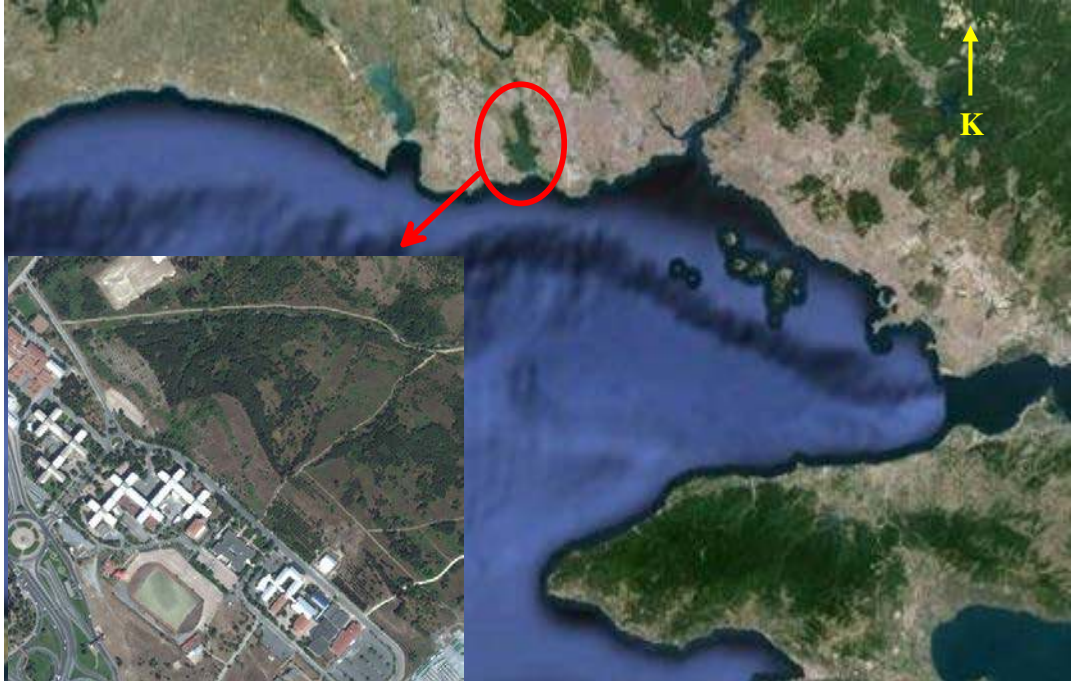
Şekil 3.17 İki boyutlu MASW hız dağılım kesiti (Park ve Miller, 2005).

BÖLÜM DÖRT

ARAŞTIRMA ALANI VE JEOLojİ

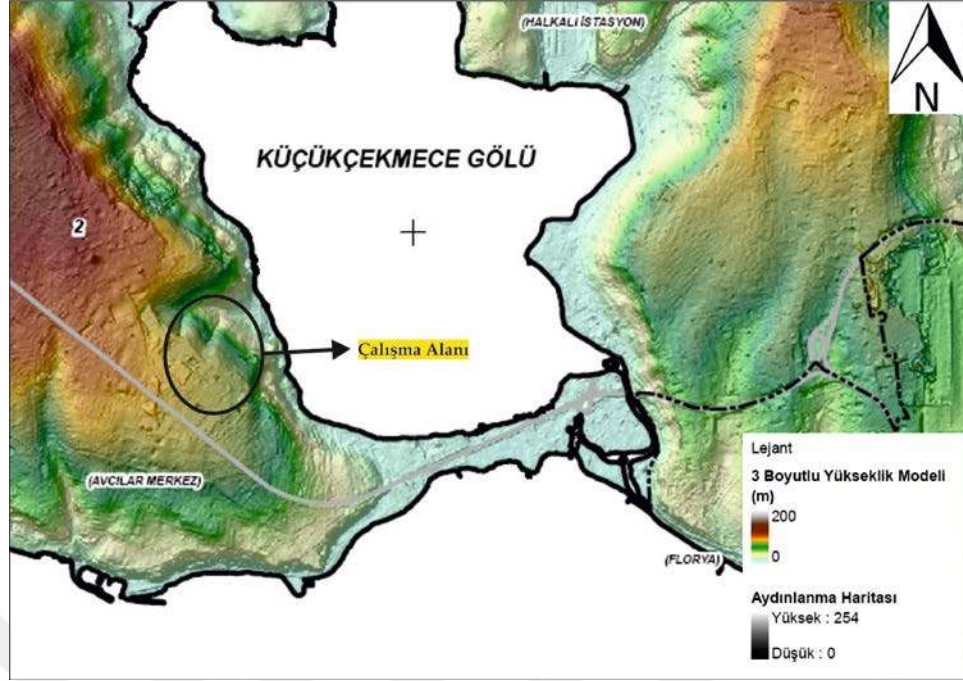
4.1 Araştırma Alanının Yeri ve Jeomorfolojik Özellikleri

Araştırma alanının yer bulduru haritası Şekil 4.1’de verilmektedir. Bu haritadan da görülebildiği gibi araştırma alanı İstanbul ilinin Küçükçekmece gölünün batısında Avcılar ilçesinde bulunmaktadır. İstanbul’un Avrupa yakasında Küçükçekmece göl alanı sınırları içinde bulunan ve İstanbul’a 27 km uzaklıkta, İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesinin içinde eğimli bir arazide gelişen heyelan sahası birçok yayın ve raporda İstanbul’un önemli heyelan sahalarından biri olarak adlandırılmaktadır. Özellikle Yerleşke alanı ile göl arasında önemli bir yükselti bulunmaktadır ve bu bölüm İstanbul’daki heyelanlı yapılardan biridir. Yerleşke alanı günümüzde genel olarak düz olmakla birlikte, bazı verilere göre yerleşke öncesi bu alanın yüzeyinin hafif ondülasyonlu bir yapı sunduğu hakkında bazı veriler mevcuttur.



Şekil 4.1 Avcılar ilçesi ve araştırma alanının uydu görüntüsü

Şekil 4.2’de İstanbul’un Avrupa yakasının topoğrafyasını gösteren bir görüntü verilmektedir. Proje alanının birkaç km güneyinde Marmara denizi bulunmaktadır ve İstanbul’un Avrupa yakası doğu-batı doğrultusunda bir uzanıma sahiptir. Bu nedenle kuzeyden güneye uzanan vadiler ve ayrılan pek çok sırt bu bölüm içinde bulunmaktadır. Bu vadilerden birinde de Küçükçekmece Gölünün bulunduğu kısımdır. Göl vadi içine yerleşmiştir ve gölün doğu ve batı kenarları sırtlarla çevrilidir. Araştırma alanı batı sırtında ve gölün güneybatısında bulunmaktadır. Bu kısımda yükseklik yaklaşık olarak deniz düzeyinden 100 ile 125 m arasında bir değişim göstermektedir. KB-GD yönlü bir uzanıma sahip olan ve heyelanlı bir karakter gösteren tepe doğuya doğru önemli bir topoğrafik azalmaya uğramaktadır ve bu kesimde eski heyelanların izleri açık olarak izlenmektedir. Genelde Bakırköy kireçtaşı ile kaplı düzlüğün bu katmanın tortu düzlüğü olduğu düşünülmektedir. Başlangıçta yatay biçimli olduğu düşünülen bu düzlükler, zamanla deniz seviyesi değişimleri ve tektonik olgulara bağlı olarak eğimli bir duruma gelmiş olmalıdırlar. Böylece bu süreçte kuzeyden güneye akarsular boyunca ortaya çıkan vadilerden birine yerleşen göl sahası zaman içinde oluşan erozyonlarla birlikte heyelanlı bir yapıya kavuşmuş olmalıdır. Ayrıca gölün ve çevresindeki yapıların uzanımları burada KG-GD ve KD-GB ile D-B yönlü faylarında bulunabileceğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedirler. Bu tür kırılanmaların da buradaki heyelan oluşumunda etkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.2 İstanbul Avrupa Yakasının topoğrafya görüntüsü. Proje alanı yuvarlak daire içinde görülmektedir (İBB, 2007).

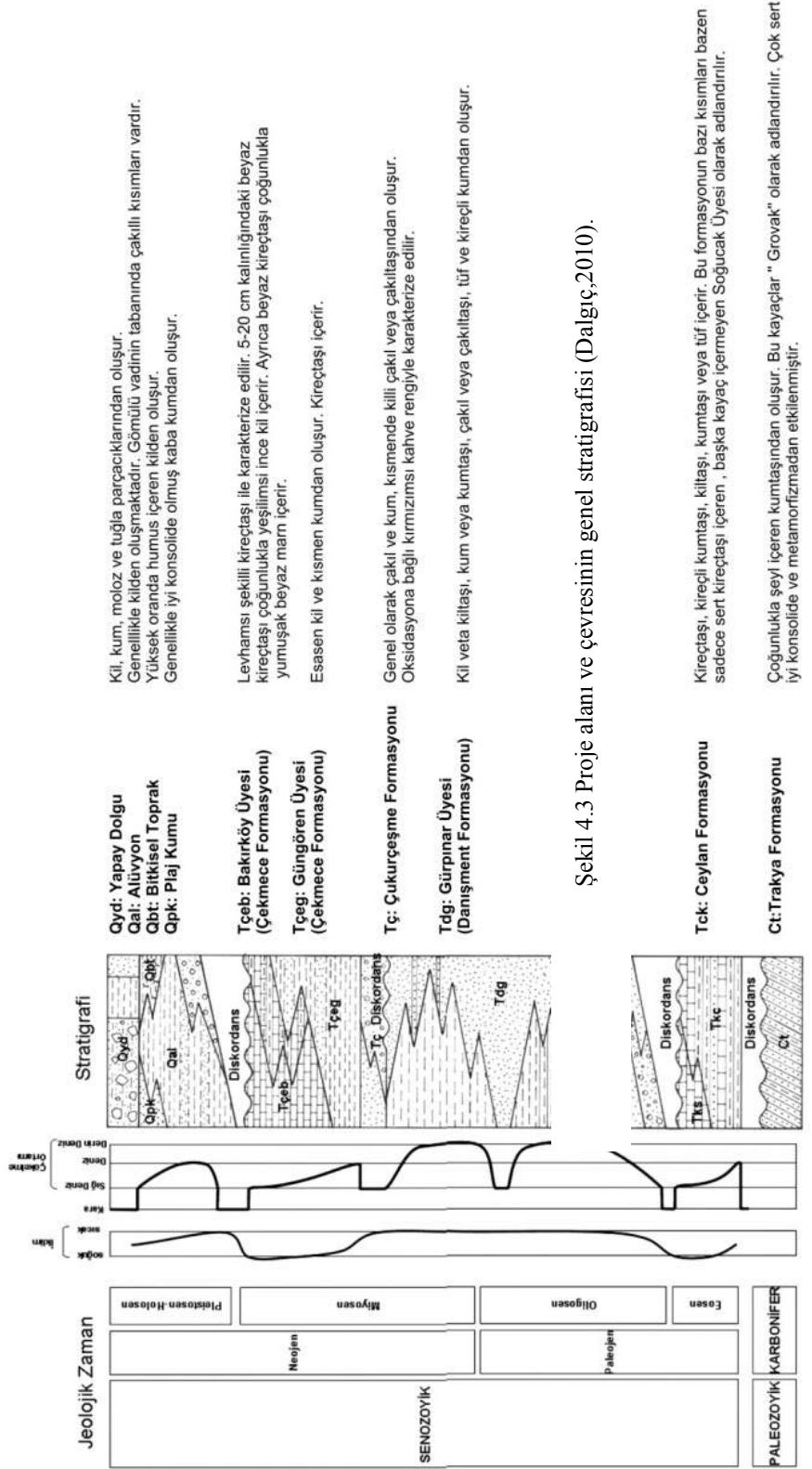
4.2 Jeoloji

4.2.1 Genel Jeoloji

Araştırma alanı ve çevresinde yapılan genel jeoloji çalışmaları değişik dönemlere ilişkin farklı istiflerin varlığını ortaya koymaktadır. Bu alanda yegâne Paleozoik istif Trakya Formasyonu'dur. Litolojide bu katman, üst katmanlardan oldukça farklı bir özellikte olduğundan, kolayca tanımlanabilmektedir. Ceylan Formasyonu ise stratigrafik olarak Trakya Formasyonunu örter ve bu formasyonun üzerinde de Gürpınar üyesi ya da Güngören Üyesi fasiyesler bulunmaktadır. Bu birimler birbirlerinden kolayca ayrılmaktadırlar. Soğucak Üyesini tanımlayan kireçtaşının Ceylan Formasyonu ile iç içe bulunması, bu formasyonunda Ceylan Formasyonu ile birlikte gösterilmesi daha doğru olacaktır. Genellikle kilden oluşan Danişment Formasyonu (Gürpınar Üyesini içeren) çalışma alanının batısında Büyükçekmece Gölünün batı kısımlarında tepelik alanlarda yaygın bir dağılım göstermektedir. Danişment Formasyonu'nun üzerinde ise genel olarak kum ve çakıldan oluşan Çukurçeşme Formasyonu bulunmaktadır. Ağırlıklı olarak kilden oluşan Güngören

Üyesi ve üstündeki kireçtaşı ya da marn dan oluşan Bakırköy Üyesi proje alanının ana birimleridir. Genelde yatay ya da yataya yakın konumda bulunan Bakırköy formasyonunun altında Güngören üyesi killeri yer almaktadır. Proje alanı ve çevresindeki genel stratigrafiyi gösteren kolon kesit ve jeolojik zaman kesiti Şekil 4.3’de verilmektedir.

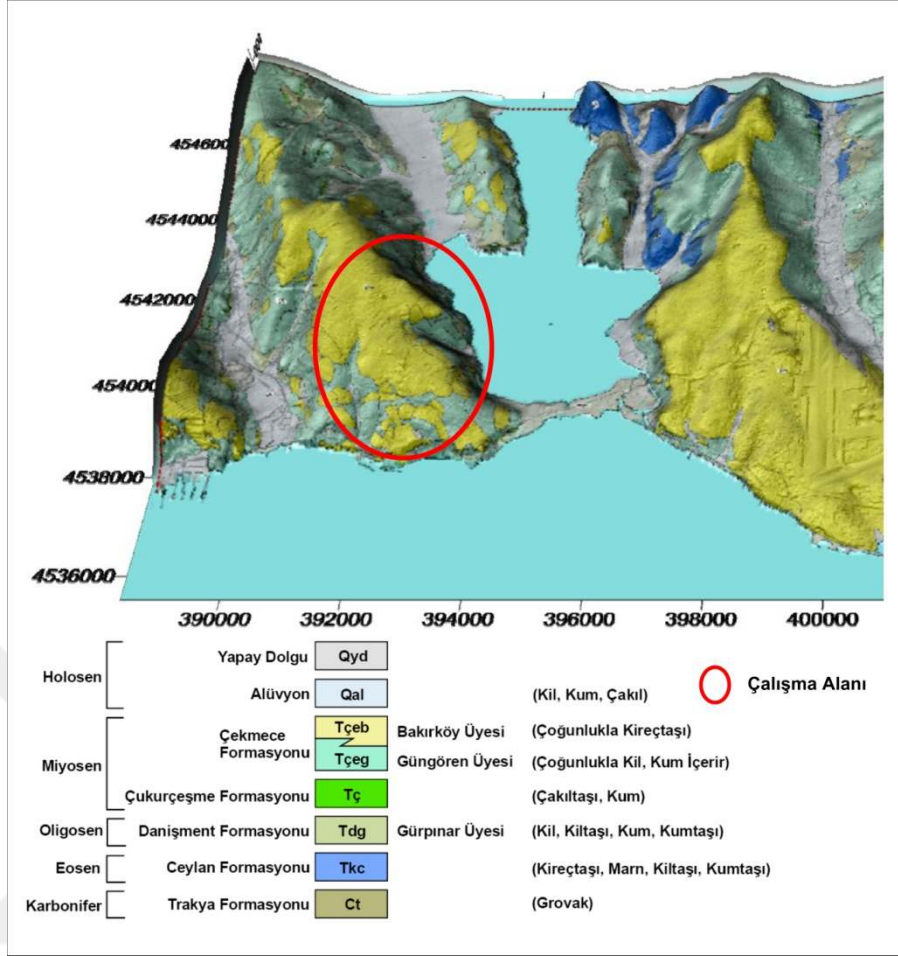




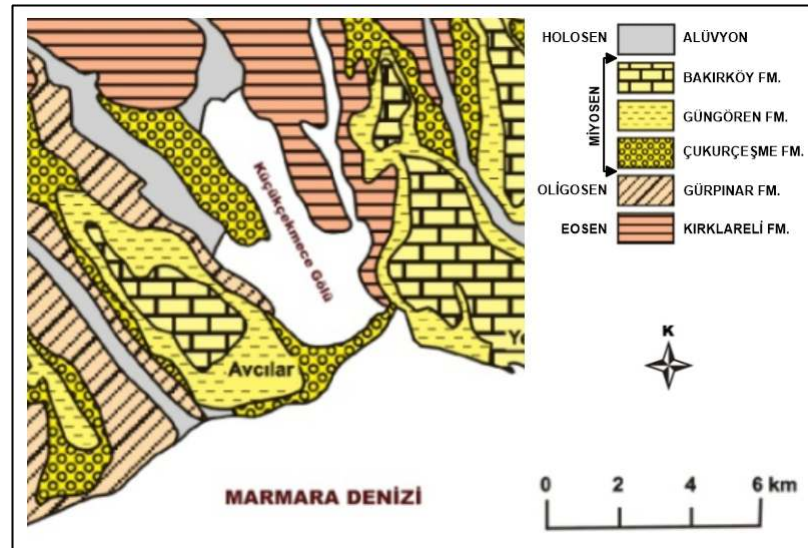
Şekil 4.3 Proje alanı ve çevresinin genel stratigrafisi (Dalgıç,2010).

4.2.2 Araştırma Alanının Jeolojisi

Şekil 4.4’de Küçükçekmece gölü çevresinin jeolojisi kuş bakışı görüntü ile verilmektedir. Proje alanı burada daire ile çevrelenmiştir. Şekilden de görülebildiği gibi araştırma alanında üç ayrı birimin varlığı görülmektedir. Bunlardan en üstte yapay dolgu ve alüvyon bulunmaktadır. Çalışma alanında göl yakınında alüvyon ve yerleşke alanında da yapay dolgular vardır. Bu birimin altında Çekmece formasyonuna ilişkin Bakırköy üyesi ve daha altta ise yine Çekmece formasyonunun Güngören üyesi bulunmaktadır. Bakırköy üyesi genelde şevli bir yapıya sahiptir. Bazı araştırmacılar ise çalışma alanı ve çevresinde daha farklı bir istiflenmenin olduğunu göstermektedir (Şekil 4.5). Çalışma alanı bu şekillerden de görülebildiği gibi, Oligosen yaşlı Gürpınar ve Miyosen yaşlı Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonlarından oluşmaktadır. Ayrıca yer yerde Holosen alüvyon bulunmaktadır. Genelde İBB’nin Avrupa yakası çalışması ile büyük benzerlikler taşımakla birlikte, adlandırmalar ve birimlendirmeler de bazı farklılıklar bulunmaktadır. Holosen alüvyon alanın KD’nda dereler yoluyla taşınmış malzeme olarak bulunmaktadır. Bu birim zaman içerisinde denizin alçalması ile oluşan bir istif biçimindedir. Proje alanındaki alüvyon çoğunlukla kilden oluşmaktadır. Gürpınar kumunun gömülü vadilerin çevresinde dağılması da alüvyon içinde bu kum katmanlarının bulunmasına neden olmaktadır. Gömülü vadilerin dipleri kısmen çakıl içermektedir. Bu nedenle alüvyon altında bu birimlerin varlığı da olasıdır. Benzer biçimde özellikle Gürpınar kumundan oluşan kumlar gölün kıyılarında bulunmaktadır. Bunun dışında Holosen içinde oluşmuş bitkisel toprakta alanda yer yer izlenmektedir.



Şekil 4.4 Küçükçekmece gölü çevresi jeolojisinin kuşbakışı görüntüsü (İBB, 2007).



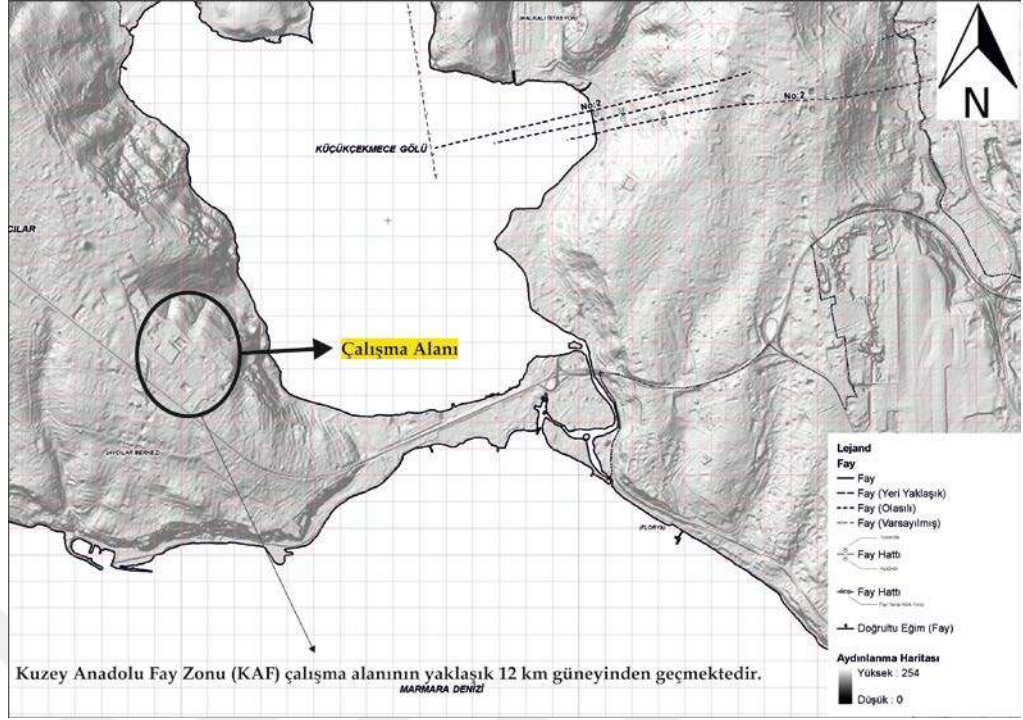
Şekil 4.5 Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (Arınç, 1955; Yalçınlar, 1976; Oktay ve Eren, 1999; Dalgıç, 2004).

4.2.3 Modern Dolgular

Proje alanının güneydoğusu ve doğusunda daha önceki yıllarda yapılan modern dolgular bulunmaktadır. Özellikle eski heyelan alanları modern atıklar ve molozlarla doldurulmuştur. Bunlar kaynağı belirsiz ve özellikle yaygın inşaat atıklarından kaynaklanmaktadır. Bunların üzerinde de dolgu sonrası heyelanın devam ettiğine ilişkin izler görülmektedir.

4.2.4 Yapısal Jeolojisi

Araştırma alanı ve çevresi jeolojik anlamda önemli yapısal öğelerden oluşmaktadır. Çalışma alanının yaklaşık birkaç km kuzeyinde Ceylan formasyonu görülmektedir. Ayrıca yer yer Trakya formasyonuna da rastlanmaktadır. Anakaya Küçükçekmece Gölü'nün doğusunda, kuzeyden güneye doğru eğimlenmektedir. Küçükçekmece Gölünde güneyden kuzeye doğru gölün doğu ve batı yakasındaki büyük bir yükselti boşluğu bulunmasından dolayı, bir fayın var olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca İBB'nin Avrupa Mikrobölgeleme projesi kapsamında yapılan dizilim sondajlarında gölün doğu yakasında pek çok fay bulunduğu hakkında bilgiler mevcuttur. Alanın güneyindeki en büyük tektonik olgu Kuzey Anadolu Fayının varlığıdır. Bu fay alanın yaklaşık 12 km güneyinden geçmektedir ve alan için en büyük jeolojik tehlikedir (Şekil 4.6). Etkinliği son derece yüksek olan bu fay zonunda özellikle belirtilen segment üzerinde uzun yıllardan beri bir kırılmanın olmaması da söz konusu alan için deprem tehlikesini daha da artırmaktadır. Bu anlamda araştırma alanı ve çevresinin aktif tektoniğin etkisi altında olduğu düşünülmelidir.



Şekil 4.6 Araştırma alanı ve çevresinin faylarını gösteren görüntü (İBB, 2007).

4.2.5 Araştırma Alanı ve Çevresinin Tarihsel Jeolojisi

Günümüzden yaklaşık 40 milyon yıl önce Eosen dönem ortalarında Trakya Formasyonu üzerine kil, karboniferik kum, volkanik kül ve kireçtaşı gibi çeşitli birimlerle dolmaktaydı. Bunlar günümüzde Ceylan Formasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bundan 10 milyon yıl sonra Oligosen ortalarında proje alanının bulunduğu bölge yeniden deniz haline geldi ve sığ bir denizel ortam oluştu. Bu süre içinde günümüzde Gürpınar üyesi olarak adlandırılan kum ve kilden oluşan çökeller birikmeye başladı. Daha sonra deniz iyice alçaldı ve ortam nehirlerden gelen çakıllarla dolmaya başladı. Bu çakıllı katmanlar günümüzde Çukurçeşme Formasyonu olarak adlandırılmaktadır. İzleyen dönem olan günümüzden yaklaşık olarak 10 milyon yıl önce ise dereler aşındırdıkları birimlerden dolayı denize yakın bir seviyede denizle birleşti. Azalan enerji, ortamda killi birimlerin oluşmasına neden oldu. Miyosen'in son aşamasında ortaya çıkan bu olgu günümüzde Güngören birimi olarak adlandırılmaktadır. Denizin iyice sığlaştığı bir ortamda kireçtaşı oluşumları başladı. Bol fosil içeren bu sığ denizel ortam yaklaşık 5 milyon yıl önce Miyosen sonu, Pliyosen başında Akdeniz'in göreceli alçalmasından etkilenmişti. Bu ortamda

oluşan kireçtaşları günümüzde Bakırköy yesi olarak adlandırılmaktadır ve Güngören biriminin killi ortamlarının Bakırköy kireçtaşı tarafından kaplanmasına neden olmuştur. Böylece son 40 milyon içinde bölgedeki jeolojik birimler şekillenmiş ve zamana bağlı işleyen süreç içinde erozyon, faylanma ve deniz seviyesi değişimleri ile günümüzdeki durumunu almıştır.



BÖLÜM BEŞ

JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE YORUMLARI

5.1 Amaç, Kapsam ve Veri Toplama

Amaç yukarıda belirtilen heyelan sahasındaki heyelanın geometrisi ve genel karakteristiğini ortaya koymak olduğundan, bu kapsamda alanda elektrik resistivite tomografi, çok kanallı yüzey dalgası analizi ve sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda yürütülen çalışmalarla alanın jeolojik yapısı incelenmiş ve heyelan bulguları elde edilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında 6 hatta ERT ve 12 hatta da MASW tomografi ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca yapılan jeofizik çalışmalar kapsamında alandaki jeolojik yapıyı ortaya çıkarabilmek ve yeraltını ayrıntılı olarak görüntülemek amaçlı yapılan jeofizik sonuçlardaki birimleri adlandırabilmek amaçlı olarak da 18 ayrı yerde mekanik sondaj çalışması yapılmıştır. Elde edilen karotlar sondaj yerlerine bağlı olarak karot kutularına yerleştirilmiş ve bu aşamada fotoğraflama ve sondaj logları oluşturulmuştur. Ayrıca arazi de her sondajda yerinde (in-situ) SPT deneyleri yapılarak, her sondaj noktasındaki derinliğe doğru olan SPT grafikleri oluşturulmuştur. Alanda yapılan çalışmalar, alandan alınan örneklerin laboratuvarında yapılan deneylerle belirlenmesi ile gerekli jeoteknik bilgilere ulaşma olanaklı olmuştur (Geoim, 2014). Jeofizik veriler büro çalışmaları ile ters-çözüm modellemesi anlamında değerlendirilerek, hatların iki boyutlu yeraltı modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller üzerine sondaj logları bulundukları noktaya göre yerleştirilmiş ve alanın böylece ayrıntılı yorumu olanaklı duruma gelmiştir.

ERT çalışmaları Metz SAS 203 mikro işlemcili resistivite cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında 150 m uzunluğunda 2 adet çok kanallı resistivite kablosu, bilgisayar, elektrotları denetleyen bir anahtar devre, elektrot kabloları ile gerekli bağlantılar ve elektrotlardan oluşan bir ekipman kullanılmıştır. Resistivite verileri elektrot aralığı 5 m olacak şekilde iki-boyutlu veri toplama biçiminde Wenner- Schlumberger dizilimi kullanılarak toplanmıştır. Böylece araştırma alanında, 6 ayrı ölçüm hattı üzerinde jeolojik ve jeoteknik amaçlı ERT verisi toplanmıştır. Bu hatlara ait çalışma planı ve hatlar üzerinde yapılan sondaj

lokasyonları Şekil 5.1’de verilmektedir. Uzunlukları en az 100 ve en fazla 600 m arasında değişen ölçüm hatları ile yeraltının 15 metre ile 60 metre derinliğe kadar olan kısımları hat uzunluklarına bağlı olarak görüntülenmiştir.



Şekil 5.1 Elektrik Resistivite Tomografi (ERT) ölçüm hatlarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.

Ölçümlerin değerlendirilmesi aşamasında veriler iki boyutlu ters-çözüm (inversion) yöntemi ile RES2DINV programında değerlendirilerek, hatlara ait iki-boyutlu yeraltı elektrik resistivite modelleri elde edilmiştir.

Proje kapsamında yapılan MASW çalışmalarında 24 kanallı GEOMETRICS ST-NZXP 48 SMARTSEIS cihazı kullanılmıştır. Sistem 24 kanallı 4,5 Hz düşey jeofon takımı, 95 m jeofon kablosu, 12 volt akü ve diğer bağlantı kablolarından ibarettir. Yapılan çalışmada yüzey dalgaları tomografik ölçüm tekniğinde ve her bir hat üzerinde 24 noktada kayıt yapılarak yeraltında bulunan tabakaların iki boyutlu Vs hız görüntülerine ulaşılmıştır. Jeoteknik amaçlı yeraltının dinamik ve elastik parametrelerinin hesaplanması ise elde edilen iki boyutlu Vs hız kesitlerinden değişen bölgeler için yapılan seçimlerle yapılmıştır. Böylece hat üzerindeki değişim oluşturan ortamların hız değerlerine bağlı olarak ortamsal parametreleri saptanabilmiştir. Çalışmada kayıt süresi 1 s ve örnekleme aralığı ise 0,5 ms seçilmiştir.

Sahada gerçekleştirilen MASW alışmaları sonucunda iki boyutlu olarak belirlenen S dalgası hızları yardımıyla, jeoteknik çalışmalarla hesaplanması olası olmayan yerin dinamik ve esneklik özelliklerini ortaya koyan yoğunluk (ρ), maksimum kayma modülü (G_{max}), Young modülü (E_d), Poisson oranı (ν), bulk modülü (K), sismik hız oranı (V_p/V_s) ve V_{s30} (m/s) değeri ayrı ayrı iki boyutlu ortamdaki her bir tabaka için hesaplanmış ve bu değerler iki boyutlu tomografi kesitleri üzerine eklenmiştir.

Araştırma alanında ölçüme uygun 12 ayrı hat üzerinde iki-boyutlu olarak gerçekleştirilen MASW lmleri alanın uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiştir (şekil 5.2). MASW hatlarında jeofon aralıkları hat uzunluklarına bağlı olarak 1,5, 2, 2,5 ve 3 m olacak biçimde tomografik olarak toplanmıştır. Yüzey dalgası analiz yöntemlerinde, yeraltındaki tabakalı yapıların kesme dalgası hızının (V_s) derinlikle değişiminin hesaplanması amacıyla Rayleigh dalgasının dispersif özelliğinden faydalanır. Kayıtları değerlendirmek için SEISIMAGER yazılımının MASW (Multichannel Analysis SurfaceWaves), WaveEq ve Geoplot bölümleri kullanılmıştır. Kayıtlar evresel etkilerin fazla olması sebebiyle öncelikle high-pass ve low-pass filtrelerden geirilmıştir. Geometrik düzenlemesi yapılan veri CMP (Common Mid Point) dosyalarına dönüştürülmüş ve verilere faz hızı–frekans dönüşümü uygulanmıştır. Bu dönüşüm işleminden sonra genlik değerleri değiştirilerek en doğru dispersiyon eğrisi çizimi yapılacak alan bulunmuş ve 12 veriye ait 12 dispersiyon eğrisi seçilmiştir. Her bir hat üzerinde veri-işlem için hazır hale gelen 12 kayıt grup haline getirilerek 2 boyutlu değerlendirme için geometri düzenlemesi yapılmıştır. 12 eğri üzerinde işlem yapabilmek ve model oluşturabilmek için WaveEq programına geçilmiştir. Alanın sondaj verileri ve ERT kesitleri incelenerek ortam için en uygun model parametreleri oluşturulmuş ve ters-çözüm işlemine tabi tutulmuştur. Ters-zm işlemi sonrasında yaklaştırma oranları incelenmiş ve model doğruluğu tespit edilmiştir. Veri-işlem sonrasında elde etmiş olduğumuz iki boyutlu kesitler Geoplot programı yardımıyla görüntülenmiştir. Elde edilen iki boyutlu kesitlerin Surfer programında çizimleri yapılmış ve jeoteknik parametreleri her bir kesit üzerinde en az iki nokta seçilerek hesaplatılmıştır. Elde

edilen modellerde her bir tabakaya ait hız değeri, Vs30 hızı ve sondajlarda elde edilen SPT değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.2 MASW ölçüm hatlarının uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.

5.2 Elektrik Resistivite Tomografi Çalışmaları

5.2.1 ERT-1 Hattı

Çalışma alanının güneydoğusundaki anayolun doğusunda 600 m boyutunda bir hat üzerinde iki boyutlu ERT verisi toplanmıştır. Hat üzerinde ERT verileri güneydoğudan kuzeybatıya doğru alınmıştır (Şekil 5.3). Bu hat üzerinde ERT model kesitlerinde önem gösteren dört ayrı bölgede ise MASW ölçümleri yapılmıştır ve izleyen bölümde sonuçları verilmektedir.



Şekil 5.3 İşletme Fakültesinin doğusunda yapılan ERT çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

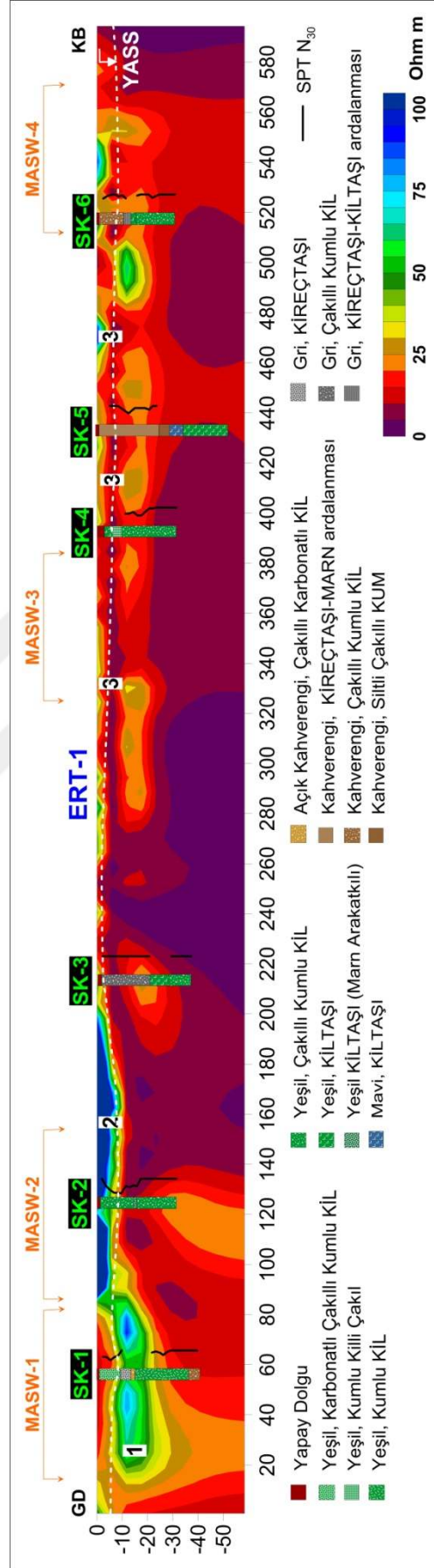
ERT-1 hattının ters-çözüm sonucunda elde edilen model kesiti Şekil 5.4’de verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, hattın İşletme Fakültesine yakın kısımda yüzeye yakın yüksek resistiviteli iki ayrı jeolojik birim görülmektedir. Bunlardan ilki (1) olarak adlandırılmıştır ve yaklaşık 5 m derinlikten başlayarak, 25 metre derine değin uzanmaktadır. Resistivite değerleri 40 ile 85 Ωm arasında değişim gösteren bu yapı üzerinde SK-1 sondajı bulunmaktadır. Yüksek resistiviteli ortamın altında resistivite değerleri önemli oranda düşüş göstermektedir. SK-1 sondajında yüzeye yakın ince bir yapay dolgu tabakasından sonra 9 metre derinliğe kadar yeşil renkli karbonatlı-çakıllı-kumlu kil kesilmiştir. Bunu 9-13,5 m arasında gri kireçtaşı ve 13,5-14,5 m arasında da düşük plastisiteli kil izlemiştir. Bu birimin altından kuyu sonuna değin önce yeşil ve ardından da kahverengi kumlu kil ve çakıllı-kumlu kil seviyelerine girilmiştir. Bu killer yüksek plastisitelidir. ERT sonucu sondaj ile ilişkilendirildiğinde, ilk 10 metreye kadar genel anlamda düşük resistiviteli ortam YSS ve yeşil renkli karbonatlı-çakıllı-kumlu kil ile ilişkili olmalıdır. Daha sonra orta resistivite değerlerine sahip yapı karbonatlı seviyeler, kireçtaşı ve düşük plastisiteli kil olan bölümlere karşılık gelmektedir. Yüksek plastisiteli killerin olduğu bölümlerde resistivite değerlerinde önemli bir düşüş görülmektedir.

ERT kesitinde (2) ile adlandırılan yüzeye yakın yüksek resistiviteli yapı (50 ile 100 Ωm) yüzeyden başlayarak yaklaşık 10 m derinliğe kadar devam etmektedir.

Tabanı hafif ondölasyonlu olan bu yapının hemen altında resistivite değerleri çok hızlı bir biçimde düşmektedir ve genelde resistivite değerleri yaklaşık 10 Ω civarında tekdüze bir özellik göstermektedir. Bu alanın bir kesiminde yapılan SK-2 sondajında ilk 1 m’de yapay dolgu kesilmiştir. Sonrasında düşük plastisiteli çakıllı-kumlu kil 6 m derinliğe kadar uzanmaktadır. Benzer özellikte hafif renk farkları olan birim 15 metreye kadar devam etmektedir. Bundan sonra 1,5 kalınlığında yeşilimsi bir kil bandı kesilmiştir. Bunun kuyu sonuna değin düşük orta plastik özellikli kil izlemektedir. Bu killerin SPT değerleri ilk 10 metrede 10 ile 20, sonrasında 16 metreye kadar 30-40 ve bu metreden kuyu sonuna değinde 50-60 arasında değerler göstermiştir. Bu değerler ERT kesitindeki yapı ile uyumlu bir özellik göstermektedir. Bu yapının bittiği yerde yapılan SK-3 sondajında 1 m kalınlığında yapay dolgudan sonra sırasıyla 20 metreye kadar gri çakıllı-kumlu kil, 20-27 m arasında kilaşı ve 27 metreden kuyu sonuna kadarda yeşil çakıllı-kumlu kil kesilmiştir. Killerin SPT değerleri ilk 5 metrede 60,5-12 m arası 35 ile 60 arasında değişim göstermektedir ve 12 metreden kuyu sonuna kadar da 60 değerine sahiptir. Genelde orta düzeyde resistivite gösteren bu alanda çakıllı ve kilaşı olan bölümlerde resistivite değerinde bir artış görölmektedir. SPT değerleri ile resistivite değerleri arasındaki uyum çok iyidir. ERT kesitinde SK-3 ile SK-4 arasında yüzeye yakın yaklaşık 7-8 metre derinliğe kadar devam eden orta resistiviteli bir katman bulunmaktadır ve bu katman kesitte (3) olarak adlandırılmıştır. Bu katmanın hemen altında resistivite önemli oranda düşmektedir. Bu düşüş YSS ile ilişkili olmalıdır. Bu düşüşten sonra yine orta resistiviteli bir yapı yaklaşık 25 m derinliğe kadar uzanmaktadır. Burada da sondaj verileri göz önüne alındığında çakıllı-kumlu kil ile kilaşı içerikleri olmalıdır. SK-4 sondajında 2,4 m derinliğe kadar yapay dolgu, 2,4 ile 6 m arası ayrılmış kilaşı, 6-9 m arası çok sıkı yeşil kumlu kil çakıl ve 10 metreden sonrada yeşil çakıllı kumlu kil kesilmiştir. SPT değerleri 10 ile 16 m arasında 30 ile 40 ve 16 metreden kuyu sonuna değinde 30’dan 60’a kadar bir yükselme göstermektedir. Sonuçlar ERT kesiti ile uyumludur. Hattın SK-4 ile SK-6 arasında bulunan resistivite kesiti yine benzer bir karakter göstermektedir. Sadece 410 ile 570 metreler arasında derinde resistivite değerlerinde çok az da olsa bir yükselme görölmektedir. Genelde orta düzeyde resistivite dağılımına sahip olan ilk 20 metre derinliğindeki kısım içinde yer yer daha yüksek resistiviteli ortamlarda bulunmaktadır. SK-5 buradaki ortamı tanımlamak için

açılan derin kuyulardan biridir ve 50 m derinliğe kadar delgi işlemi sürdürülmüştür. Delgide 0,5 m yapay dolgu, sonrasında 24 metreye kadar kıltaşı-marn ardalınması, 24-28 m arasında kum, 28-33 m arasında mavi kıltaşı ve 33 metreden kuyu sonuna değinde yeşil kıltaşı kesilmiştir. SPT değerleri 4 ile 14 m arasında 60'dan 30'a düşmüş ve 18-23 arasında tekrar 50 ile 60 düzeylerine ulaşmıştır. Bu durum resistivite ile çok uyumludur. Hattın kuzeybatısına doğru açılan son sondaj SK-6'dır. Bu sondajda ilk 1 m'de yapay dolgu ve sonrasında da 11 metreye kadar kahverengi çakıllı-kumlu kil, 11-15 arasında kireçtaşı-kıltaşı ve 15 m'den kuyu sonuna değinde yeşil çakıllı-kumlu kil kesilmiştir. Killerin SPT değerleri ilk 10 metrede 40-50-40 ve 16 ile 30 m arasında ise 60-30-60 arasında değişim göstermektedir.

Hat genel anlamda yorumlanırsa, alanın güneydoğusundaki orta-yüksek resistiviteli ortamın geometrisi burada bir paleo-heyelanın olabileceğini düşündürmektedir. Hattın orta kısmı genelde düşük resistiviteli bir karakterdedir. Heyelan etkisi ile geliştiği düşünülen bazı yapı izleri de hattın ortası ile kuzeybatısında izlenmektedir. Kaymanın genelde YSS ile ilişkili olduğu buradaki resistivite kesitinde açıkça görülmektedir. Sondajlarda genelde birbiri ile ilişkili birimler kesilmiştir ve yüzeye yakın ve çok fazla kalın olmayan bir yapay dolgu bulunmaktadır. Yer yer kireçtaşı ve marnlar ile kıltaşı kesilmekle birlikte hâkim olarak çoğunlukla düşük plastisiteli killer bulunmaktadır. Ayrıca ERT sonuçları ile SPT değerleri arasındaki uyum da çok iyidir.



Şekil 5.4 ERT-1 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir.

5.2.2 ERT-2 Hattı

ERT-2 kesiti çalışma alanında Mühendislik Fakültesi binasının doğusundaki yolun yakınında alınmıştır. Alanın bu kesiminde asfaltta çatlaklar mevcuttur ve bunların olası heyelan ile ilgili olabileceği düşünülerek bu kısımda bir jeofizik çalışma yapılmasına karar verilmiştir. Bu kesimdeki ERT hattı 180 m uzunluğundadır ve GD-KB doğrultuludur. Veriler bu doğrultuda toplanarak gerekli model kesit bu yöne göre görüntülendirilmiştir. Alanda asfalt üzerinde çatlakların yoğunlaştığı yerde ERT hattının yaklaşık olarak orta kısmına gelen bölümde MASW hattı da alınmıştır (Şekil 5.5).

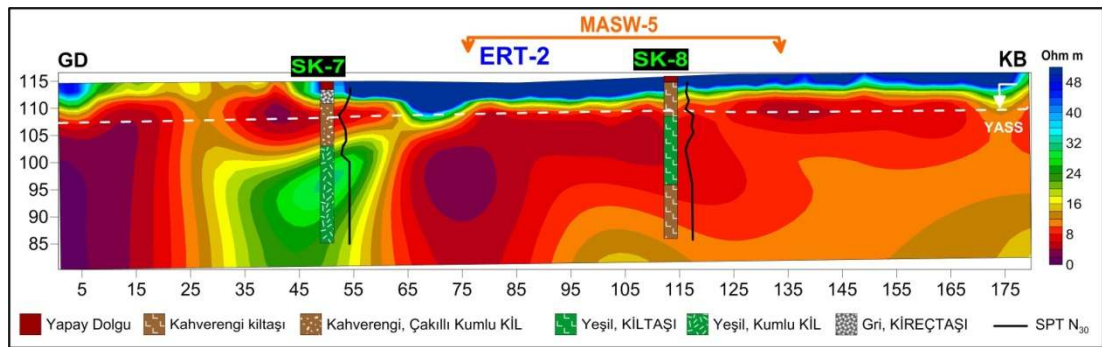


Şekil 5.5 Mühendislik Fakültesinin doğusunda yapılan ERT çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

ERT-1 hattının devamı olan bu hat bir önceki hattın KB'dan başlamaktadır. Elde edilen ERT model kesitinde alanda iki farklı yeraltı durumunun bulunduğu görülmektedir. İlk durum hattın KB'dan yaklaşık olarak 40 m'ye kadar uzanan, yüzeyden başlayan ve yaklaşık olarak 5 ile 7 m kalınlığında değişim gösteren orta resistiviteli bir katmandır. Bu katmanın altında çok düşük düzeyli resistivite değerleri bulunmaktadır. İkinci durum hattın 20 ile 65'ci metreleri arasında ortaya çıkmaktadır. Bu kısımda resistiviteler yüzeyde düşüktür ve derine doğru bir artış göstermektedir. Resistivitedeki artış genel anlamda yaklaşık olarak 10 m derinden başlamaktadır ve hattın sonuna kadar devam etmektedir. Bu hattın üzerinde yapılmış

iki sondaj (SK-7, 8) bulunmaktadır. SK-7 sondajında 1,5 m yapay dolgudan sonra 4 metreye kadar killi kireçtaşı, marn, 4-12 m arasında kahverengi çakıllı-kumlu-siltli kil ve bu metreden kuyu sonuna kadar da yeşil çakıllı-kumlu-siltli kil kesilmiştir. SPT değerleri 4 ile 15 metre arasında 30-40-30 ve 15 metreden sonra da 60 olarak belirlenmiştir. Sondaj logunun kesit üzerine oturtulmuş kısmında birimler arasındaki değişimler ile resistivite değerlerindeki değişim çok uyumludur. Ayrıca düşük resistiviteli ortamlarda SPT değerleri düşüken, orta resistiviteli ortamlarda resistivite artışı ile birlikte SPT değerlerinde de bir artış görülmektedir. Bu durum iki veri arasındaki uyumun yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. SK-8 sondajında ise 1 m yapay dolgudan sonra 7,5 metreye kadar kahverengi ayrışmış kilitaşı, 7,5-20 m arasında yeşil ayrışmış kilitaşı ve 20 metreden kuyu sonuna değin ise tekrar kahverengi ayrışmış kilitaşı kesilmiştir. Bu sondajların SPT değerleri ise sırasıyla 2-6 m arasında 30, 6-12 m arasında 50-60, 12-15 arasında 30 ve 20 metreden kuyu sonuna kadar da 60 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlarda da görülebildiği gibi, resistivite kesitindeki ortamlar ile SPT verileri arasındaki ilişki yine iyidir. Sondaj sonuçlarında da görülebildiği gibi, iki sondaj arasında birim litolojisi farklıdır ve bu farklılık resistivite ayrımında da açıkça ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.4).

Mühendislik Fakültesinin doğusundaki bu hat üzerinde yapılan çalışmalar ERT hattının 25 ile 60 metreleri arasında bir heyelan olgusunun var olabileceğini ortaya koymaktadır. Ortamdaki ani değişimin bir heyelan morfolojisi ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Özellikle sondajlar arasındaki farklılıkta bu görüşü güçlendirmektedir.



Şekil 5.4 ERT-2 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir

5.2.3 ERT-3 Hattı

Yerleşkenin Veterinerlik Fakültesinin doğusunda alınan ERT-3 hattı 295 m uzunluğundadır. ERT verisi KB'dan GD'ya doğru toplanmıştır (Şekil 5.5). Aynı hattın orta bölümlerinde MASW-6, 7 hatları üzerinde de yüzey dalgası verisi toplanmıştır. Alanın bu kesimindeki yeraltını ve olası heyelan durumunu ortaya çıkarmak ve jeofizik ile sondaj verileri tümleşik kullanılmıştır.

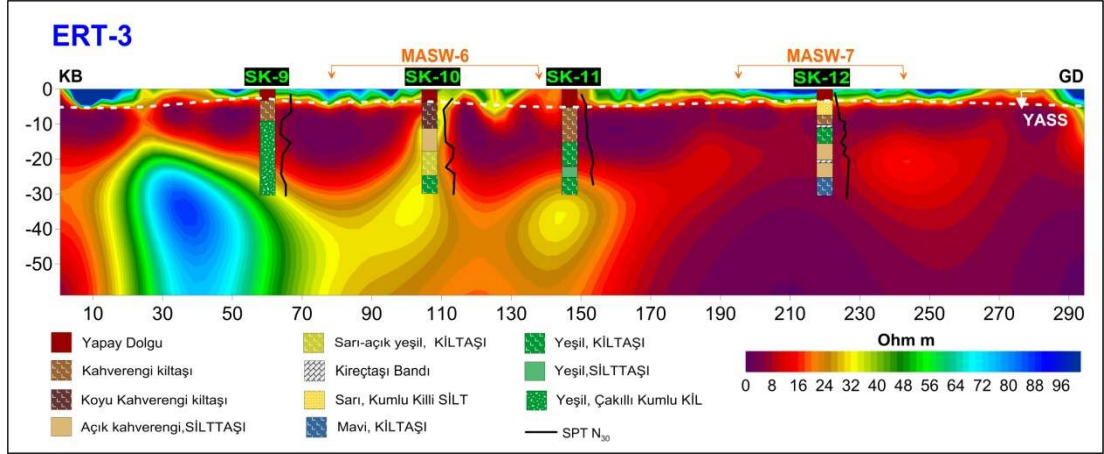


Şekil 5.5 Mühendislik Fakültesinin doğusunda yapılan ERT tomografi çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

Hat üzerinde yapılan ERT çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan ERT model kesiti Şekil 5.6'da verilmektedir. Şekilden de açıkça görülebildiği gibi, hattın yüzeyinde çoğunlukla yüksek resistiviteler bulunmakla birlikte, genelde orta düzeyde bir resistivite dağılımı mevcuttur. Genelde 7 m civarında ve hemen hemen yatay devam eden resistif tabakanın hemen altında iletken bir birim ortaya çıkmaktadır. Hattın başlangıcından yaklaşık 170 m'ye kadar olan kısımda iletken tabakanın altında orta düzeyde resistivite değerlerine sahip başka bir birimin varlığı görülmektedir. Hattın GD kısmında ise iletken ortam yaklaşık 60 metreye kadar devam etmektedir. Bu hat üzerinde yapılmış dört sondaj (SK-9, 10, 11 ve 12) bulunmaktadır. SK-9 sondajında 3 m yapay dolgudan sonra 3-9 m arasında kahverengi kila taşı kesilmiştir. Daha sonra 30 m'ye kadar yeşil çakıllı-kumlu kil ortaya çıkmıştır. İlk 6 metrede 60 olan SPT değerleri 9-24 arasında 20 ve daha sonra

30 değerine ulaşmıştır. SPT değerleri resistivite model kesitindeki değişimlerle genel anlamda uyumludur. SK-10 sondajında ise 4 m yapay dolgudan sonra 11 metreye kadar koyu kahverengi kıltaşı, daha sonra sırasıyla 11-18 arasında açık kahverengi silttaşı, 18-25 metrede sarı-açık yeşil kıltaşı ve 25 ile 30 metre arasında da yeşil ayrışmış kıltaşı ile karşılaşılmıştır. Bu sondajda SPT'ler molozda 60 değerini verirken 6 ile 15 m arasında 20 ve 30, daha sonra 60-30-50 ve 60 olarak değişim göstermiştir. Özellikle yüksek SPT değerleri resistif ortamlar ile uyumludur. SK-11 sondajında 5 m yapay dolgu kesilmiştir. Daha sonra 5-15 m arasında kahverengi kıltaşı, 15-30 metre arasında da yeşil kıltaşı ve silttaşı aralanması ortaya çıkmıştır. Bu sondajın SPT değerleri de resistivite değişimleri ile uyumludur. Hattın güneydoğusuna yakın olan SK-12 sondajında ise 3 m yapay dolgu, daha sonra sırasıyla sarı kumlu kil, daha sonra kahve-yeşil-açık kahve-mavi renkli ayrışmış kıltaşı ve silttaşı çıkmıştır. Bunların arasında kireçtaşı bantları bulunmaktadır. Bu sonuçlarda da görülebildiği gibi, SK-12 sondajı diğerlerinden daha farklı bir litolojik özellik sunmaktadır. SPT değerleri genelde 20 ile 40 arasındadır. Ancak 20'ci metreden sonra 50 ve 60'a ulaşmaktadır. Bu durum sondajın yakınında bulunan kısmi resistivite yükselmesi ile uyumludur ve ortamdaki ayrışmış kıltaşları ürünlerinin yoğunluğu, sıvı içeriği kaybı ve sıkışma ile kireçlenme oranındaki artış gibi faktörler bu durumu oluşturmuş olmalıdır. Kesitte üstteki resistif tabakanın altında ortaya çıkan ve ani bir azalım gösteren yatay değişim ortamdaki YSS ile ilişkili olmalıdır.

Veterinerlik Fakültesi'nin doğusunda yapılan ERT alışması sonucu elde edilen model hatta heyelanlı bir geometrinin olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bunların aktif heyelanlardan çok eski heyelan izleri olabileceği düşünülmektedir. Hattın ortasında bulunan ani değişim bir heyelan morfolojisi ile açıklanabilir. Özellikle sondajlar arasındaki farklılıklar da bu görüşü güçlendirmektedir. Özellikle SPT verileri ile ERT verileri arasında çok iyi bir uyumun bulunması da ortamdaki litolojik değişikliklerin tanımlanmasında yararlı olmaktadır.



Şekil 5.6 ERT-3 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir

5.2.4 ERT-4 Hattı

MENZA binasının doğusunda heyelan gelişimi ile ilgili jeolojik veriler elde edildiğinden ve alanın bu kesiminde arazide heyelanın halen sürdüğüne ilişkin verilerle karşılaşıldığından, bu kısımda GGB-KKD doğrultusunda bir ERT hattı alınmıştır. Bitki örtüsü nedeniyle hat uzunluğu 210 m ile sınırlandırılmak durumunda kalmıştır. Hat üzerinde üç ayrı kısımda da sondaj çalışmaları yapılmıştır (SK-13, 14 ve 15) (Şekil 5.7).

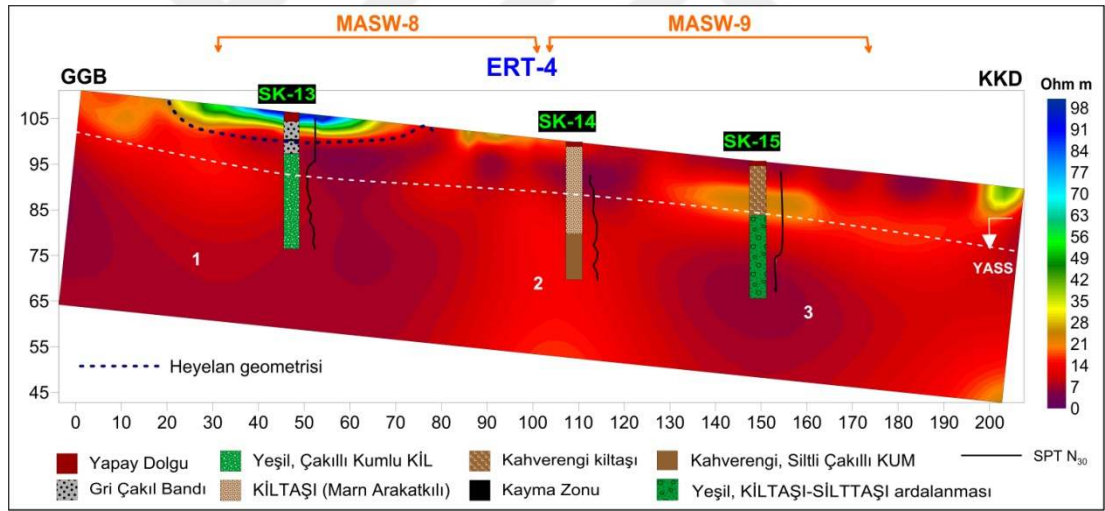


Şekil 5.7 MENZA Binasının doğusunda yapılan ERT tomografi çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

GB'dan KD'ya doğru alınmış olan ERT-4 hattının topoğrafya eklenmiş görüntüsü Şekil 5.8'de verilmektedir. ERT kesitinden de görülebildiği gibi hat üzerinde üç ayrı zon bulunmaktadır. Birinci zon (1) hattın başlangıcından yaklaşık olarak 80'ci metresine kadar devam etmektedir. Model kesitte yüzeye yakın yüksek resistiviteli bir birimin varlığı görülmektedir. Bu birimin kalınlığı yaklaşık olarak 5 m civarındadır. Kesitin bu kısmında tipik bir heyelan geometrisi izlenmektedir ve özellikle üstteki yüksek resistiviteli zon kaymaya uğramıştır. Bu kısımdaki kayma olayını mekanik sondaj çalışmaları ile ortaya koymak amacıyla heyelan topuğunun olduğu kesimde bir sondaj yapılmıştır. SK-13 olarak adlandırılan bu sondajın verileri ERT sonuçları ile karşılaştırıldığında iyi bir ilişkinin varlığı ortaya çıkmaktadır. SK-13 sondajında ilk 2 m'lik kısımda yapay dolgu ve bunu izleyen 7 m'lik kısımda da gri killi çakıl bandı ortaya çıkmıştır. Bu çakıl bandının arasında 6 ile 6,5 m'de 20°'lik bir kayma zonunun varlığı açıkça sondaj karotlarında görülmektedir. Bu durum ERT kesitindeki kayma geometrisi ile birebir uyuşmaktadır. Çakıllı birimi altında ise yeşil çakıllı-kumlu kil bulunmaktadır. SK-13 sondajının SPT değerleri ise kayma zonunda refü değerler vermiştir ve bu durum kayan bloğun karmaşıklığı göz önüne alındığında, normal bir durumdur. Daha sonra 12 ile 15'ci metre arasında 10'a düşen SPT değerleri kademeli olarak 20'den başlayarak 26'cı metrede 50'ye ulaşmaktadır. Burada YSS 12 metre derinliktedir ve bu durum üstteki zonun kayması ile ilişkili olmalıdır. Hattın orta bölümünde, derinde genel anlamda düşük olmakla birlikte nispeten resistivitenin arttığı ikinci bir zon (2) bulunmaktadır. Bu zonda da bir heyelan geometrisi izlenmektedir ve farklı malzemelerin kaymış olabileceğini ortaya koyan resistivite dağılımı bulunmaktadır. Bu kısımda yapılan SK-14 sondajında ilk 0,5 m'de yapay dolgudan sonra 0,5-20 m arasında marn arakatlı kilaşı ve 20-30 m arasında da kahverengi siltli-çakıllı kum kesilmiştir. Buradaki ortamlar ile ERT model sonuçları arasında çok iyi bir uyumun varlığı görülmektedir. Bu sondajın SPT değerleri ise 7-10 metrede 30, 12-17 m'de 40 ve daha sonrada kuyu sonuna değin 50, 40, 50'dir. Üçüncü zon (3) hattın 130'cu metresi ile hat sonu arasında bulunmaktadır. Bu zonda da üstte kaymaya uğramış bir kütlenin geometrisi hakimdir ve bu kısım orta dereceli resistivite değerlerine sahiptir. Bu zonun altında da yine hattın ilk kısmında olduğu gibi iletken bir ortam bulunmaktadır. Hattaki YSS değişimleri 10

ile 13 m arasında bir değişim göstermektedir ve bu seviye kesit üzerine eklendiğinde buradaki heyelan gelişiminin YSS ile ilişkili olduğu ortaya çıkmaktadır.

Menza binasının doğusunda alan gözlemlerinde aktif heyelan izlerinin görüldüğü kısımda yapılan ERT ve sondaj çalışmalarında bu kısımda heyelanın varlığı ile ilişkili doğrudan sonuçlara ulaşılmıştır. Hattın GGB’da ve ERT kesitinde bariz olarak ortaya çıkan geometrinin aktif bir heyelan ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Hattın diğer kısımlarında da yine heyelanın sürdüğünü gösteren sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar sondaj sonuçları ile doğrulanmıştır. Özellikle sondajlar arasındaki birim farklılıkları da bu durumun açık bir kanıtıdır. Özellikle aktif bir heyelan olduğu düşünülen yerleşkenin bu bölümünde zamana bağlı jeofiziksel gözleme ve inklometre çalışmalarının yapılması buradaki hareketin zamansal özellikleri anlamında önemli ipuçları verebilecektir.

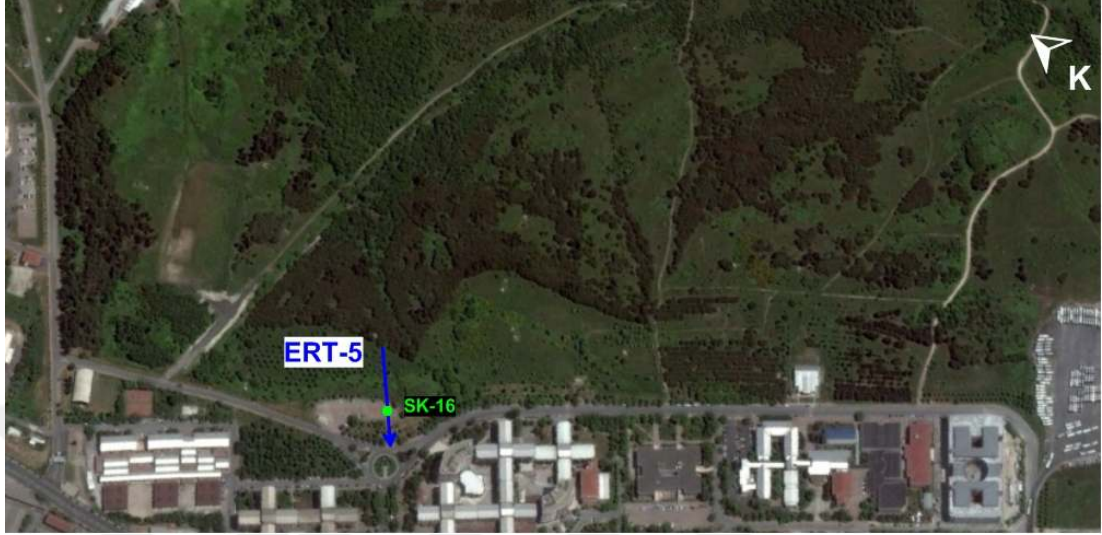


Şekil 5.8 ERT-4 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir.

5.2.5 ERT-5 Hattı

Mühendislik Fakültesi binasının KD’sundaki heyelan geometrisini ortaya koymak amacıyla heyelan doğrultusunda bir ERT hattı alınmıştır. Bu hat yerleşkenin doğusundaki kavşağın yanındaki otoparktan başlamaktadır ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultuludur. Ölçüm koşullarındaki zorluklar nedeniyle burada ancak 115 m uzunluğunda bir hat üzerinde ERT verisi toplamak olanaklı olabilmıştır. Özellikle

KD’da yüzeyin çok sorunlu olması nedeniyle ancak hattın ortasında ve topoğrafyada ani değişimin olmadığı kısımda bir sondaj (SK-16) yapılabilmektedir (Şekil 5.9).

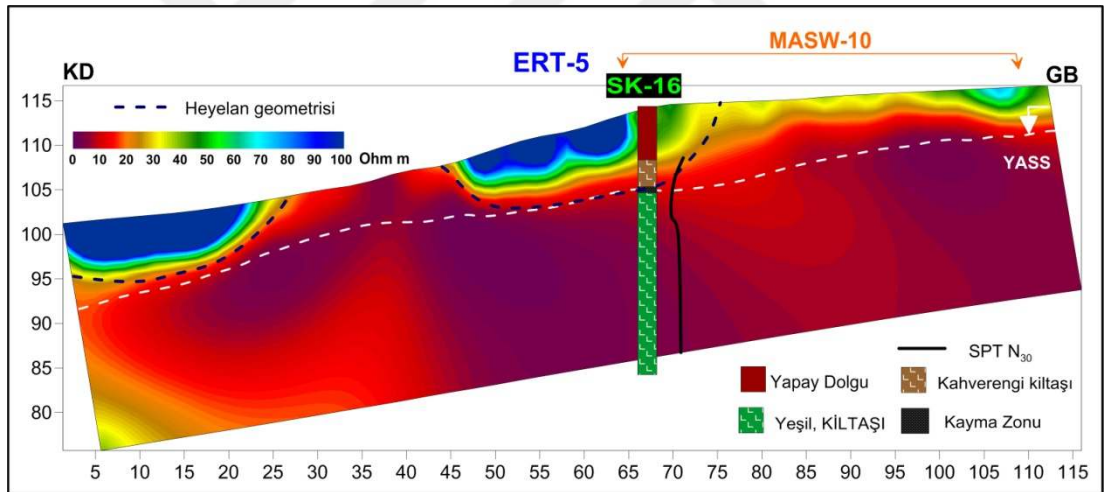


Şekil 5.9 Mühendislik Fakültesi Binasının kuzeybatısında yapılan ERT çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

Heyelan varlığından şüphelenilen bu bölümde ERT-5 hattı üzerinden veri toplanmıştır ve hattın tomografik görüntüsü Şekil 5.10’da verilmektedir. ERT kesitinde KD’dan GB’ya doğru iki ayrı heyelan geometrisi mevcuttur. KD’daki yüksek resistiviteli ve tipik heyelan geometrisi veren yapının kayan bölümünün ilk 5 ile 6 m içinde olabileceği düşünülmektedir. Bu yapının altında resistivite değerleri düşmekte ve alttaki birim iletken bir özellik göstermektedir. Hattın 45 ile 70 metre arasındaki kısmında ise ikinci bir heyelan kütlelerinin varlığı görülmektedir. Buradaki resistivite ve geometrik karakter bir önceki ile büyük benzerlik taşımaktadır. Heyelan kütlelerinin kayma zonu yine 5 ile 6m arasında olmalıdır. Bu kütlelerin düzlüğe doğru uzandığı görülmektedir. Aslında buradaki geometri yüzeyde yapılan düzleştirme işlemleri ile kesilmiş gibi görülmektedir. Bu heyelanın altında aşırı iletken bir zonun bulunduğu ERT kesitinden görülmektedir. Hattın 67’ci metresinde SK-16 sondajı açılmıştır. Bu sondajda 6 m kalınlığında heyelanlı bir malzeme çıkmıştır ve bu durum ERT kesitine çok uygundur. Daha sonra 6-9 m arasında kahverengi kilaşı ve 9-30 m arasında da yeşil kilaşı kesilmiştir. YSS 9 m olarak ölçülmüştür. Bu durum iki farklı kilaşı arasında suyun etkisi ile bir kayma düzleminin geliştiği olgusunu ortaya koymaktadır. ERT üzerine yerleştirilen sondaj logu incelendiğinde, sonuçların

çok uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Bu sondajda SPT değerleri ise 3 ile 6 arasında refü ve daha sonra 9'cu metrede 25'e düşmüştür. Daha sonra 12 m-30, 15-40, 18-50 ve sonrasında da kuyu sonuna kadar 50 ve 60 değerleri vermiştir. Bu durum heyelanın varlığını açıkça ortaya koymaktadır.

Mühendislik Fakültesi binasının kuzeydoğusundaki aktif heyelan izleri bulunan alanda yapılan ERT ve sondaj çalışmalarında alanın bu kısmındaki aktif heyelan ile ilişkili genel geometri ve olası kayma zonları ortaya çıkarılmıştır. Özellikle SPT verileri ile ERT verileri arasında buradaki heyelanı tanımlama anlamında çok iyi bir uyumun varlığından da söz etmek gerekmektedir. Yerleşkenin bu kısmında aktif bir heyelan varlığı düşünüldüğünden, buradaki hareketi tanımlama anlamında zamana bağlı jeofiziksel gözleme ve inklometre çalışmalarının yapılması buradaki hareketin zamansal özellikleri hakkında önemli ipuçları verecektir.



5.2.6 ERT-6 Hattı

Alanda heyelan gelişiminin olduğu düşünülen diğer bir kısımda Veterinerlik Fakültesi binasının doğusundaki alandır. Bu kısımdaki heyelan gelişimlerini ortaya çıkarabilmek amacıyla D-B yönlü 225 m uzunluğunda bir ERT hattı alınmıştır. Hattın 50'ci metresinde SK-17 ve 160'cı metresinde de SK-18 nolu sondajlar açılmıştır (Şekil 5.11).

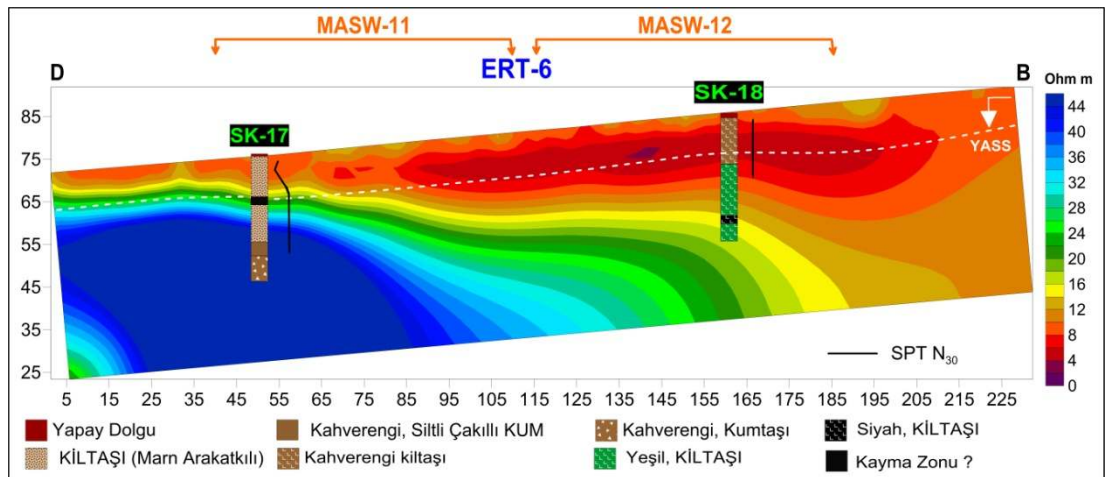


Şekil 5.11 Veterinerlik Fakültesi Binasının doğusunda yapılan ERT çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

ERT-7 hattının tomografik görüntüsü Şekil 5.12'de verilmektedir. Şekilden de açıkça görülebileceği gibi, alanın doğu bölümünde yaklaşık 10 m derinlikte orta düzeyli bir resistivite yükselimi ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında hattın genelinde resistiviteler çok düşüktür. Şekildeki resistivite geçişleri yeraltında bir süreksizliğin olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu hat üzerinde iki yerde sondajlar açılmıştır. SK-17 sondajı 50'ci metrede açılmıştır ve 30 m derine kadar inilmiştir. Bu sondajda yarım metre yapay dolgu, sonrasında da 21 metreye kadar kahverengi kilaşı-marn kesilmiştir. Ancak bu birimin 10 ile 14 metrelerinde ayrılmış ve bozunmuş bir birim vardır ve bu birimin kayma ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Kilaşı-marn biriminin altında 3 m kalınlığında kahverengi siltli-kum ve daha sonrada kuyu sonuna kadar kahverengi ayrılmış kumtaşı kesilmiştir. SPT değerleri 30'dan başlamış sırasıyla 40, 50, 40, 50 ve refü değerini vermiştir. Hattın batısına doğru

resistivite değerleri yüzeye yakın olarak çok düşmekle birlikte genelde düşük özellik göstermektedir. Bu kesimde açılan SK-18 sondajında ise 1 m yapay dolgudan sonra, 12 metreye kadar kahverengi ayrıışmış kıltaşı, 12-24 m arasında yeşil ayrıışmış kıltaşı, daha sonra 1 m kalınlığında siyah kırıklı kıltaşı ve sonrada kuyu sonuna kadar yeşil ayrıışmış kıltaşı devam etmiştir. SPT değerleri ilk 5 metrede refü ve daha sonra 12 ile 15'ci metreler arasında yine refü değerleri vermiştir. Burada refü çıkması ortamın ayrıışmış, bozuşmuş ve karmaşık yapısı ile ilişkili olabilir. Her iki sondajda da YSS sırasıyla 7,66 (SK-17) ve 7,5 (SK-18) m'de kesilmiştir. YSS resistivite değişimlerinde ana etken olmalıdır ve ortamdaki kayaç ile zemin farklılığına bağlı olarak, bu değişim ortaya çıkmıştır. Sondaj sonuçlarında da açıkça görülebileceği gibi, sondajlarda farklı birimler kesilmiş ve resistivitede olduğu gibi sondaj sonuçları da burada bir süreksizliğin olabileceğini ortaya koymaktadır. Resistivitedeki değişim ortamın su içeriği ve sondajlarda kesilen kayaçların ve zeminin karakteristiği ile ilgilidir.

Veterinerlik Fakültesi binasının doğusundaki olası heyelan izlerini araştırmak amacıyla alanda yapılan ERT ve sondaj çalışmalarında alanın bu kısmında heyelan varlığı ile ilişkili net bir bulgunun olmadığını ortaya koymuştur.



Şekil 5.12 ERT-6 hattının tomografik görüntüsü. Sondajlar hat üzerindeki yerlerine yerleştirilmiştir.

5.3 Çok Kanallı Yüzey Dalgası Çalışmaları

5.3.1 MASW-1, 2, 3, 4 Hatları

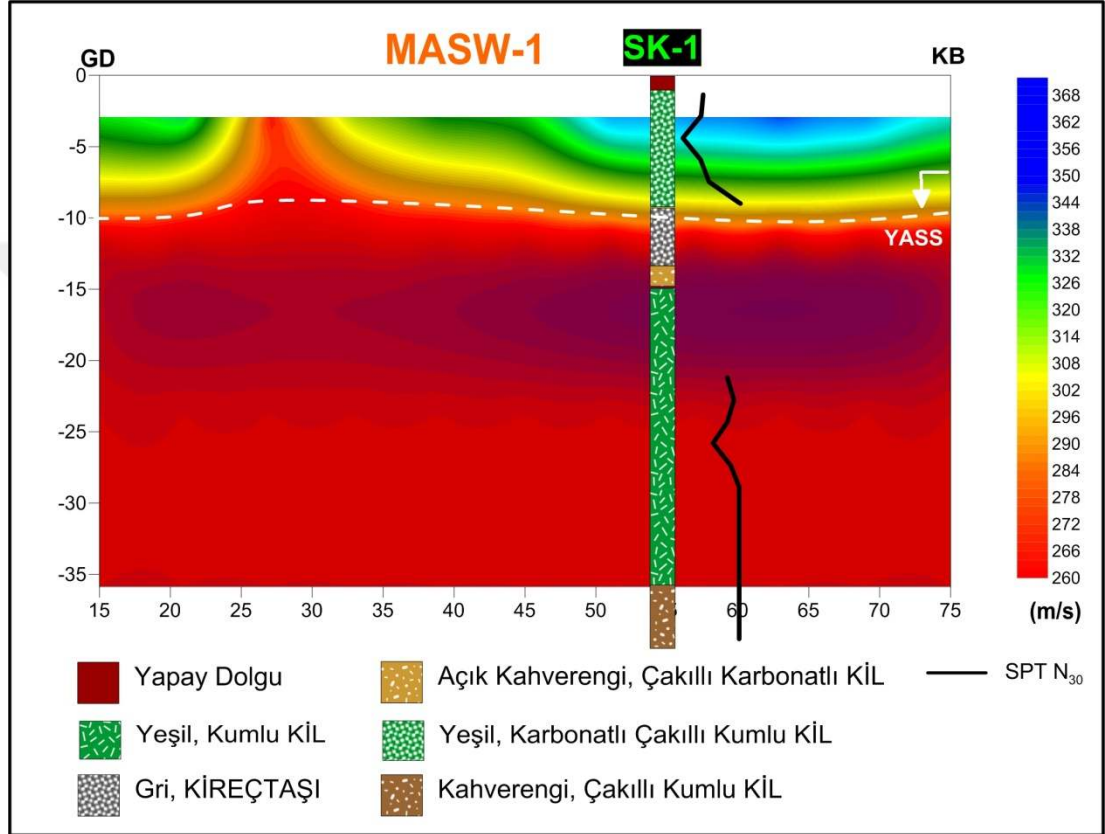
ERT-1 hattı üzerinde dört ayrı yerde MASW tomografi ölçümleri yapılmıştır. İlk hat ERT kesitinde (1) olarak adlandırılan yerde alınmıştır. Hattın uzunluğu 60 metredir. Bunu MASW-2 hattı izlemektedir ve uzunluğu 70 metredir. MASW-3 ve 4 hatları ERT hattının KB'sına doğrudur ve her ikisi de 60 metre uzunluğundadır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 İşletme Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

MASW-1 hattının tomografik görüntüsü Şekil 5.14'de verilmektedir. MASW verisi jeofon aralıkları 3 m olacak biçimde tomografik olarak toplanmıştır. Şekilden de görülebildiği gibi, ilk 5 ile 9 m arasında düşük Vs hız değerinde bir ortam bulunmaktadır. Bu ortamın hız değerleri 280 ile 320 m/s arasında değişmektedir. Daha sonra hız değerleri azda olsa artmakta ve hız anlamında iki tabakalı bir ortamın varlığı ortaya çıkmaktadır. Hız değişimi sondajda kireçtaşının kesildiği bölümde başlamaktadır ve derine doğru olan killi tabakalarda da benzer hızlar görülmektedir. Sondajın olduğu kısımdaki MASW verisi bir boyutlu olarak değerlendirildiğinde, ilk tabakanın Vs dalga hızı 329 m/s ve ikinci tabakanın da 360 m/s çıkmıştır. İlk katman kalınlığı 5,8 m, poisson oranı 0,35, $T_0=0,34$, $T_a=0,23$, $T_b=0,51$, zemin büyütmesi A

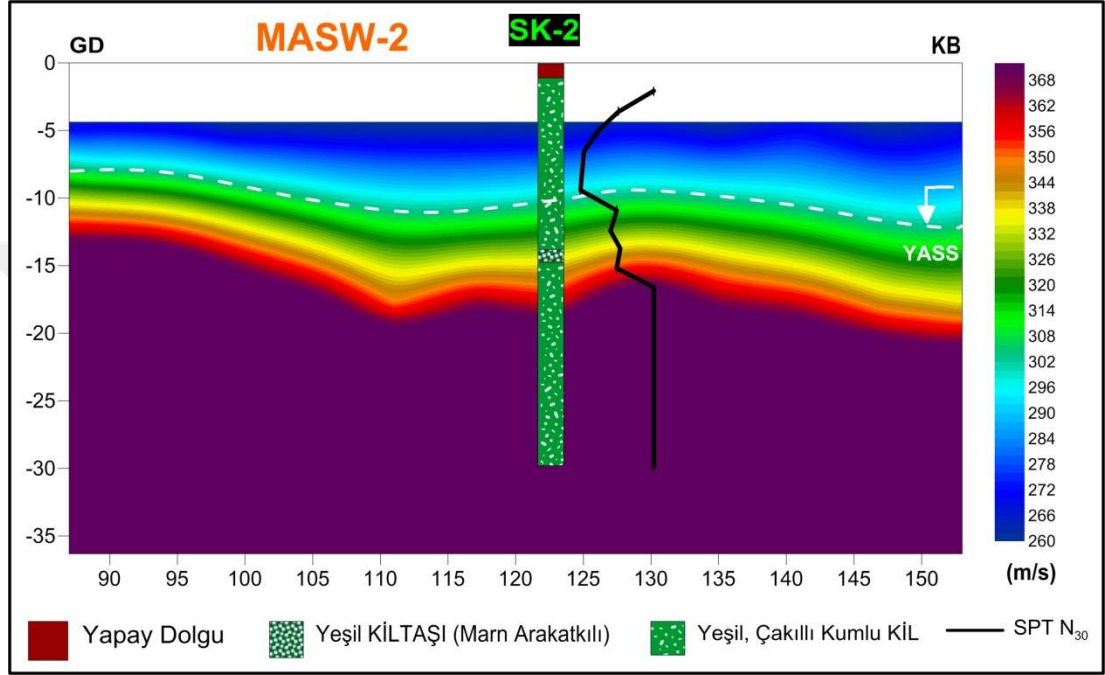
birinci tabaka için 2,1 ve ikinci tabaka için 1,99, V_{S30} hızı ise 353,56 m/s olarak bulunmuştur. Sondaj sonuçları ile bir anlamda uyumlu sonuçlar veren Vs hız değişimi ERT verisi ile de iyi bir uyum göstermektedir. ERT değerinin düşük olduğu yerdeki düşük hız değerlerinin geometrisi ve tabaka derinlikleri arasındaki uyum oldukça iyidir.



Şekil 5.14 MASW-1 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

ERT kesitinde (2) nolu ortamın olduğu yerde alınan MASW verisinin model kesiti Şekil 5.15’de verilmektedir. Kesitte GD’den KB’ya doğru düşük hız değerleri ile daha yüksek hız değerleri arasında ondülasyonlu bir katmanlanma görülmektedir ve hız değerleri de derine doğru azalmaktadır. Böylece düşük hızlı katmanın kalınlığı KB’ya doğru artmaktadır ve ERT hattındaki yapı ile çok uyumlu bir karakterdedir. Sondaj kuyusunun olduğu yerde veri bir boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Burada ilk tabakanın Vs dalga hızı 282 m/s ve ikinci tabakanın ise 360 m/s’dir. İlk katman kalınlığı 5,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,40, 0,35, $T_0=0,35$, $T_a=0,24$, $T_b=0,53$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,3 ve ikinci tabaka için 1,99, V_{S30}

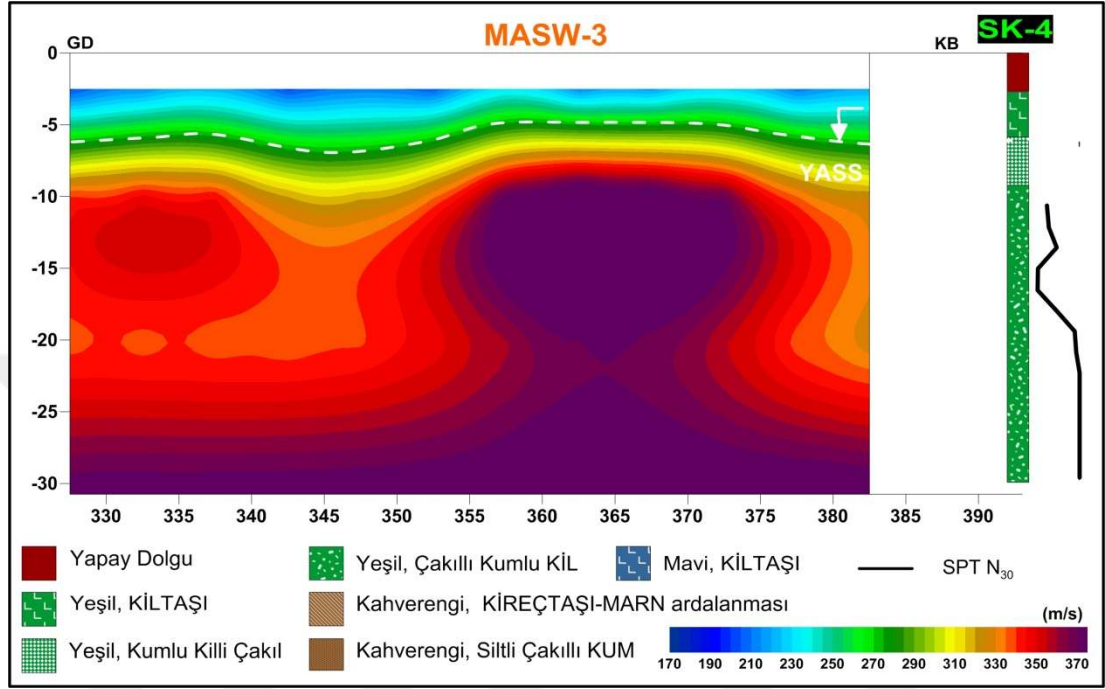
hızı ise 341,73 m/s olarak bulunmuştur. Özellikle hız değerleri ile sondajdaki tabaka değişimlerinin olduğu kısımlarda iyi bir uyum vardır. Ayrıca Vs hız değerlerinin düşük olduğu yerlerde düşük SPT değerleri gözlenirken, hız artışına bağlı olarak SPT değerlerinde de bir artış görülmektedir ve bu sonuç MASW yönteminin ortamı tanımlamadaki başarısını ortaya koymaktadır.



Şekil 5.15 MASW-2 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

MASW-3 hattı (3) nolu yapı karakterinin görüldüğü kısımda alınmıştır. Model kesitinde düşük Vs hızlı tabakalar 6 ile 8 m arasında değişmektedir ve ondülasyonlu bir tabakalanma karakteri göstermektedir. Vs dalga hız değerleri ilk tabakada çok düşüktür ve 170 ile 280 m/s arasındadır ve derine doğru bir artış göstermektedir. Daha sonra hızlar artarak 380 m/s'ye kadar artmaktadır. Bu sonuçlar ERT modeli ile de uyumlu bir durumu ortaya koymaktadır. Bu hattın bittiği yerden yaklaşık 10 m KB'da yapılan SK-4 sondajında buradaki hız değişimleri ile ilişkili olabilecek bir sonuç elde edilmiştir. Sondaj kuyusunun olduğu yerde veri bir boyutlu olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar ilk tabakanın S dalga hızı 259 m/s ve ikinci tabakanın da 398 m/s olduğu göstermektedir. İlk katman kalınlığı 8,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,42, 0,35, $T_0=0,35$, $T_a=0,23$, $T_b=0,52$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2.42 ve ikinci tabaka için 1,87, V_{S30} hızı ise 343,87 m/s olarak

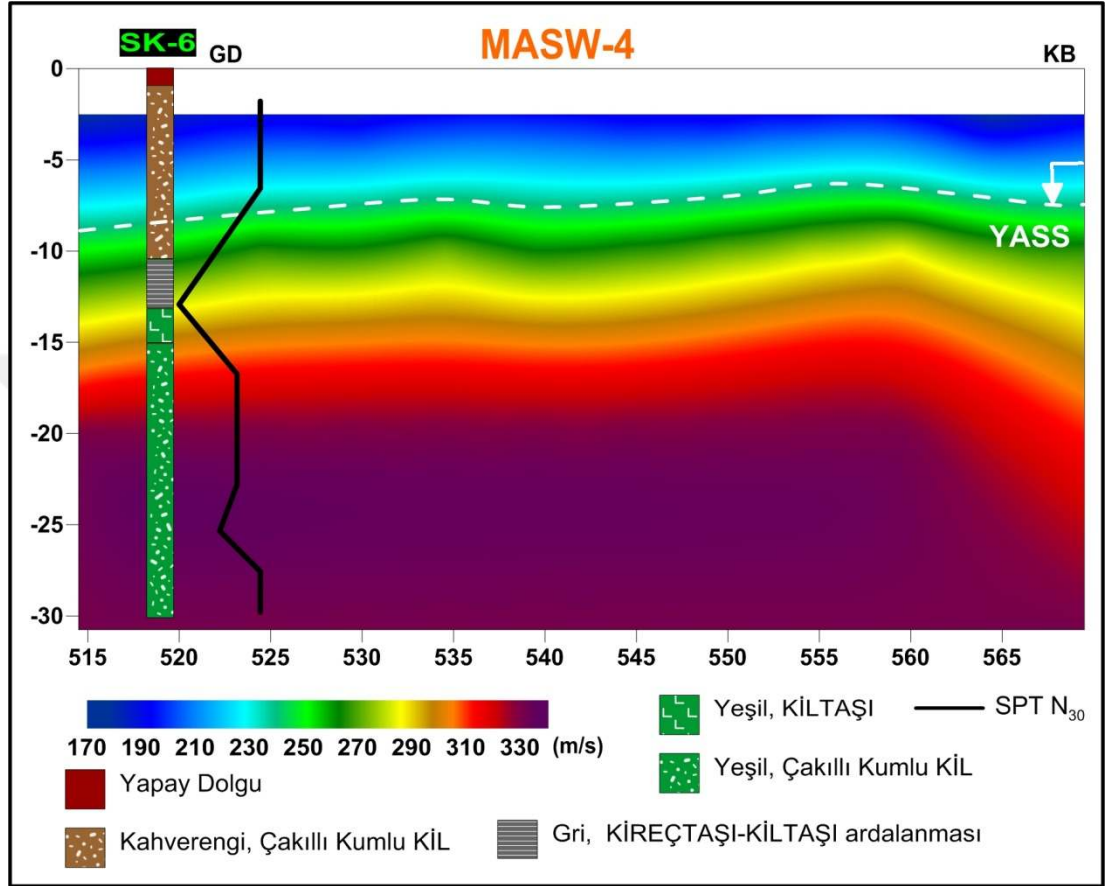
bulunmuştur. SPT değerleri 10 ile 16 m arasında 30 ile 40 ve 16 metreden kuyu sonuna değinde 30'dan 60'a kadar bir yükselme göstermektedir. Sondaj verileri MASW sonuçları ile iyi bir uyum içindedir.



Şekil 5.16 MASW-3 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat yakınındaki yerine yerleştirilmiştir.

MASW-4 olarak adlandırılan hattının model kesiti Şekil 5.17'de verilmektedir. Kesitte yaklaşık 15 metreye kadar düşük hızlı bir ortam görülmektedir. Bu noktadan sonra hız değerleri artarak 340 m/s'ye kadar ulaşmaktadır. Modelde tabakalar arasında hafif bir ondülasyon vardır ve hız değerleri ile sondajlar arasındaki uyum çok iyidir. Sondaj kuyusunun olduğu yerde veri bir boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Burada iki tabakalı bir ortam bulunmaktadır. İlk tabakanın Vs dalga hızı 268 m/s ve ikinci tabakanın ise 361 m/s'dir. İlk katman kalınlığı 8.8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,40, 0,37, $T_0=0,37$, $T_a=0,25$, $T_b=0,55$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,37 ve ikinci tabaka için 1,99, V_{S30} hızı ise 327,65 m/s olarak bulunmuştur. Hattın güneydoğusuna doğru açılan SK-6 sondajının sonuçları ile Vs hız değerleri arasında iyi bir ilişkinin varlığı görülmektedir. Sondajdan elde edilen SPT değerleri ilk 10 metrede 40-50-40 ve 16 ile 30 m arasında ve daha sonra ise 60-30-60 arasında değişim göstermektedir. Özellikle sondaj noktalarında yapılan bir boyutlu analizler hız değerlerinin değişmekle birlikte genel

olarak ERT hattı boyunca 170 ile 380 m/s arasında olduğunu ortaya çıkarmıştır. SPT değerleri sismik Vs hızları ile çok iyi bir uyum göstermiştir. Ayrıca ERT sonuçları ile de MASW arasındaki uyum da çok iyidir.



Şekil 5.17 MASW-4 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

5.3.2 MASW-5 Hattı

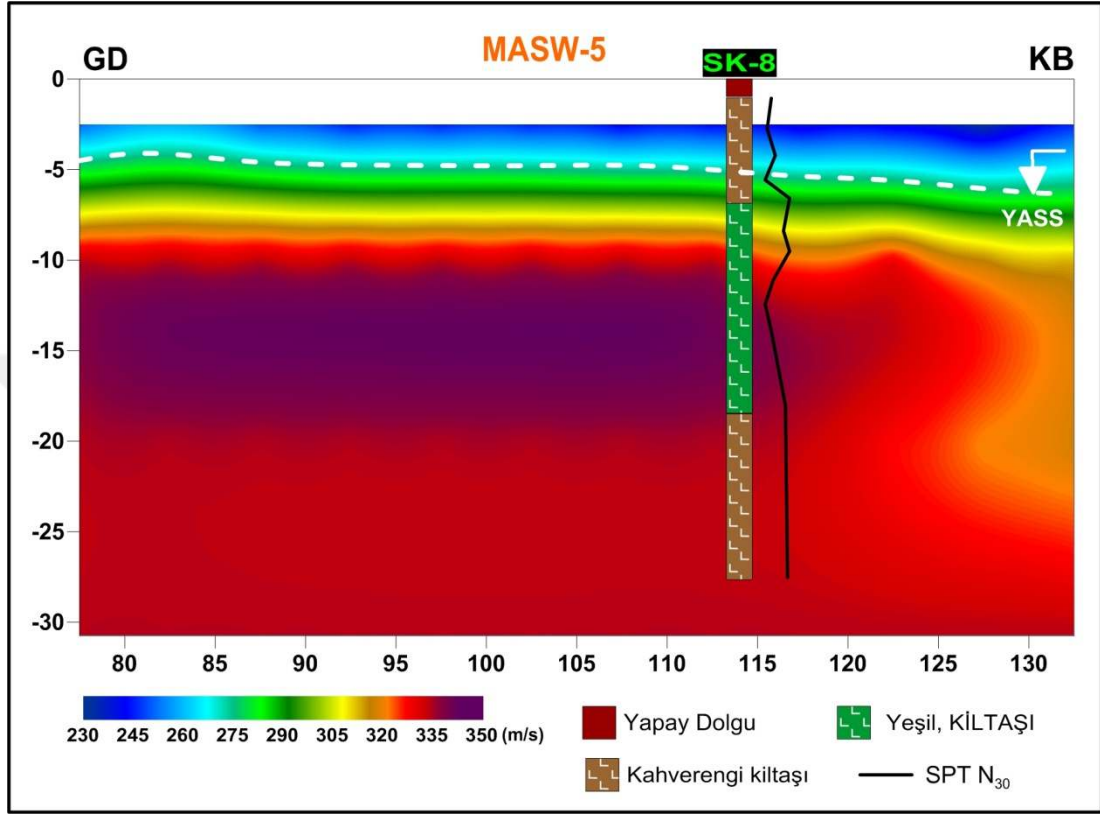
ERT-2 hattının bulunduğu kısımda ve yaklaşık olarak hattın orta kesimlerine karşılık gelen yerde bir hat üzerinde MASW ölçüsü yapılmıştır. Hattın uzunluğu 60 metredir ve yaklaşık 30 metre derine kadar Vs hızları hakkında bilgi toplanmaya çalışılmıştır. MASW hattında ölçüm doğrultusu GD'dan KB'ya doğrudur ve veriler tomografik olarak toplanmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 İşletme Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

MASW-5 hattı üzerinde yapılan ölçümün model kesiti Şekil 5.19'da verilmektedir. Şekilden de görülebildiği gibi, Vs hız değerlerinde yaklaşık 7 ile 8 m derinliğinde önemli bir tabaka ayrımı ortaya çıkmaktadır. Bu tabakanın üst kısmında Vs kesme dalga hızları düşüktür. Genelde 230 ile 290 m/s arasında bir değer hâkimdir. Daha sonra hızlar artarak, 350 m/s değerine kadar ulaşmaktadır. Hat üzerinde yapılan SK-8 kuyusunun olduğu yerde veri bir boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre ilk tabakanın Vs dalga hızı 239 m/s ve ikinci tabakanın ise 329 m/s olduğu görülmektedir. İlk katman kalınlığı 5 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,40, 0,35, $T_0=0,39$, $T_a=0,26$, $T_b=0,58$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,54 ve ikinci tabaka için 2.10, V_{S30} hızı ise 309,57 m/s olarak bulunmuştur. Sondaj sonuçları ile Vs hız değerleri ve resistiviteler arasında çok iyi bir uyumun olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle ERT tomografisindeki yaklaşık 7 m

kalınlığındaki orta resistiviteli katmanının olduğu kısımda düşük hızlar aynı derinlik seviyesine kadar devam etmektedirler. Böylece resistivite ile Vs hızları arasında bir uyumun varlığı görülmektedir.



Şekil 5.19 MASW-5 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

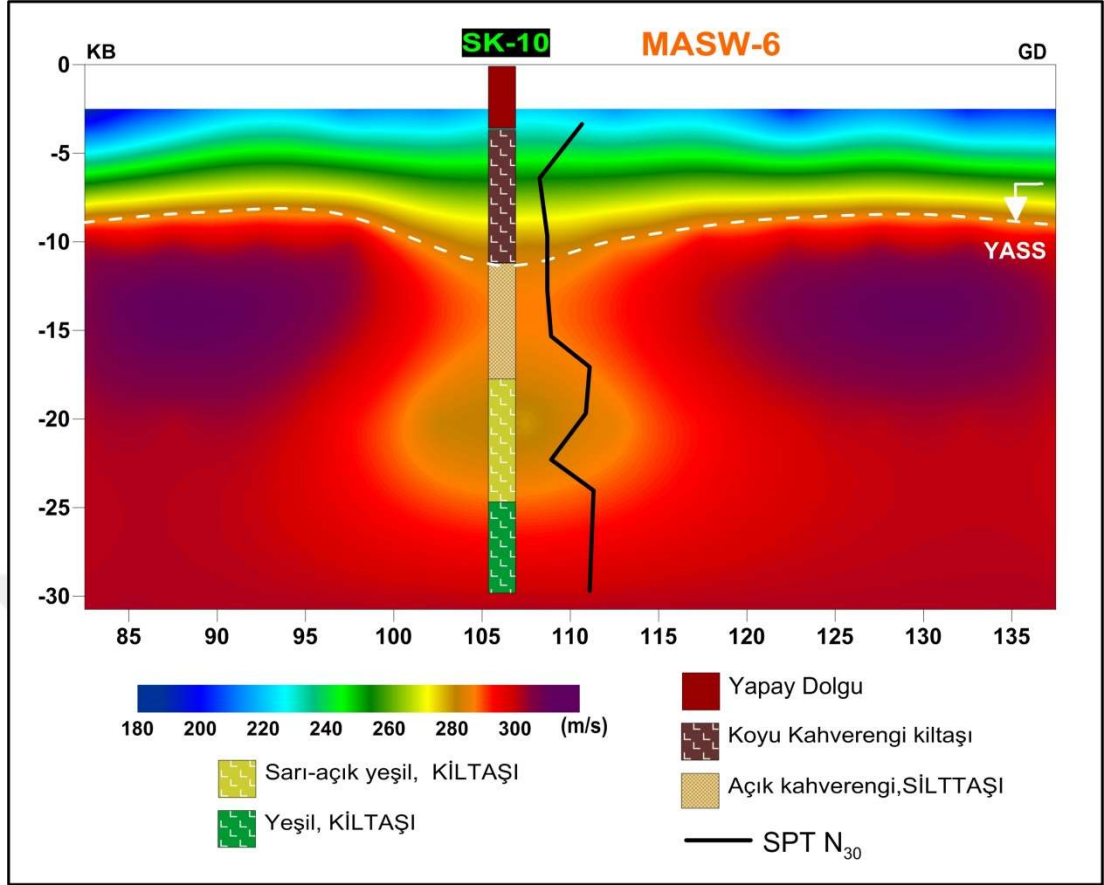
5.3.3 MASW-6 ve 7 Hatları

MASW ölçümlerinin bir kısmı Veterinerlik Fakültesi'nin doğusundaki olası heyelan alanında yapılmıştır. Bu alanda iki hat üzerinde (MASW-6 ve 7) MASW ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5.20). MASW ölçüm hatlarının uzunluğu 6 nolu hat için 60 m ve 7 nolu hat için ise 50 metredir.



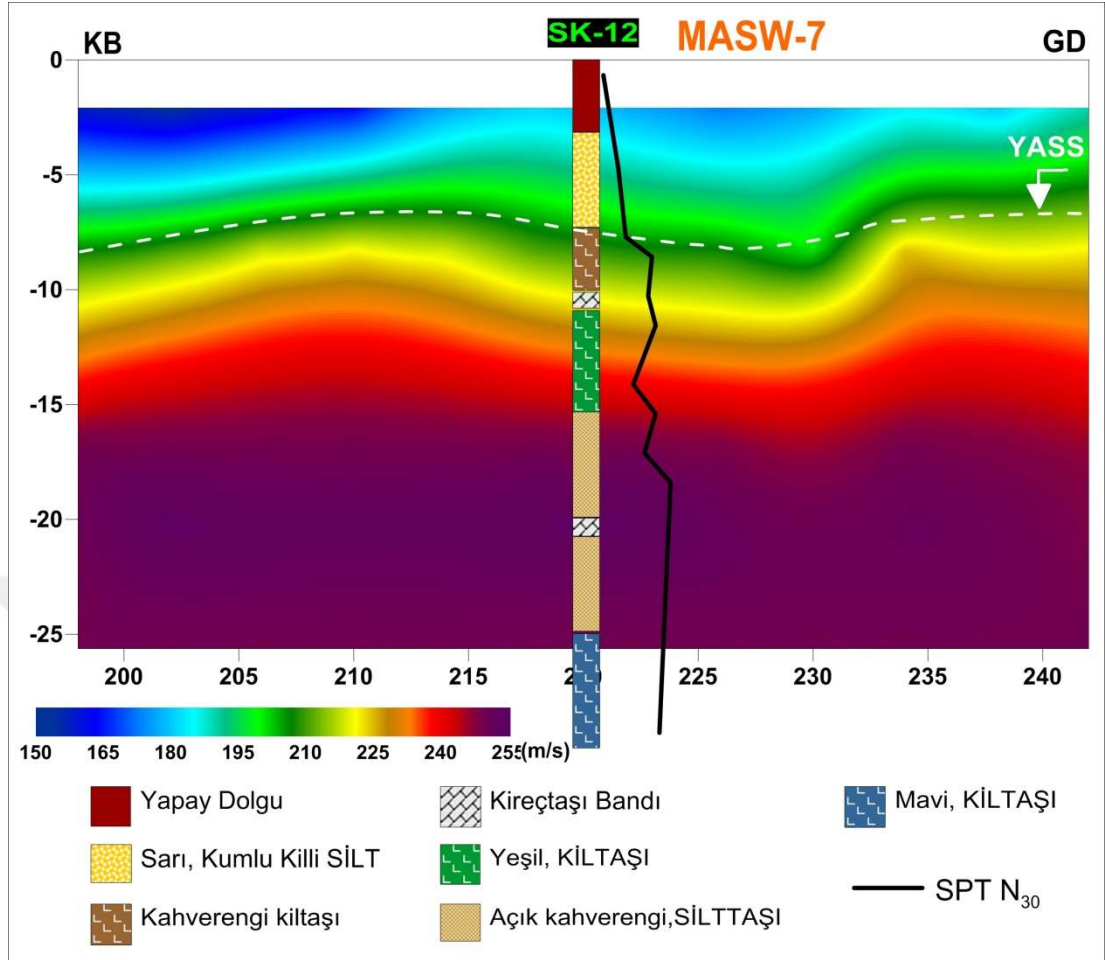
Şekil 5.20 Veterinerlik Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

MASW-6 verisinin model kesiti Şekil 5.21’de verilmektedir. MASW kesitinde yaklaşık 7 m’ye kadar çok düşük hızlı Vs kesme dalga hızları ortaya çıkmaktadır. Daha sonra Vs hızları 30’cu metreye kadar artmakta ve 310 m/s gibi bir hız değerine ulaşmaktadır. Hattın orta kısmında düşük Vs hız değerlerinin daha derine doğru uzandığı görülmektedir. Aslında ERT kesitinde de bu kısımda orta-düşük resistiviteli bir ortamın varlığı görülmektedir ve bu durum buradaki bu yapı ile ilişkili olmalıdır. Vs hız modeli ile resistivite modeli arasındaki uyumunda tabaka kalınlıkları ve tabaka geometrisi anlamında çok iyi olduğu görülmektedir. MASW-6 hattının yaklaşık 106.cı metresi civarında açılan sondaj da hattaki Vs hız değişimleri ile ilişkili bir sonuç ortaya çıkmıştır. Buradaki veri bir boyutlu olarak değerlendirildiğinde, ilk tabakanın Vs dalga hızı 212 m/s ve ikinci tabakanın ise 298 m/s olarak bulunmuştur. İlk katman kalınlığı 5 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,40, 0,35, $T_0=0,43$, $T_a=0,29$, $T_b=0,64$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,73 ve ikinci tabaka için 2,23, V_{S30} hızı ise 279,13 m/s olarak bulunmuştur. Ayrıca sondajlar sırasında yapılan SPT- N_{30} değerleriyle Vs hız değişimlerinin de çok uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21 MASW-6 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

MASW-7 hattında hız değerleri bir öncekine göre daha farklı çıkmaktadır. Hız değerlerinin önceki hatta göre daha da düştüğü görülmektedir (Şekil 5.22). Bu durum ortamdaki litolojik değişikliklerle ilişkili olabilir. Modelde düşük hızlar yaklaşık 10 metreye değin uzanmaktadır ve düşük ile daha yüksek hızlar arasında arızalı bir yüzeyaltı topoğrafyası hâkimdir. Sondaj sonuçları ile hız değişimleri arasındaki uyum iyidir. Sondaj kuyusunun olduğu yerde veri bir boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk tabakanın Vs dalga hızı 183 m/s ve ikinci tabakanın da 241 m/s'dir. İlk katman kalınlığı 4.2 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,37, 0,35, $T_0=0,52$, $T_a=0,35$, $T_b=0,78$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,99 ve ikinci tabaka için 2,53, V_{S30} hızı ise 230,76 m/s olarak bulunmuştur. Elde edilen Vs hız modeli ile ERT modeli arasındaki uyumun yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sondajlardan ölçülen SPT- N_{30} değerleriyle hız değişimleri arasındaki ilişkide anlamlıdır.



Şekil 5.22 MASW-7 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

5.3.4 MASW-8 ve 9 Hatları

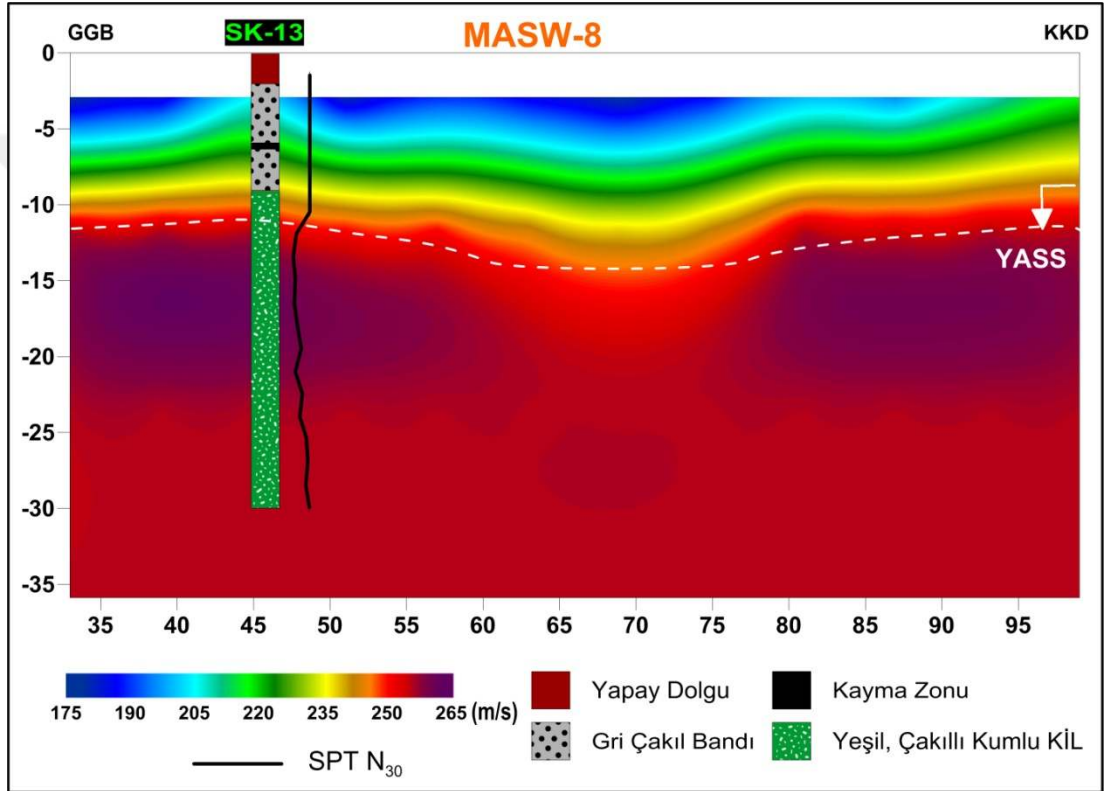
Özellikle aktif heyelanın varlığının açıkça gözlendiği Menza binasının kuzeydoğusundaki ERT hattının bulunduğu yerde iki MASW hattı alınmıştır. Birbirine çok yakın olarak alınan bu hatlar GGB'dan KKD'ya doğru alınmıştır (Şekil 5.23). Hat uzunlukları her iki hat içinde 70 metredir.



Şekil 5.23 MENZA binasının kuzeydoğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

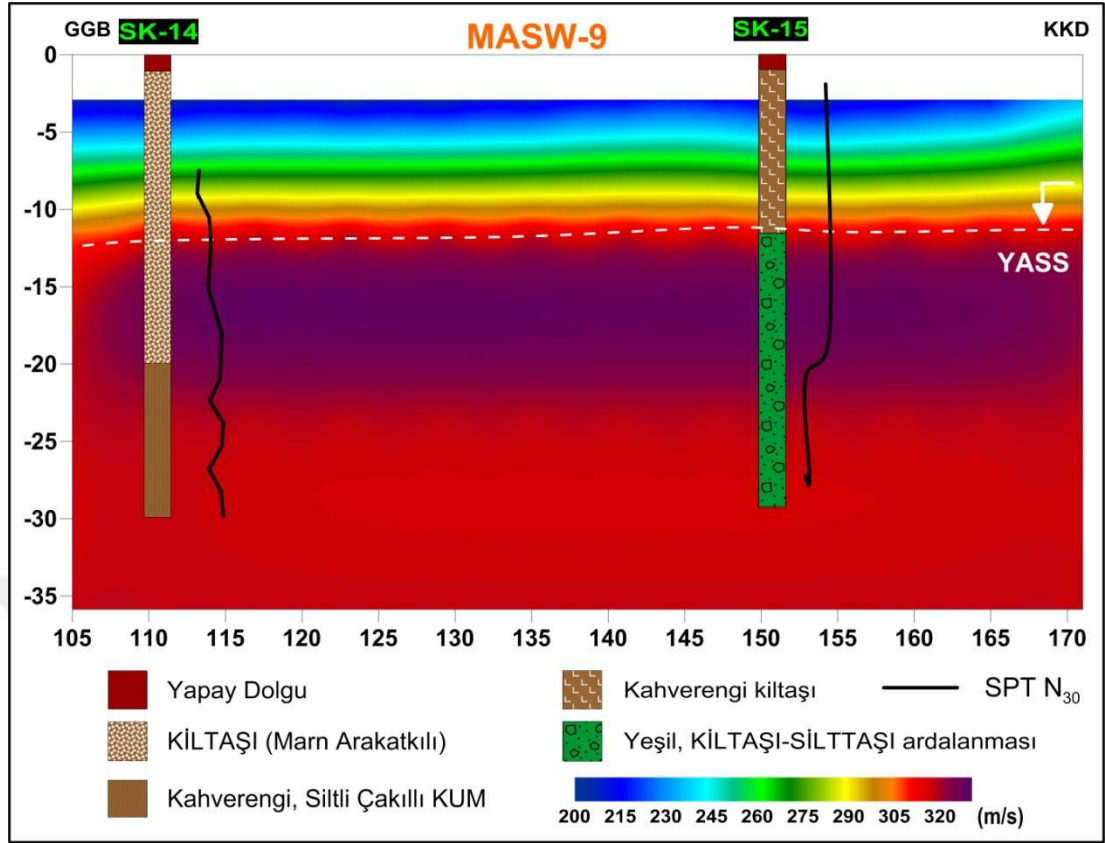
MASW-8 hattının model kesitinde yaklaşık 10 ile 12 metreye kadar düşük hız değerlerine sahip bir katmanın varlığı görülmektedir. Bu katmanın geometrisi yüksek resistiviteli ortam ile büyük benzerlik taşımaktadır. Alandaki değişimleri daha iyi saptayabilmek amacıyla MASW hattının yaklaşık 46.cı metresinde bir sondaj açılmıştır (SK-13). Sondaj sonuçları karşılaştırıldığında, hız dağılımlarındaki değişimler ile sondajlarda kesilen birimler arasında çok iyi bir ilişkinin varlığı ortaya çıkmıştır. SK-13 sondajı sonuçlarında ilk 2 m'lik kısımda yapay dolgu ve bunu izleyen 7 m'lik kısımda da gri killi çakıl bandı ortaya çıkmıştır. Bu çakıl bandının arasında 6 ile 6,5 m'de 20°'lik bir kayma zonunun varlığı açıkça sondaj karotlarında görülmektedir. Burada YSS 12 metre derinliktedir ve bu durum üstteki zonun kayması ile ilişkili olmalıdır. Bu etki MASW-8 kesitinde açıkça görülmektedir ve sismik Vs kesme dalga hızları YSS'nin altında artmaktadır. SK-13 sondajının SPT değerleri ise kayma zonunda refü değerler vermiştir ve bu durum kayan bloğun karmaşıklığı göz önüne alındığında, normal bir durumdur. Daha sonra 12 ile 15'ci metre arasında 10'a düşen SPT değerleri kademeli olarak 20'den başlayarak 26'cı metrede 50'ye ulaşmaktadır (Şekil 5.24). Buradaki üç yöntemin uygulanması (ERT, MASW, sondaj) sonucunda da kayma zonu geometrisi, özellikleri ve jeolojik birimleri açıkça tanımlanabilmiştir. Burada yapılan MASW ölçümüne dayanarak bu heyelanlı kısmın jeoteknik özellikleri ise MASW hattının 42'ci metresinde ve heyelanın topuğu olduğu düşünülen kısımda verinin bir boyutlu olarak

değerlendirilmesi ile edilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk tabakanın Vs dalga hızı 187 m/s ve ikinci tabakanın da 251 m/s'dir. İlk katman kalınlığı 5,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,40, 0,34, $T_0=0,51$, $T_a=0,34$, $T_b=0,76$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,95 ve ikinci tabaka için 2,47, V_{S30} hızı ise 235,42 m/s olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar genel olarak ele alındığında, kayma zonunun oluşu kısımda hız değerlerinde önemli bir değişimin varlığı görülmektedir. Ayrıca kayma zonu içindeki hız değerleri de diğer hatlara göre daha düşüktür.



MASW-9 hattının tomografik görüntüsü Şekil 5.25'de verilmektedir. Şekilden de görülebildiği gibi hız dağılımları yatay bir özelliğe sahiptir ve yaklaşık 10 metreye kadar düşük hızlar bulunmakta ve daha sonrada daha yüksek hızlara geçilmektedir. Buradaki geometri ERT'deki yapı geometrisi ile de uyumludur. Bu hattın olduğu kısımda iki sondaj yapılmıştır. Bunlarda SK-14 MASW hattının 111.inci metresindedir. Bu sondajın SPT verilerinde ise 7-10 metrede 30, 12-17 m'de 40 ve daha sonrada kuyu sonuna değin 50, 40, 50 değerleri elde edilmiştir. SK-15 sondajında ise SPT- N_{30} değerleri 3-12 arası 50 ve 12'ci noktadan sonra refü (SPT-

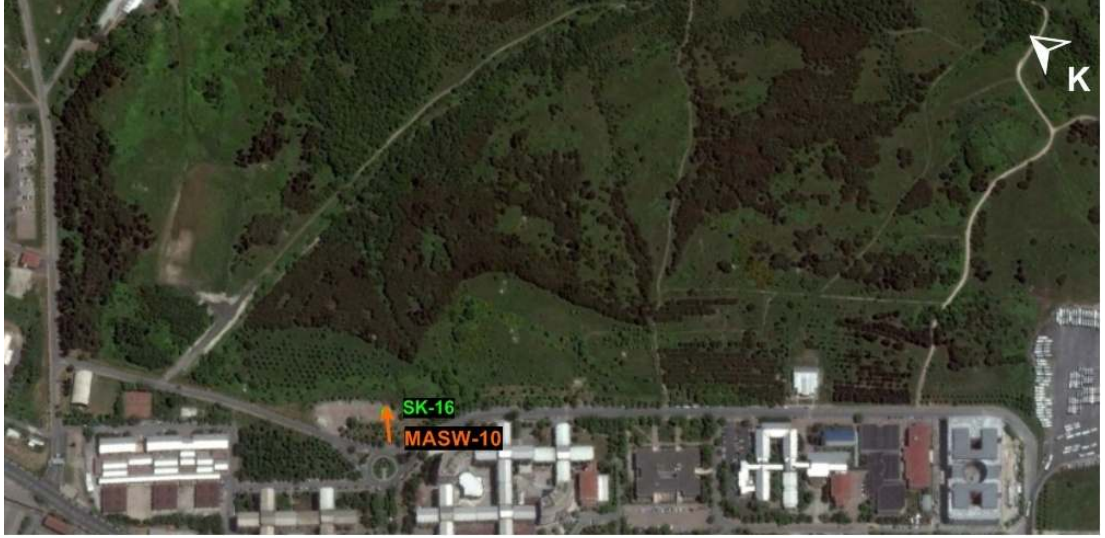
$N_{30} > 50$) ve sonrasında da sırasıyla 40, 60, 30 ve 40 ölçülmüştür. Buradaki refü ve yüksek SPT- N_{30} değerleri eski bir heyelan olgusu ile ilişkili olmalıdır. Bu sonuçlar ERT kesiti ile iyi bir ilişkiye sahiptir. MASW-9 hattındaki hız değerleri ve geometride göz önüne alındığında güncel bir heyelan olgusu yerine daha eski bir heyelanın varlığını düşünmek daha doğru olacaktır. MASW ölçülerinde SK-14 sondajının olduğu yerde bir boyutlu çözümler yapılarak buradaki ilgili jeoteknik parametrelere ulaşılmıştır. İlk tabakanın Vs dalga hızı 203 m/s ve ikinci tabakanın da 317 m/s'dir. İlk katman kalınlığı 5,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,42, 0,37, $T_0=0,42$, $T_a=0,28$, $T_b=0,63$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,81 ve ikinci tabaka için 2,15, V_{S30} hızı ise 285,95 m/s olarak bulunmuştur. SK-15 sondajının olduğu yerde tabaka değişimleri ile hız değişimlerinin uyumu daha iyidir. Bu sondajın olduğu yerde yapılan bir boyutlu çözümlerde de ilk tabakanın Vs dalga hızı 204 m/s ve ikinci tabakanın da 317 m/s olarak bulunmuştur. İlk katman kalınlığı 5,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,41, 0,35, $T_0=0,42$, $T_a=0,28$, $T_b=0,63$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,80 ve ikinci tabaka için 2,15, V_{S30} hızı ise 286,34 m/s olarak bulunmuştur. Bu iki sondaj arasındaki jeoteknik parametrelerde önemli bir fark bulunmamaktadır. Bu durum ERT ve sondaj sonuçlarında birimler arasında ayrımlar olmakla birlikte, ortamın Vs kesme dalga hızları arasında önemli farkların bulunmadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 5.25 MASW-9 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

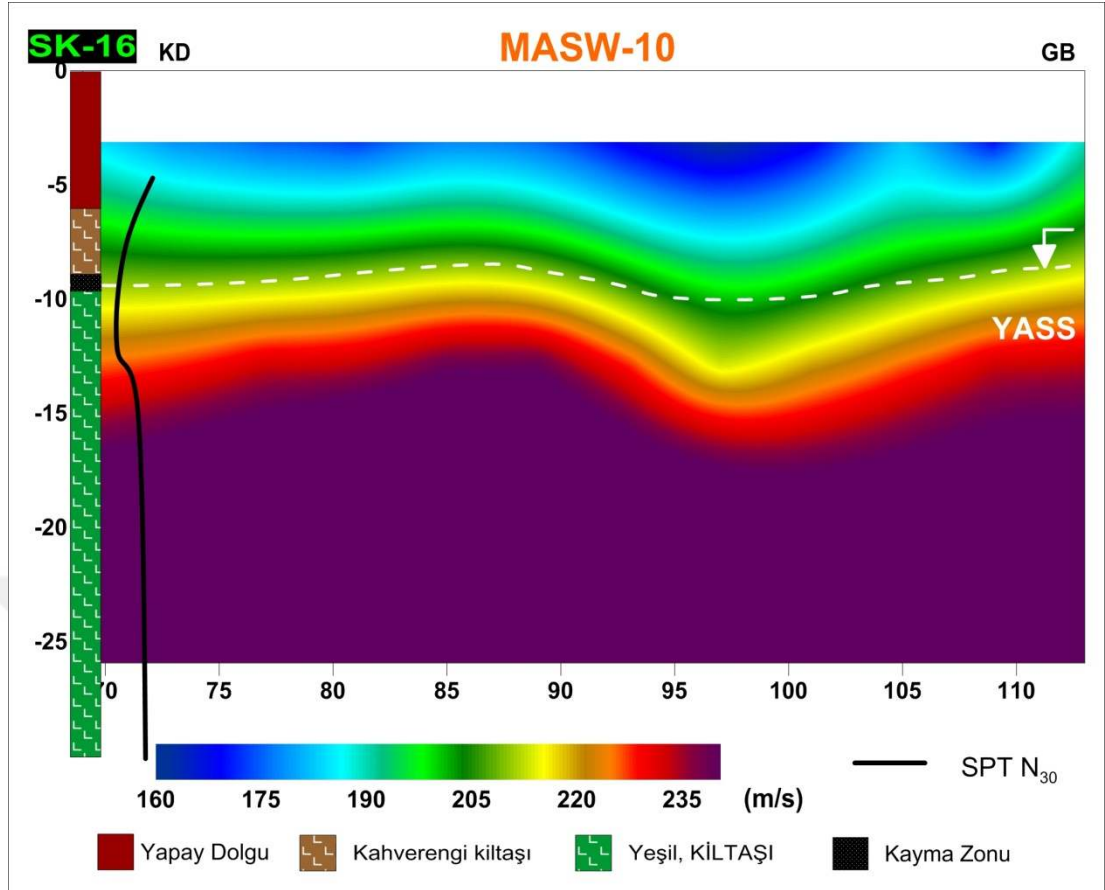
5.3.5 MASW-10 Hattı

MASW-10 hattı heyelanın aktif olduğu Mühendislik Fakültesi binasının KD'sundaki kısımda bulunmaktadır. Hat uzunluğu 48 metredir ve ölçümler GB'dan KD'ya doğru yapılmıştır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 Mühendislik Fakültesinin kuzeydoğusunda yapılan MASW çalışmasının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

MASW-10 ölçümü ERT hattının son 45 metrelik kısmında yapılmıştır. Buradan elde edilen verilerden oluşturulan MASW tomografi model kesiti Şekil 5.27’de verilmektedir. MASW kesitinden de görülebildiği gibi, yüzeye yakın olarak düşük hızlar hâkimdir ve hız değişimleri yaklaşık olarak 10 ile 12’ci metreler arasındadır olmaktadır. Hız model kesitindeki geometri ERT geometrisi ile büyük benzerlik taşımaktadır. ERT kesitinde görülen heyelanın kayma düzlemi MASW kesitinde de açıkça görülmektedir. Kesit üzerindeki SK-16 sondajı bulunmaktadır ve Vs hız kesiti ile sondaj sonucu karşılaştırıldığında, Vs dalgası hız değişimleri ile sondajda kesilen birimler arasındaki ilişki yüksektir. Ayrıca SPT verileri de hız değişimleri ile benzerlik taşımaktadır. Böylece ortamdaki değişimler açıkça ortaya konulabilmiştir. MASW kesitinde S dalga hızları 160 ile 280 m/s arasında değişmektedir. Kaymanın olduğu kısımda jeoteknik parametrelere ulaşmak için MASW verileri bir boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk tabakanın Vs dalga hızı 161 m/s ve ikinci tabakanın da 241 m/s olduğu görülmektedir. İlk katman kalınlığı 6,3 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,43, 0,35, $T_0=0,55$, $T_a=0,37$, $T_b=0,82$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 3,22 ve ikinci tabaka için 2,53, V_{S30} hızı ise 218,23 m/s olarak bulunmuştur. Buradan da görüldüğü gibi önceki heyelanlı sahada olduğu gibi, hız değerleri yüzeye yakın kısımlarda çok düşüktür ve heyelan olgusu ile ilişkili olmalıdır.



Şekil 5.27 MASW-10 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

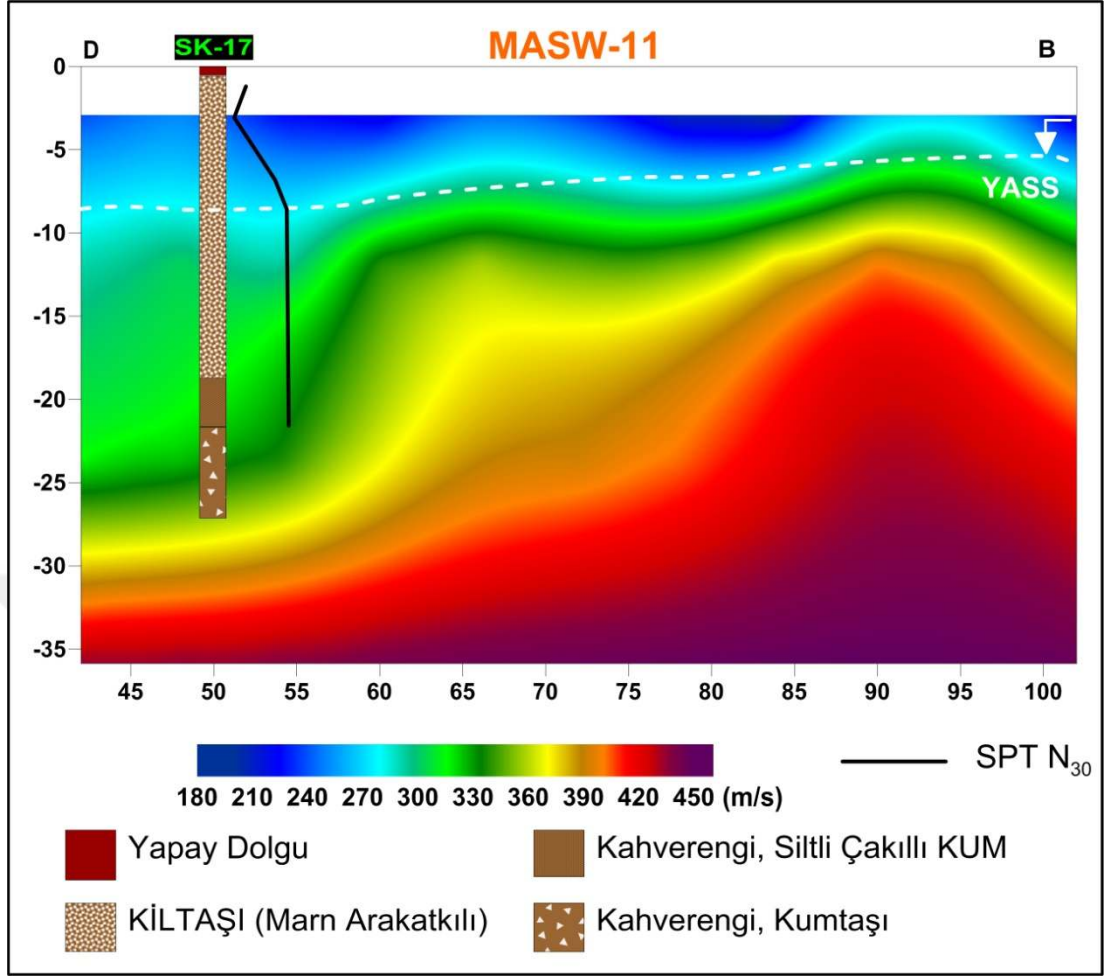
5.3.6 MASW-11 ve 12 Hatları

MASW-11 ve 12 hatları Veterinerlik Fakültesinin doğusundaki eğimli alan üzerinde alınmıştır. Veriler doğudan batıya doğru toplanmıştır ve hat uzunlukları her ikisinde de 60 metredir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 Veterinerlik Fakültesinin doğusunda yapılan MASW çalışmalarının uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmiş ölçüm planı.

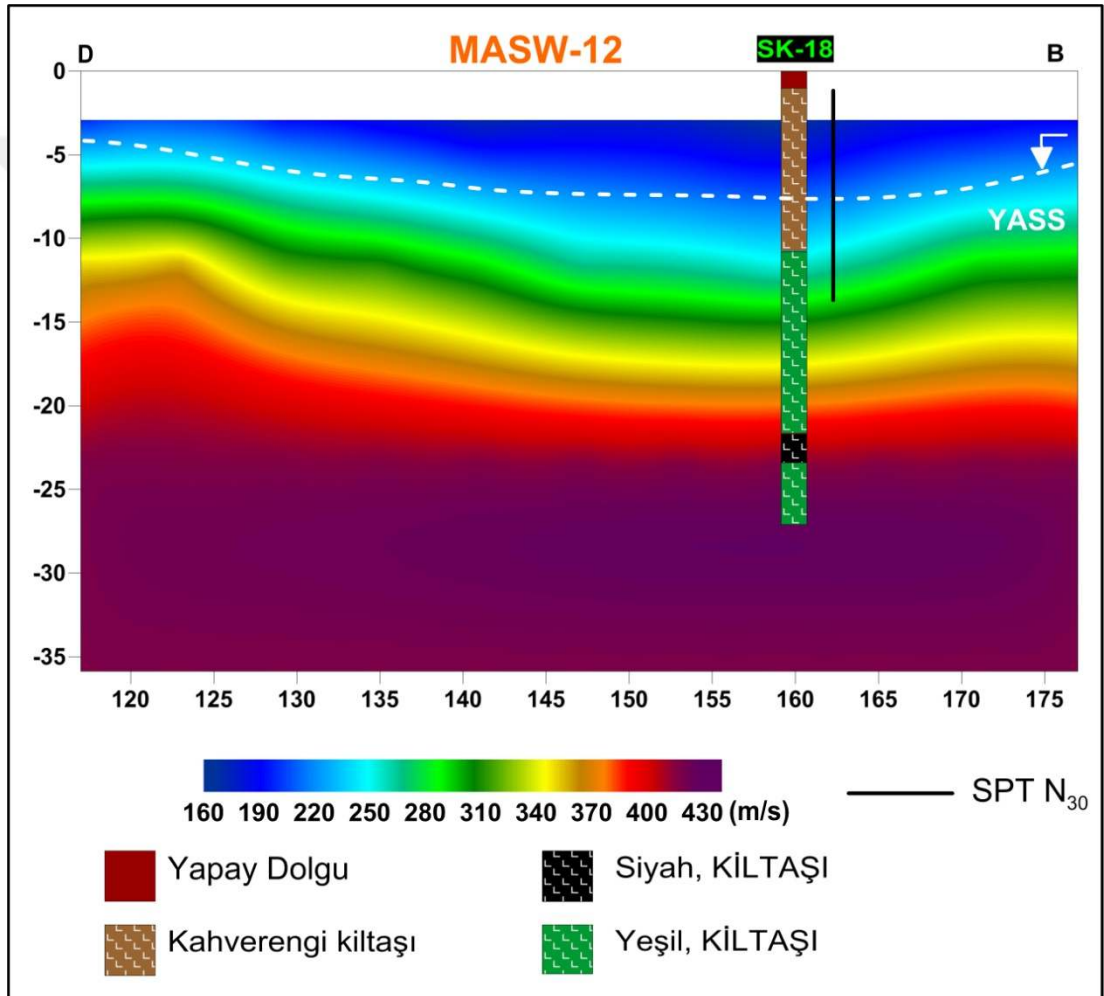
MASW-11 tomografik model kesitinde hızlar 180 ile 450 m/s arasında değişmektedir. Düşük hızlar daha çok alanın doğu kısmında görülmektedir ve ilk 10 m'ye kadar devam etmektedir. Daha sonra iki tabaka biçiminde artarak 450 m/s değerlerine ulaşmaktadır. Hattın batısında ise düşük hızlar 5 m civarına kadar devam etmektedir. MASW kesiti ERT'den daha farklı bir geometriye sahiptir. Bu kesit SK-17'nin SPT sonuçları ile karşılaştırıldığında anlamlı bir sonuç üretmektedir. Ortamın çakıllı-kumlu ve kumtaşlı olması SK-17 sondajının olduğu kısımda Vs hızlarının daha düşük çıkmasını sağlamıştır. Düşük hızlar batıya doğru daha ince bir dağılım sergilemektedir (Şekil 5.29). MASW-11 kesitinde SK-17'nin olduğu bölgede yapılan bir boyutlu çözümlemeler sonucunda gerekli jeoteknik parametreler elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk tabakanın Vs dalga hızı 225 m/s ve ikinci tabakanın da 291 m/s'dir. İlk katman kalınlığı 5,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,42, 0,40, $T_0=0,44$, $T_a=0,29$, $T_b=0,65$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2,64 ve ikinci tabaka için 2,26, V_{s30} hızı ise 275,38 m/s olarak bulunmuştur.



Şekil 5.29 MASW-11 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

MASW-12 kesitinde ise hızlar 160 ile 430 m/s arasında değişmektedir. Hız dağılımları bu kesitte daha yuvarlatılmış bir ondülasyona sahiptir (Şekil 5.30). ERT ile karşılaştırıldığında geometrilerin genel anlamda benzediği görülmektedir. Genelde sondajda kesilen birimler ile hız dağılımları arasındaki ilişki iyidir. Aynı biçimde MASW-12 içinde benzer işlemler yapılarak hesaplanan gerekli parametrelere göre ilk tabakanın Vs dalga hızı 198 m/s ve ikinci tabakanın da 453 m/s olduğu görülmektedir. İlk katman kalınlığı 8,8 m, poisson oranı tabakalar için sırasıyla 0,45, 0,35, $T_0=0,36$, $T_a=0,24$, $T_b=0,55$, zemin büyütmesi A birinci tabaka için 2.85 ve ikinci tabaka için 1,73, V_{S30} hızı ise 328,79 m/s olarak bulunmuştur. SK-18 sondajına yakın bir noktadan elde edilen bu parametreler bu bölgede kesme dalga hızlarının ikinci katman için daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum resistivite düşüşlerine karşın Vs kesme dalgalarının batıda daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak alanın batısında ilk tabakanın dalga hızları doğuya göre

daha düşüktür. Bu durum resistivite değerleriyle uyumludur. Sonuçta tüm jeoteknik parametreler bu alanda genelde birbirine benzerdir ve yerleşke alanının doğusundaki diğer yerlere göre daha iyi bir zemin özelliği taşımaktadır. Sonuç olarak, alanın bu kesiminde aktif bir heyelanın varlığı ile ilgili bir bulgu elde edilememiştir. Böylece, bu kesimin daha duraylı bir karakterde olduğu düşünülmektedir. Resistivitedeki değişim ortamın su içeriği ve sondajlarda kesilen kayaçların ve zeminin karakteristiği ile ilgili olmalıdır. Bu değişim Vs hızlarında çok bariz olarak ortaya çıkmamaktadır.



Şekil 5.30 MASW-12 hattının tomografik görüntüsü. Sondaj hat üzerindeki yerine yerleştirilmiştir.

BÖLÜM ALTI

JEOTEKNİK

Heyelan geometrisinin ve bu geometriyle ilişkili jeolojik birimlerin jeoteknik özellikleri heyelanın belirlenmesi anlamında heyelan öncesi ve özellikle heyelan sonrası araştırmalarda önem taşımaktadır. Bu çalışmada MASW tomografi uygulamalarıyla heyelan geometrisinin belirlenmesi hedeflenmiş ve her bir hat üzerinde bir ya da iki nokta seçilerek bu noktalar üzerinde yapılan jeoteknik parametre hesabıyla da heyelan oluşturan zeminin özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla 12 hat üzerinde çok kanallı yüzey dalgası analizi yapılmış ve bu hatlar üzerinde toplam 22 noktada zeminin mekanik ve dinamik parametrelerinin tespiti amacıyla jeoteknik hesaplamalar yapılmıştır. Sahada gerçekleştirilen MASW çalışmaları onucunda iki boyutlu olarak belirlenen Vs hızları yardımıyla, jeoteknik çalışmalarla hesaplanması olası olmayan yerin dinamik ve esneklik özelliklerini ortaya koyan yoğunluk (ρ), maksimum kayma modülü (G_{max}), Young modülü (E_d), Poisson oranı (ν), bulk modülü (K), sismik hız oranı (V_p/V_s) ve Vs30 (m/s) değeri ayrı ayrı iki boyutlu ortamdaki her bir tabaka için hesaplanmıştır. İlerleyen bölümde her bir parametreye ait bilgiler ayrıntılı olarak verilmektedir.

6.1 Vs₃₀ Dalga Hızları

Kayıtlar üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda araştırma alanının 2 ile 3 tabakadan oluştuğu tespit edilmiştir. MASW tomografi çalışması yapılmış olan MASW hatları üzerinde hız değişimlerinde farklılık gözlenen iki nokta seçilerek bu noktaların jeoteknik parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Vs₃₀ hızlarının alanda 218,23 ile 353,56 m/s aralığında değiştiği görülmüştür (Tablo 6.1).

Tablo 6.1 MASW verilerinin Vs30 değerleri ve zemin sınıfları

MASW Ölçü Noktası	Metre	Vs30 (m/sn)	Zemin Sınıfı
MASW-1	18	353,56	C
	42	341,43	C
MASW-2	12	343,87	C
	54	327,65	C
MASW-3	20	311,98	C
	35	337,38	C
MASW-4	30	279,79	C
	45	284,98	C
MASW-5	40	309,57	C
MASW-6	15	279,13	C
	25	273,39	C
MASW-7	36	230,76	C
	40	228,51	C
MASW-8	42	235,42	C
	66	246,65	C
MASW-9	6	285,95	C
	66	296,66	C
MASW-10	16	218,23	C
	28	234,06	C
MASW-11	12	275,38	C
	60	329,05	C
MASW-12	42	328,79	C

İnceleme sahasının jeolojik yapısı ve Vs₃₀ hızlarının aritmetik ortalamaları dikkate alınarak zemin tanımlamaları yapılmıştır. Vs₃₀ hızlarının aritmetik ortalaması 288,74 m/s olarak hesaplanmış ve zemin sınıfının C zemin sınıfı grubunda olduğu görülmüştür. Bu anlamda zemin Vs₃₀ değerlerine göre katı zemin sınıflaması içerisinde (Tablo 6.2).

Tablo 6.2 Kohezyonlu Zeminlerin Vs Hızlarına Göre Sınıflandırılması (Özaydın, 1982)

S dalga hızı (m/s)	Zemin Durumu
<200	Yumuşak-orta katı
200-300	Katı
300-500	Çok katı
500-750	Sert

6.2 Elastisite (Young) Modülü

Malzemelerin esneklik özelliklerini denetleyen modüllerden biridir. Zemin ve kaya ortamlarındaki deformasyon birincil olarak elastik parametreler yoluyla ortaya çıkar. Böylece zemin dayanıklılığı ve direnci hakkında bilgi elde edilebilir. MASW tomografi çalışması yapılmış olan MASW hatları üzerinde hız değişimlerinde farklılık gözlenen iki nokta seçilerek bu noktaların jeoteknik parametre hesaplarına göre bulunan elastisite modül değerleri Tablo 6.3’de verilmektedir.

Tablo 6.3 MASW verilerinden yeraltısı üstü ve altı için hesaplanan elastisite modül değerleri

MASW Ölçü Noktası	Metre	Young modülü (kg/cm ²) 1. KAT	Young modülü (kg/cm ²) 2. KAT
MASW-1	18	4653,23	5678,01
	42	3537,11	5678,01
MASW-2	12	3022,59	7073,38
	54	3142,46	5896,32
MASW-3	20	1889,77	5238,9
	35	2017,25	6272,66
MASW-4	30	1509,74	4047,25
	45	1554,51	4182,71
MASW-5	40	2455,41	4653,23
MASW-6	15	1848	3724,39
	25	1992,2	3489,01
MASW-7	36	1269,94	2296,56
	40	1233,49	2264,03
MASW-8	42	1393,64	2487,68
	66	1813,28	2554,48
MASW-9	6	1758,38	4393,64
	66	2284,39	4393,64
MASW-10	16	1055,96	2308,87
	28	1260,07	2556,16
MASW-11	12	2216,99	3824,92
	60	2039,25	6551,16
MASW-12	42	1804,34	9528,96

Çalışma alanında elastisite parametresini hesaplayabilmek için ilk tabakaya ait değerler ve sonrasında 30 m’ye kadar tabakaların ortalama değerleri kullanılmıştır. 30 m’ye kadar iki tabaka olarak düşünülen alan için hesaplanan Young modülü

değerleri Tablo 6.4’de verilmektedir. Tablodan da görülebildiği gibi, ilk katman gevşek ve orta sağlam, ikinci katman ise orta sağlam grup içinde değerlendirilmektedir.

Tablo 6.4 Young modülüne göre zemin sınıfları (Özçep, 2005; Tezcan ve diğer., 2006)

1.KATMAN		2. KATMAN	
Young modülü (kg/cm ²)	Zemin Durumu	Young modülü (kg/cm ²)	Zemin Durumu
0-2000	Gevşek	0-2000	Gevşek
2000-10000	Orta Sağlam	2000-10000	Orta Sağlam
10000-30000	Sağlam	10000-30000	Sağlam
30000<	Çok Sağlam	30000<	Çok Sağlam

6.3 Kayma Modülü

Kayma modülü makaslama gerilmelerine karşı formasyonun direncini göstermektedir. Sıvılarda makaslama direnci olmadığından, sıvılar için değer sıfır kabul edilir. Bu modülün değerindeki büyüme makaslama gerilmelerine karşı direncin yüksekliğini gösterir. Böylece kayma modül değerleri yüksek ortamlar Vs dalgasına karşı büyük bir esneme direnci gösterecektir. Esneme direncinin düşük olduğu durumlarda yapılarda kiriş ve kolonlarda hasarlar ve duvarlarda "X" biçimli çatlaklar ortaya çıkar. MASW verilerine göre çalışma alanında hatlara göre iki katmanlı yer modeli için hesaplanan kayma modülü değerleri Tablo 6.5’de verilmektedir.

Tablo 6.5 MASW verilerinden hesaplanan kayma modülü değerleri

MASW Ölçü Noktası	Metre	Kayma Modülü (kg/cm ²) 1. KAT	Kayma Modülü (kg/cm ²) 2. KAT
MASW-1	18	1719,75	2102,48
	42	1263,49	2102,48
MASW-2	12	1065,79	2627,73
	54	1124,24	2148,57
MASW-3	20	668,37	1924,46
	35	703,22	2367,3
MASW-4	30	531,82	1494,54
	45	548,74	1553,14
MASW-5	40	874,55	1719,75
MASW-6	15	662,1	1376,46
	25	719,51	1276,72
MASW-7	36	464,28	851,41
	40	449,18	837,34
MASW-8	42	499,28	928,11
	66	672,33	957,93
MASW-9	6	618,65	1602,34
	66	822,02	1602,34
MASW-10	16	370,1	853,53
	28	447,31	963,08
MASW-11	12	779,94	1362,17
	60	704,78	2399,07
MASW-12	42	620,61	3527,09

Yerleşke alanının genel zemin durumu hakkındaki kayma modül değerlerine göre belirlenen zemin sınıfı ise Tablo 6.6'da verilmektedir. Bu tabloya göre ilk katman gevşek ve orta sağlam, ikinci katman ise orta sağlam zemin grubuna girmektedir.

Tablo 6.6 Kayma modülüne göre zemin sınıfları (Özçep, 2005; Tezcan ve diğ., 2006)

1.KATMAN		2.KATMAN	
Kayma modülü (kg/ cm ²)	Zemin Durumu	Kayma modülü (kg/ cm ²)	Zemin Durumu
0-600	Gevşek	0-600	Gevşek
600-3000	Orta Sağlam	600-3000	Orta Sağlam
3000-10000	Sağlam	3000-10000	Sağlam
10000<	Çok Sağlam	10000<	Çok Sağlam

6.4 Poisson Oranı

Bir maddenin bir doğrultuda sıkıştırılması o maddede sıkıştırma doğrultusuna dik iki yönde bir genişlemeye neden olur. Böylece enine kısılmanın boyuna uzamaya oranı olarak bilinen bu olay hesaplanabilir bir değerdir (ν). Poisson oranı basit bir bağıntı yoluyla sıkıştırma oranına bağlı olarak genişleme oranını elde etmeye olanak sağlar ve bu oran 0 ile 0,5 arasında değişim gösterir. Böylece Poisson oranı zeminin gözenekliliği-kırıklılığı özelliklerine bağlı olarak sıvı ve gaz içerikleri ile katılığı hakkında önemli bilgiler verir. Eğer değerler 0,5 ise ortam sıvı, 0 ise ortam gaz içeriğine doğru gider. Bunların ortalaması olan 0,25 değeri ise katı ortamların durumunu ortaya koyar ve poisson katılığı olarak da bilinir. Bu değerler ortamın suya doygun, kırıklı ve çatlaklı olmasına göre değişim gösterir. Alandan elde edilen verilerin hatlardaki seçilen noktalara bağlı olarak hesaplanan poisson değerleri Tablo 6.7’de verilmektedir.

Tablo 6.7 MASW verilerinden hesaplanan Poisson oranları.

MASW Ölçü Noktası	Metre	Poisson Oranı 1. KAT	Poisson Oranı 2. KAT	Vp/Vs 1. KAT	Vp/Vs 2. KAT
MASW-1	18	0,35	0,35	2,1	2,08
	42	0,4	0,35	2,45	2,08
MASW-2	12	0,42	0,35	2,66	2,06
	54	0,4	0,37	2,43	2,22
MASW-3	20	0,41	0,36	2,61	2,14
	35	0,43	0,32	2,93	1,96
MASW-4	30	0,42	0,35	2,68	2,1
	45	0,42	0,35	2,64	2,06
MASW-5	40	0,4	0,35	2,49	2,1
MASW-6	15	0,4	0,35	2,41	2,1
	25	0,38	0,37	2,31	2,18
MASW-7	36	0,37	0,35	2,19	2,07
	40	0,37	0,35	2,22	2,09
MASW-8	42	0,4	0,34	2,41	2,03
	66	0,35	0,33	2,07	2
MASW-9	6	0,42	0,37	2,71	2,21
	66	0,39	0,37	2,35	2,21
MASW-10	16	0,43	0,35	2,8	2,1
	28	0,41	0,33	2,54	1,97
MASW-11	12	0,42	0,4	2,71	2,49
	60	0,45	0,37	3,22	2,17
MASW-12	42	0,45	0,35	3,43	2,09

İnceleme alanında MASW verilerinden hesaplanan poisson oranları 0,32 ile 0,45 arasında bulunmuştur. Bu verilere göre zemin sıkılığını ortaya koyan tanımlama Tablo 6.8’de sunulmaktadır. Bu tabloya göre de sıkılık oranları 1. Katman için çok gevşek ve 2. Katman için ise çok gevşek ve sıkı tanımlaması içindedir.

Tablo 6.8 Poisson oranlarına göre sıkılık (Özçep, 2005; Tezcan ve diğer.,2006)

1.KATMAN		2.KATMAN	
Poisson Oranı	Tanımlama	Poisson Oranı	Tanımlama
0,35-0,50	Çok gevşek	0,35-0,50	Çok gevşek
0,25-0,35	Sıkı	0,25-0,35	Sıkı
0-0,25	Çok sıkı	0-0,25	Çok sıkı

6.5 Zemin Büyütmesi

Zemin büyütmesi yüzeye yakın tabakaların Vs dalga hızına bağlı ortaya çıkan büyütme göstermektedir. Birçok araştırmacı tarafından değişik büyütme bağıntılarından en yaygın kullanılanlar aşağıdaki tabloda verilmektedir (Tablo 6.9).

Bu çalışmada Midorikawa (1987) tarafından verilen bağıntı kullanılmıştır. Zemin büyütme 30 metreye kadar olan Vs hızlarının ortalamaları alınarak yapılmıştır. Bu değerler yerleşkenin tüm MASW değerleri için Tablo 6.10'da verilmektedir.

Tablo 6.9 Vs dalga hızı ile bağıl büyütme katsayısı arasındaki ilişki

ARAŞTIRICILAR	İLİŞKİ
Midorikawa, (1987)	$A = 68(V_s30)^{-0,6}$ ($V_1 < 1100$ m/sn)
	$A = 1$ ($V_1 > 1100$ m/sn)
Joyner ve Fumal, (1984)	$A = 23(V_s30)^{-0,45}$
Borcherdt ve diğer., (1991)	$AHSA = 700/(V_s30)$ (zayıf hareket için)
	$AHSA = 600/(V_s30)$ (kuvvetli hareket için)

A: Maksimum yer hızı için göreceli büyütme faktörleri

AHSA: 0,4-0,2 s periyot aralığı içinde ortalama yatay spektral büyütme

V_1 : 30 m bir derinlik için ortalama S dalga hızı ($V_s, 30 = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{si})$)

V_2 : 1 sn.lik bir dalga için 1/4 dalga uzunluğu bir derinliğe karşılık gelen ortalama S dalga hızı.

Tablo 6.10 MASW verilerinin zemin büyütme değerleri

MASW Ölçü Noktası	Metre	Zemin Büyütmesi (kg/cm ²) 1. KAT	Zemin Büyütmesi (kg/cm ²) 2. KAT
MASW-1	18	2,1	1,99
	42	2,3	1,99
MASW-2	12	2,42	1,87
	54	2,37	1,99
MASW-3	20	2,74	2,04
	35	2,73	1,92
MASW-4	30	2,92	2,18
	45	2,89	2,16
MASW-5	40	2,54	2,1
MASW-6	15	2,73	2,23
	25	2,67	2,28
MASW-7	36	2,99	2,53
	40	3,02	2,54
MASW-8	42	2,95	2,47
	66	2,7	2,45
MASW-9	6	2,81	2,15
	66	2,58	2,15
MASW-10	16	3,22	2,53
	28	3,05	2,44
MASW-11	12	2,64	2,26
	60	2,74	1,93
MASW-12	42	2,85	1,73

Yapılan hesaplamalarda MASW verilerine göre büyütme değerleri ilk katman için 2,1-3,22 ve ikinci katman için 1,73-2,54 arasındadır. Burada zemin büyütmesi 1,73-3,22 aralığında yer almakta ve tehlike düzeyi A (düşük) ve B (orta) grupları içerisinde yer almaktadır. Çalışma sahası için zemin büyütme değerlerinin 1. ve 2. katmanlar için değerleri ve tehlike düzeyleri Tablo 6.11’de verilmektedir.

Tablo 6.11 Zemin hâkim titreşim periyodu ile büyütme arasındaki ilişki (Ansal, 2004)

1. Katman		2. Katman	
Büyütme	Tehlike Düzeyi	Büyütme	Tehlike Düzeyi
0,0 – 2,5	A (Düşük)	0,0 – 2,5	A (Düşük)
2,5 – 4,0	B (Orta)	2,5 – 4,0	B (Orta)
4,0 – 6,5	C (Yüksek)	4,0 – 6,5	C (Yüksek)

6.6 Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T_0)

Zeminler V_s dalga hızlarına ve katman kalınlıklarına göre belirli bir titreşim karakteristiğine sahiptirler. Kayalık ortamlar ve sıkı kayalarda hızlı bir salınım varken, gevşek jeolojik birimlerde salınım yavaştır. Özellikle sağlam bir kaya tabakasının üzerindeki yumuşak ve alüvyal zeminler bu titreşimler açısından önem taşır. Böylece ortamın hızlı salındığı yerlerde az katlı yapılar, yavaş salındığı yerlerde ise çok katlı yapılar bu durumdan etkilenir. Gevşek ortamlarda ivme değeri büyükken, kaya türü ortamlarda ise küçük değerler alır. Bu durumda ivmenin büyük olduğu yerlerde çok katlı yapılar, küçük olduğu yerlerde ise az katlı yapılar etkilenir. Her zeminin kendine ait bir hâkim titreşim periyodu (T_0) vardır. Bu periyot Kanai (1983) tarafından,

$$T_0 = 4 \sum \frac{H_i}{V_{s_i}} \quad (6.1)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Burada H_i : i 'inci tabaka kalınlığı; V_{s_i} ise i 'inci S dalga hızını göstermektedir. Titreşimlerin genlikleri arttıkça, kayma modülünde ve S dalga hızında azalma olacağı için hakim periyot değeri dereceli olarak düşer ve çok kuvvetli deprem halinde doğrusal olmayan davranıştan dolayı hakim periyot kalmaz. Tabakaların özellikleri birbirine yakın ise, ortalama V_s hızına sahip ve H kalınlığında tek bir tabaka varmış gibi hesaplamada yapılabilir. Ama doğru olanı uygun katmanları saptayarak, katman sayısına bağlı çözümü yerine getirmektir. Zemin hâkim titreşim periyodundan yararlanarak T_a ve T_b olarak adlandırılan zeminin alt ve üst titreşim periyotları elde edilebilir (Özçep, 2007). Bunlar;

$$T_a = 0,67 T_0 \quad (6.2)$$

ve

$$T_b = 1,5 T_0 \quad (6.3)$$

bağıntıları ile verilebilir (Aytun, 2001).

Araştırma alanında yapılan hesaplamalarda elde edilen T_0 , T_a ve T_b değerleri Tablo 6.12’de verilmektedir.

Tablo 6.12 MASW verilerinin T_0 , T_a , T_b değerleri

MASW Ölçü Noktası	Metre	T_0	T_a	T_b
MASW-1	18	0,34	0,23	0,51
	42	0,35	0,24	0,53
MASW-2	12	0,35	0,23	0,52
	54	0,37	0,25	0,55
MASW-3	20	0,38	0,26	0,58
	35	0,36	0,24	0,53
MASW-4	30	0,43	0,29	0,64
	45	0,42	0,28	0,63
MASW-5	40	0,39	0,26	0,58
MASW-6	15	0,43	0,29	0,64
	25	0,44	0,29	0,66
MASW-7	36	0,52	0,35	0,78
	40	0,53	0,35	0,79
MASW-8	42	0,51	0,34	0,76
	66	0,49	0,33	0,73
MASW-9	6	0,42	0,28	0,63
	66	0,4	0,27	0,61
MASW-10	16	0,55	0,37	0,82
	28	0,51	0,34	0,77
MASW-11	12	0,44	0,29	0,65
	60	0,36	0,24	0,55
MASW-12	42	0,36	0,24	0,55

Çalışma sahası için zemin hakim titreşim periyodunun üst sınır değeri MASW ölçüsünde ortalama T_0 : 0,34-0,55 s olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Ansal (2004)’e göre A-B düşük-orta tehlike sınıfına girmektedir. Bu alandan elde edilen veriler ise B sınıfı içindedir ve Tablo 6.13’de verilmektedir.

Tablo 6.13 Türk deprem yönetmeliğine göre T_0 değeri için zemin sınıflaması.

Zemin hâkim titreşim periyodu aralığı	Sınıfı
0,10 – 0,30 s	A
0,30 – 0,50 s	B
0,50 – 0,70 s	C
0,70 – 1,00 s	D

Elde edilen verilerden hesaplanan T_a ve T_b değerlerine göre Türk Deprem Yönetmeliği Yerel Zemin Sınıflamasına göre ise alanda ortalama değerler üzerinden yapılan hesaplamalara göre zemin sınıfı Z4 aralığında bulunmaktadır (Tablo 6.14).

Tablo 6.14 Türk deprem yönetmeliğine göre T_a ve T_b değerlerini ve zemin sınıflaması.

Yerel zemin sınıfı	T_a (saniye)	T_b (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

6.7 Alanın Genel Zemin Koşulları

Alanda yapılan standart penetrasyon, sıkılık, kayma dalgası ve diğer zemin parametreleri ve modülleri genel anlamda irdelendiğinde zeminin genelde C2-C3 sınıfında olduğu, bazı lokasyonlarda ise B3 türü zemin özelliklerinin görüldüğü belirtilmelidir.

Tablo 6.15 Zemin Grupları (İMO, 1998)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	-	-	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	>50	85-100	-	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	-	>400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	-	-	<500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10-30	35-65	-	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil	8-16	-	100-200	200-300
(D)	1. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	<200
	2. Gevşek kum	<10	<35	-	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil	<8	-	<100	<200

BÖLÜM YEDİ

TÜMLEŞİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Jeofizik sonuçların tümleşik yorumu yeraltı sorunlarının daha doğru tanımlanmasına ve yeraltındaki değişimlerin daha gerçekçi biçimde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla çalışma alanındaki heyelan olgusunun da tanımlanmasında ERT ve MASW tomografi sonuçlarının birlikte yorumlanması ve özellikle bunların sondaj ile hesaplanan jeoteknik parametreler de göz önüne alınarak irdelenmesi (Tablo 7.1) buradaki sorunun daha ayrıntılı belirlenmesine olanak verecektir. Bu amaçla bu bölümde ERT ve MASW sonuçlarına göre heyelanın belirgin olarak görüldüğü kısımlarda tümleşik yorumlar yapılarak, heyelanın genel karakteristiği ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla alanda ölçümü ve modellemesi yapılan ERT-1, 2, 4 ve 5 ile MASW-1,2,3,4,5,8,9 ve 10 hatları tümleşik yoruma tabi tutulmuştur. Ayrıca yorumlama aşamasında bu hatlardaki sondaj sonuçları, SPT ölçümleri ve jeoteknik sonuçlarda jeofizik sonuçlarla birlikte irdelenmiştir.

Tablo 7.1 Jeoteknik parametreler tablosu

Hat No	Vs30	Elestisite (Young) Modülü		Kayma Modülü		Poisson Oranı		Zemin Büyütmesi		To	Ta-Tb
		1. Katman	2. Katman	1. Katman	2. Katman	1. Katman	2. Katman	1. Katman	2. Katman		
MASW-1	C Sınıfı	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Çok gevşek	Çok gevşek	A (Düşük)	A (Düşük)	B	Z4
MASW-2	C Sınıfı	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Çok gevşek	Çok gevşek	A (Düşük)	A (Düşük)	B	Z4
MASW-3	C Sınıfı	Gevşek	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Çok gevşek	Çok gevşek	B (Orta)	A (Düşük)	B	Z4
MASW-4	C Sınıfı	Gevşek	Orta Sağlam	Gevşek	Orta Sağlam	Çok gevşek	Çok gevşek	B (Orta)	A (Düşük)	B	Z4
MASW-5	C Sınıfı	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Çok gevşek	Sıkı	B (Orta)	A (Düşük)	B	Z4
MASW-8	C Sınıfı	Gevşek	Orta Sağlam	Gevşek	Orta Sağlam	Çok gevşek	Sıkı	B (Orta)	A (Düşük)	B-C	Z4
MASW-9	C Sınıfı	Gevşek	Orta Sağlam	Gevşek	Orta Sağlam	Çok gevşek	Çok gevşek	B (Orta)	A (Düşük)	B	Z4
MASW-10	C Sınıfı	Gevşek	Orta Sağlam	Gevşek	Orta Sağlam	Çok gevşek	Sıkı	B (Orta)	A (Düşük)	C	Z4

7.1 ERT-1 ve MASW-1, 2, 3, 4 Hatları

Heyelan incelemesi yapılan Yerleşke alanının doğusundaki yol boyunca ölçümü yapılan ERT ve MASW verilerinin model verileri Şekil 7.1’de verilmektedir. Şekilde üstte üzerine sondaj ve SPT sonuçları işlenmiş ERT model kesiti bulunmaktadır. MASW model kesitleri ise ERT kesitinin altında ölçüm hattındaki yerlerine bağlı

olarak, yine sondaj logları ve SPT eğrileri ile verilmektedir. ERT, MASW, sondaj, SPT ve jeoteknik özellikler birlikte irdelendiğinde;

Hattın güneydoğusunda MASW-1 hattının bulunduğu kısımda yüzeye yakın olarak (5 ile 10 m arasında) hafif ondülasyonlu bir düşük resistiviteli ortam bulunmaktadır. Bu ortamın altında ise yüksek resistiviteli bir birim gelmektedir. Bu ortamların sınırı MASW kesitleri üzerine işlenmiştir. Kesitten de görüldüğü gibi bu sınır düşük Vs hızları ile yüksek Vs hızları arasındaki geçiş ile çok uyumludur. Sondaj sonuçları ERT'deki üstte bulunan düşük resistiviteli karbonatlı kumlu-kil sınırı ile çakışmaktadır. Aynı durum MASW kesitindeki düşük ve yüksek hızlar arasındaki sınıra karşılık gelmektedir. YSS'de bu derinlikte bulunduğu göz önüne alındığında, YSS'nin ortamın fiziksel değişiminde büyük önem teşkil ettiği görülmektedir. Ortada bulunan resistif tabaka kireçtaşı ve çakıllı kilden oluşmaktadır. Bu birim Vs hızları anlamında 300 m/s'nin üzerindedir ve ortamın daha sıkı olduğunu göstermektedir. Bunun altında bulunan düşük resistiviteli kum ve çakıllı kil genel anlamda yüksek Vs hız değerlerine sahiptir. Bu özelliği nedeniyle bunların yüksek konsolidasyonlu olduğu düşünülmektedir. Sondajın bulunduğu kısımdaki SPT verileri de hem ERT hem de Vs hız değişimleri ile çok uyumludur. Jeoteknik anlamda irdelendiğinde, V_{s30} hız değerlerine göre C zemin sınıfında ve katı özellikte olduğu, elastisite ve kayma modülü anlamında ilk katmanın gevşek-orta sağlam ve sonraki katmanın orta sağlam özellikte olduğu, Poisson oranları göz önüne alındığında ilk katman çok gevşek ve ikinci katman ise çok gevşek-sıkı özellikte, zemin büyütmesi anlamında ilk katman düşük-orta ve ikinci katman ise düşük tehlike düzeyindedir. Buradaki zemin Z4 sınıfında ve çok katı-siltli kil ile orta sıkı kum ve çakıl zemin tanımlamasında B ve C grubu zeminlere girmektedir. Sonuçta hattın bu kesiminde zeminin sorunlu olduğu ve özellikle ilk 10 m derinlikteki zeminin yerleşim koşulları açısından çok uygun olmadığı görülmektedir.

Bu hattın KB'sında ve çok yakınında bulunan MASW-2 hattının olduğu kesimde ERT model kesitinde yaklaşık olarak ilk 10 metrede yüksek resistiviteli ve bunun da altında düşük resistiviteli bir ortam bulunmaktadır. Resistivitelerin değiştiği bölgenin sınırı MASW model kesitine eklendiğinde aralarında çok iyi bir uyumun olduğu

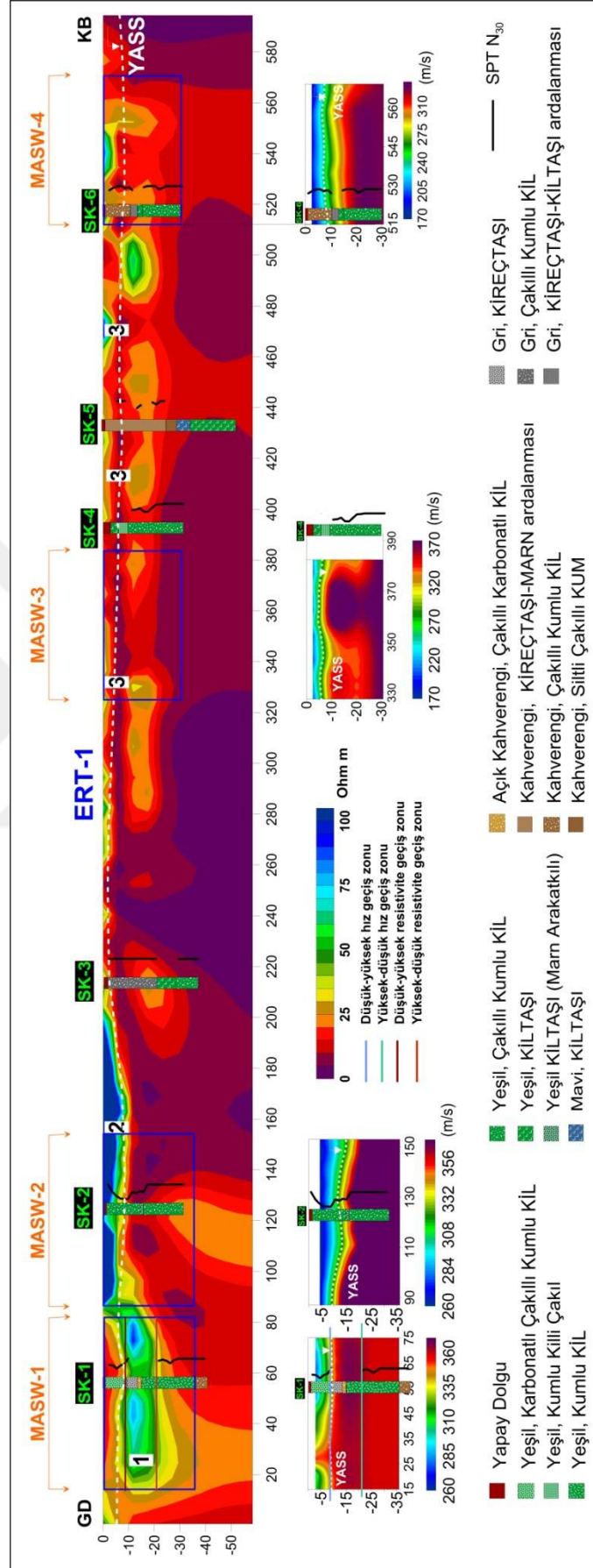
görülmektedir. Sondaj sonuçlarına göre bu kesimde genel anlamda çakıl ve kum içerikli kil kesilmiştir. Jeofizik veriler sondaj sonuçlarından daha ayrıntılı sonuçlar vermektedir. Özellikle Vs hız değerlerinin değiştiği kısımda birimde önemli bir değişimi olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum SPT verilerinde de açık biçimde görülmektedir. Ortamların resistivite değerlerinin çok düşük ve Vs hız değerlerinin yüksek olduğu göz önüne alındığında, buradaki killerin konsolide özellikte olduğu düşünülmektedir. Jeoteknik anlamda sonuçlar irdelendiğinde zemin özelliklerinin MASW-1 hattı ile çok benzer özellikler taşıdığı görülmektedir.

MASW-3 hattı ERT kesitinin 322 ile 382'ci metreleri arasındadır. ERT kesitinde genel düşük resistiviteler görülmektedir. Resistif anlamda ilk katman sınırı YSS ile çakışmaktadır ve resistivitedeki değişimde bunun etkisi açıkça görülmektedir. MASW kesitinde düşük ve yüksek Vs hızları arasındaki sınır YSS'nin altında ve yaklaşık 7.5 m civarındadır. Bu değişim ERT kesitinde de bariz olarak görülmektedir. MASW kesitinde yaklaşık 25 metreden sonra hız değerlerinde bir artış göze çarpmaktadır ve ERT kesitinde resistivite de bu bölümde bir düşme görülmektedir. Ayrıca yüksek Vs hızı 355 ile 375 metreler arasında yüzeye yaklaşmaktadır. Bu kısımda doğrudan bir sondaj olmamakla birlikte yaklaşık 10 metre uzaklıktaki sondaj sonuçları ile birlikte sonuçlar irdelendiğinde, birimler arasındaki geçişlerin bulunduğu sondajlar ile jeofizik sonuçlar arasında çok iyi bir uyum göze çarpmaktadır. Jeoteknik parametreler anlamında önceki MASW kesitleri ile çok benzer sonuçlar görülmektedir.

ERT hattı üzerindeki son MASW-4 hattı 515 ile 570 m arasındadır. Yüzeye yakın ve küçük bir alandaki yüksek resistivitenin dışında genelde düşük resistiviteli bir ortam hakimdir. Vs hızları arasındaki ana değişim yaklaşık 13 metre civarındadır ve sondajdaki ana birim değişimi ile uyumludur. Vs hız modeli genel anlamda yatay bir tabakalanmanın olduğunu göstermektedir. Bu durum ERT kesitinde de görülmektedir. Jeofizik veriler bu kısımdaki sondaj ile karşılaştırıldığında, birimler arası geçişlerin ve SPT değerlerinin uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Jeoteknik anlamda irdelendiğinde bu kısımda diğer hatlarla benzer özellikler gösterdiği saptanmıştır.

Alanın bu kısmı genel anlamda irdelendiğinde, doğrudan bir heyelan verisi ile karşılaşılacakla birlikte, zemin özellikleri anlamında benzer olduğu, jeofizik sonuçların birbirini doğruladığı, yüzeye yakın tabakalarda bazı değişimler görülmekle birlikte derinde aynı birimin bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle yüzeydeki bazı değişimler eski heyelanlarla ilişkili olabilir.

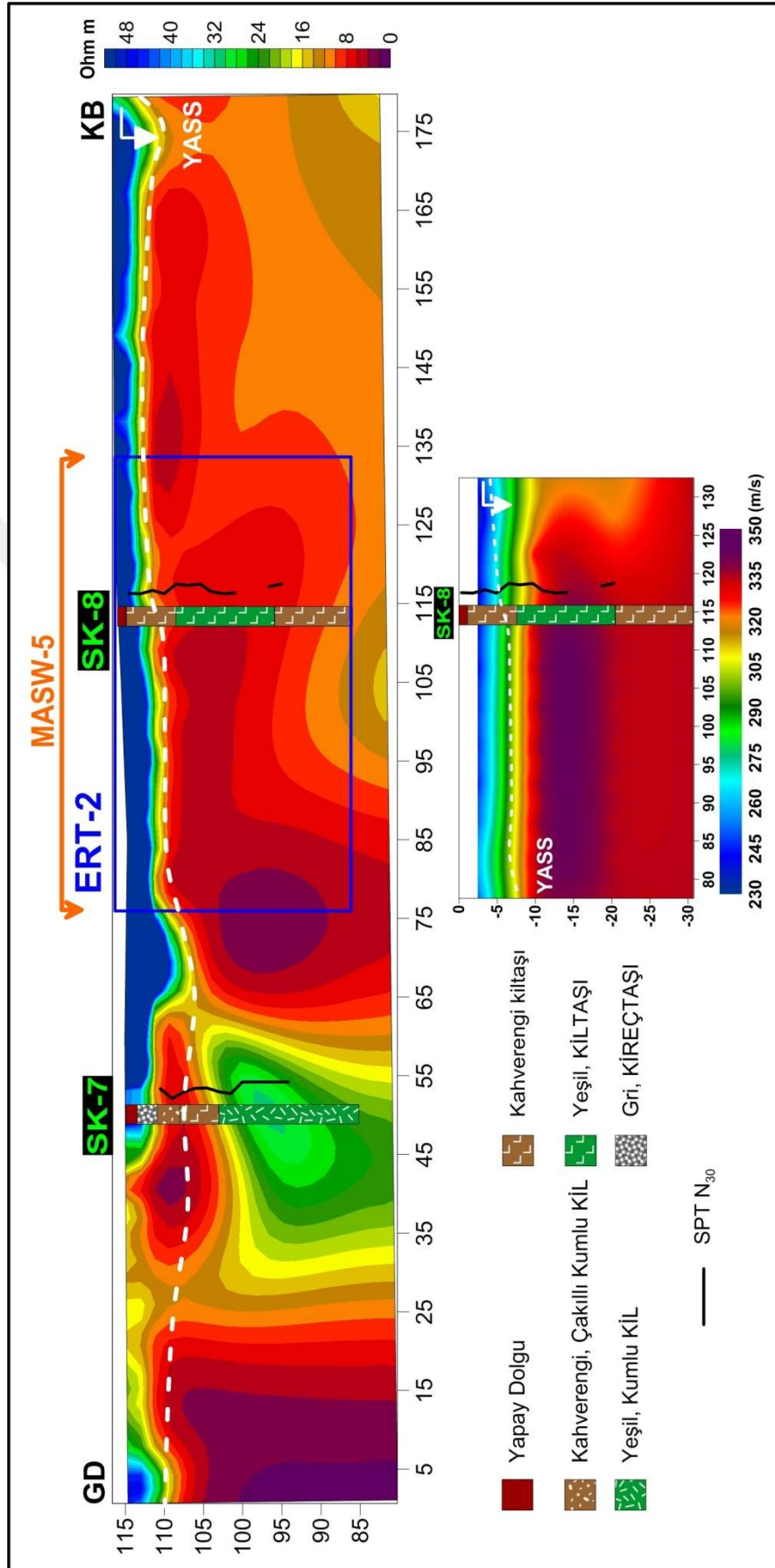




Şekil 7.1 ERT-1 ve MASW-1, 2, 3, 4 Hatları.

7.2 ERT-2 ve MASW-5 Hatları

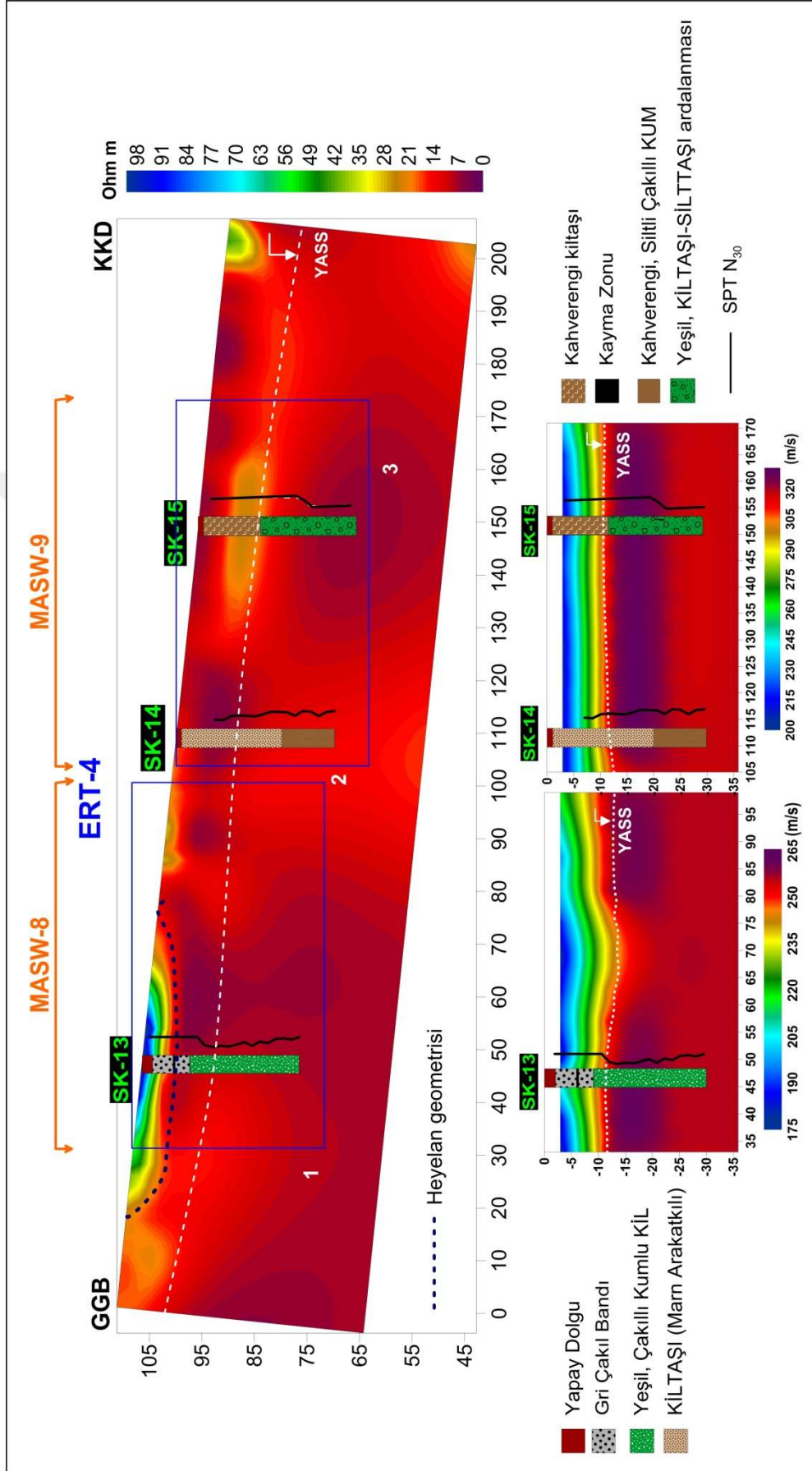
ERT-2 hattı Mühendislik Fakültesinin kuzeydoğusunda ve aktif heyelan izlerinin görüldüğü kısımdadır. Bu hattın orta bölümüne yakın olarak MASW-5 hattı bulunmaktadır. MASW hattının olduğu kısımda yaklaşık 5 m kalınlığında bir yüksek resistiviteli zon vardır. Bu zonun altında düşük resistiviteli ortam gelmektedir. MASW kesitinde ise yaklaşık olarak 7 m civarında düşük hızdan daha yüksek hıza girilmektedir. Her iki yöntemde de tabakaların geometrik biçimleri birbirine benzemektedir. Özellikle ikinci tabakadaki çok düşük resistiviteli ortam ile en yüksek Vs hız değerlerine sahip kısımlar arasındaki uyum çok iyidir. Sondaj sonuçları ile Vs hız değerleri ve resistivitelerin değişimleri arasındaki değişimler uyumludur ve birbirlerini bütünlemektedir. SPT değerleri ile de tabakalar arasındaki fiziksel değişimler arasında uyum görülmektedir. Jeoteknik hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerde önceki hattın değerleri ile çok benzer sonuçlar vermiştir. Genel anlamda alanın bu kesimindeki yüzeyaltı özelliklerinin önceki hat ile çok benzer özellikler gösterdiği belirtilebilir.



Şekil 7.2 ERT-2 ve MASW-5 Hatları.

7.3 ERT-4 ve MASW-8 ve 9 Hatları

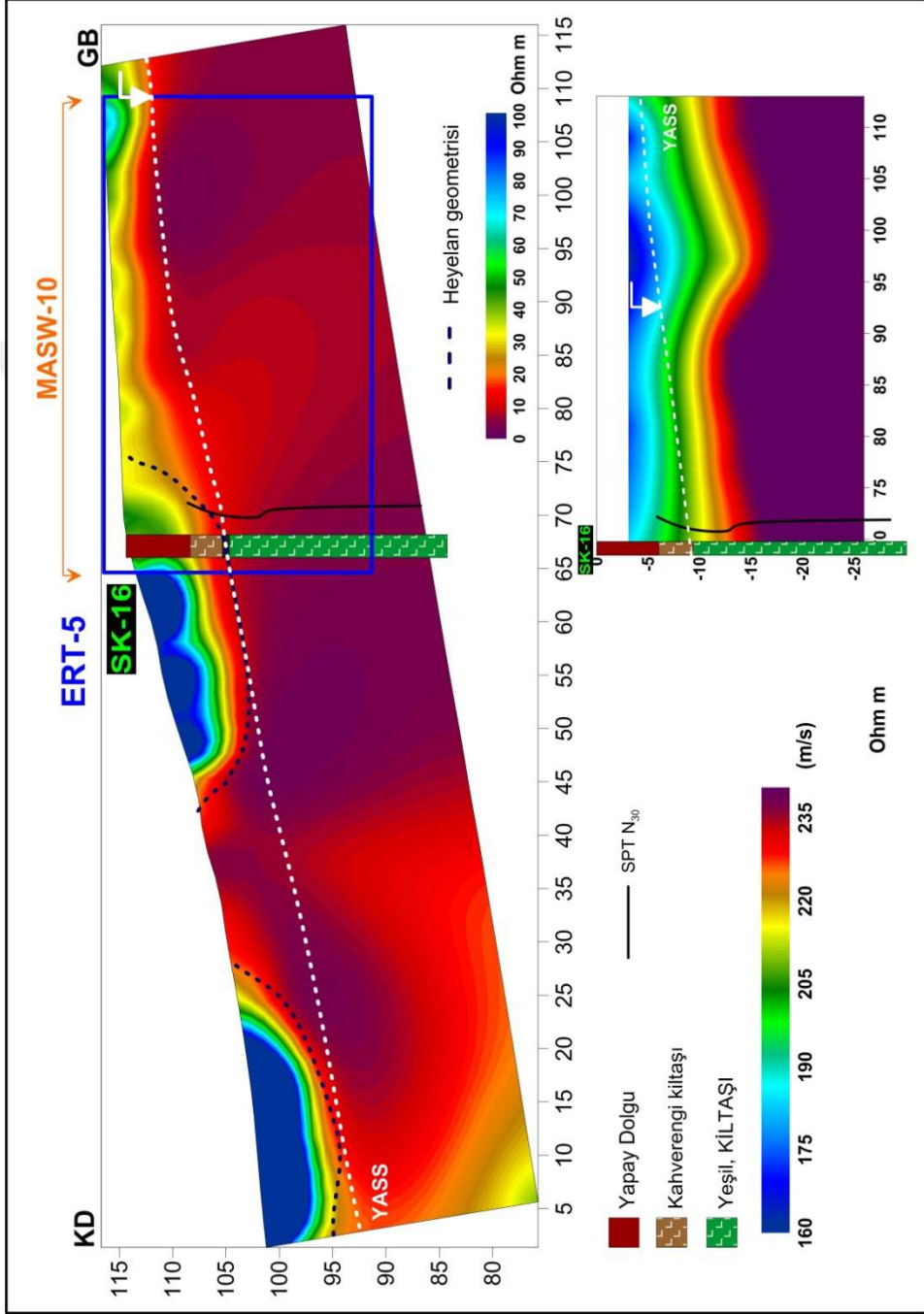
ERT-4 hattı MENZA binasının arkasında ve heyelanın kayma yönünde alınan bir hattır ve uzanımı GGB-KKD yönündedir. Hattın model kesitinde GGB’da bir heyelan geometrisi mevcuttur. Hem bu geometriyi hem de bunun devamındaki sismik Vs hızlarını belirlemek amacıyla MASW-8 ve 9 olarak adlandırılan iki hatta MASW tomografi ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen model kesitler Şekil 7.3’de ERT model kesiti ile birlikte verilmektedir. MASW-8 model kesitinde yüksek resistiviteli ve kaymaya uğrayan kısım Vs hızları anlamında oldukça düşük değerlerdedir ve bu durum malzemenin dağılması, gözenekliliğini artması ve karmaşılaşması ile ilişkili olmalıdır. Sondaj sonuçları ile Vs hız geçişleri arasındaki uyum çok iyidir. Özellikle yüksek Vs hızlarına karşılık gelen çakıllı-kumlu kil birimi hız anlamında açıkça ayrılmıştır. Geometrik anlamda da ERT kesiti ile bir uyumun varlığı görülmektedir. Diğer MASW hattında da yüzeye yakın ilk 10 metrelik kısımda düşük ve daha sonra yüksek Vs hızları bulunmaktadır. Hız geçişleri YSS ile ilişkilidir. Tabakalanma yatay bir özelliktedir. Hız değişimleri SK-15 sondajı ile uyumluyken, SK-14 için çok uyumlu değildir. Özellikle sondajlar arasındaki birim farklılıkları burada bir süreksizliğin varlığını işaret emektedir. Genel anlamda SPT değerleri resistivite ve Vs hız değişimleri ile ilişkili sonuçlar vermiştir. Jeoteknik parametreler ve zemin özellikleri anlamında önceki sonuçlarla benzer sonuçlarla karşılaşmıştır. Ancak her iki MASW model kesitinde de ilk tabakanın gevşek zemin özellikleri gösterdiği görülmektedir (Tablo 7.1). Bu durum buradaki heyelan olgusu ile ilişkili olmalıdır.



Şekil 7.3 ERT- 4 ve MASW-8, 9 Hatları.

7.4 ERT-5 ve MASW-10 Hatları

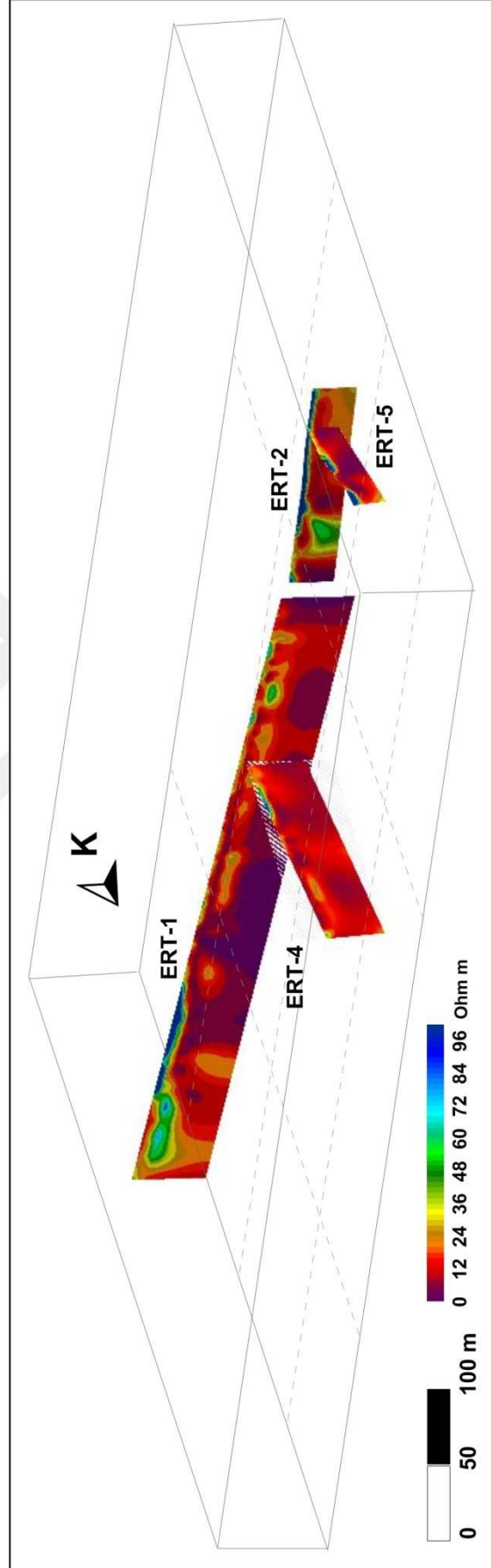
ERT-5 hattı Mühendislik Fakültesinin kuzeyindeki heyelanlı alanda heyelan geometrisi boyunca alınan bir hattır. Bu hattın ERT model kesitinde iki ayrı heyelan geometrisi açıkça görülmektedir. Kaymaya uğrayan yüksek resistiviteli kısımlar yaklaşık 5 ile 10 m derinliğine kadar görülmektedir. Heyelanının bulunduğu kısımdaki yüzey ve zemin koşulları burada MASW ölçüsü alınmasını olanaklı kılmamıştır. Bu nedenle hat üzerinde alınan MASW ölçüsü heyelanın taç kısmını oluşturan bölümden başlayarak GB'ya doğru alınmıştır. MASW kesitinin KD'sunda heyelan geometrisi açıkça görülmektedir. Yüzeye yakın ilk beş metreli kısımda Vs hız değerleri çok düşüktür (160-190 m/s). Bu düşüş burada kaymaya uğrayan tabaka ile ilişkili olmalıdır. Bunun altında hızlar kademeli olarak artmakta ise de genel anlamda alandaki en düşük Vs hız değerleri bu kısımdan elde edilmiştir. ERT ile MASW sonuçları birbirleri ile uyumludur ve her ikisi de sondajda elde edilen birimlerle ilişkili sonuçlar vermiştir. Jeoteknik değerlendirmede bir önceki heyelan içeren kısma çok benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır (Tablo 7.1). Genel anlamda hem heyelan geometrisinin belirlenmesi hem de yeraltına doğru tabakaların değişimleri anlamında ERT ve MASW yeraltının tanımlayıcı sonuçlar vermiştir.



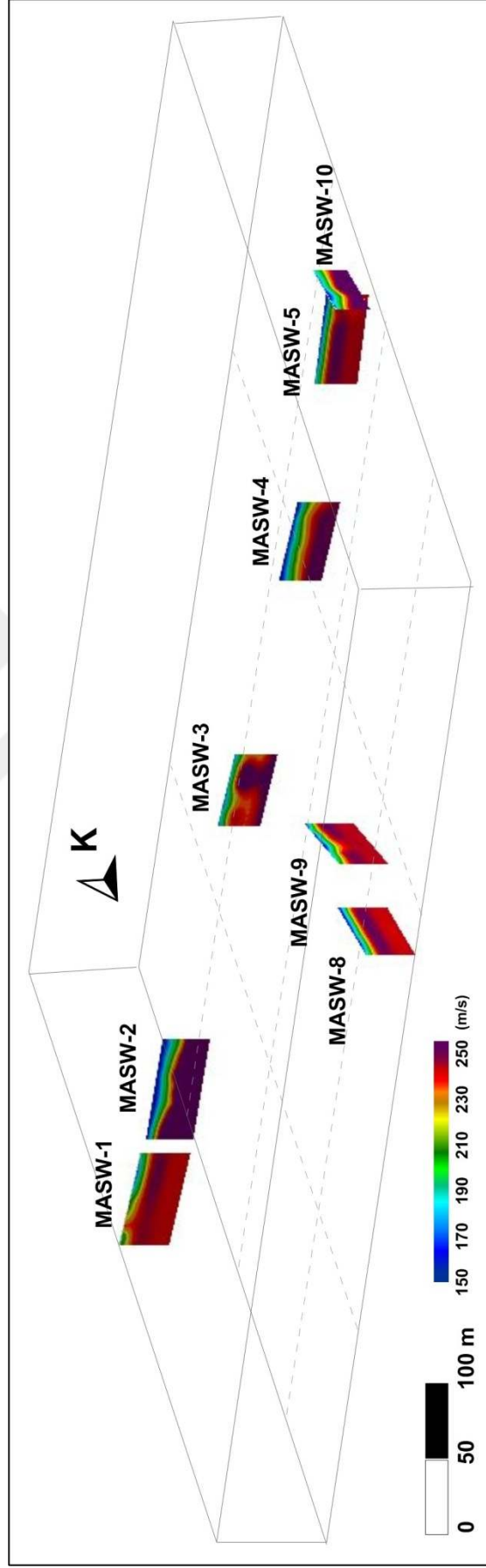
Şekil 7.4 ERT-5 ve MASW-10 Hatları.

Çalışma alanının ERT ve MASW model kesitlerini ortak yorumlamada kolaylık sağlaması açısından her ikisi de bir çit (fence) gösterim tekniği ile görüntülendirilmiştir (Şekil 7.5 ve 7.6). Çit gösterimleri sonucunda heyelan geometrilerinin bulunduğu kısımların açıkça görüldüğü belirtilmelidir. Şekil 7.5’de verilen ERT fence diyagramında heyelanlı bölgelerdeki üst tabaka resistivite değerleri yüksekken, alt tabaka resistivite değerlerinde önemli düşüşler vardır. YSS’nin etkisi kesitlerde daha açık biçimde görülmektedir. Özellikle önemli iletkenlik değerlerine sahip ve kırmızı renk ile gösterilen ortam hatların genel karakteristiğini ortaya koymakta bu hatların yüzeye yakın bölümlerinde yer yer yüksek resistiviteli alanların heyelan sonucu kayan birimler olduğu düşünülmektedir. ERT kesitlerinde heyelan gelişimine müsait kısımlarda yüksek resistiviteli molozlu ve yüksek gözenekli birimleri düşük resistiviteli iletken ortamlar izlemektedirler. ERT sonuçları alanda 50 metre derinliğe kadar olan kısımlardaki zonları ve bunların geometrik biçimlerini ortaya çıkarmakla birlikte bunların sıvı içeriği ile ilgili bilgiler de verdiğinden ortamın gözeneklilik, kil içeriği ve tabakalardaki sıvı içeriğine ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır (Şekil 7.5).

MASW hatlarının kuzeyden bakış açılara göre verilen fence diyagramı Şekil 7.6’da verilemektedir. Bu diyagrama göre alanın genelinde yüzeyde düşük hızlara sahip tabakaların bulunduğu ve derine inildikçe hız değerlerinde artış olduğu görülmektedir. S dalga hızlarının küçük olması nedeniyle, zemin anlamında bölgenin uygun özellik taşımadığı görülmektedir. Özellikle mavi renk tonlarında gösterilen düşük hızlar güncel ya da eski heyelanlara karşılık gelmelidir. Fence diyagramında daha derinde ve kırmızı renk tonları ile gösterilen ve genelde birbirini izleyen tabakalar Güngören formasyonu içinde çok ani değişikliklerin olmadığını ortaya koymaktadır. Böylece elektriksel iletkenliği yüksek ama hız değerleri genel anlamda düşük hızların kohezif özelliği yüksek killerden ve siltli, çakıllı birimlerden oluşabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7.5 Çalışma sahasının kuzeyden bakış açısına göre ERT fence diyagramı.



Şekil 7.6 Çalışma sahasının kuzeyden bakış açısına göre MASW fence diyagramı.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışma konusu içerisinde çalışma alanının doğu kısmında görülen ve Küçükçekmece gölüne doğru uzanan heyelanlı sahada yapılan ERT ve MASW tomografi çalışmaları buradaki heyelan olgusu ile ilişkili önemli veriler sunmuştur. Bu kısımda yapılan 7 ERT ve 12 MASW hattından elde edilen sonuçlar genel anlamda irdelendiğinde, heyelan olgusunun varlığı ile ilişkili sonuçlarla karşılaşılmıştır. ERT çalışmaları yeraltındaki dirençli ve iletkenliği yüksek tabakaların ve heyelan geometrisinin açıkça belirlenmesini sağlamıştır. Özellikle resistivitelere ana değişimin yüzeye yakın olan YSS ile ilişkili olması bu seviyenin heyelan olgusunda önemli olduğunu ortaya çıkarmıştır. ERT çalışmaları genelde yüzeye yakın kısımlarda (5 ile 10 m) yüksek resistiviteli ve genelde kayma kökenli birimlerin olduğunu, derin kısımlarda ise yüksek iletkenliğe sahip ve genelde konsolide killerden oluşan birimlerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Kaymanın ise YSS’inde etkisi ile bu birimin üstündeki birimde ortaya çıktığı ve yüksek konsolidasyonlu birimde herhangi bir kaymanın olmadığı sonucuna varılmıştır. ERT hatlarının önemli kısımlarında yapılan iki boyutlu MASW tomografi çalışmaları sonucunda da yeraltının iki boyutlu Vs hız değişimleri elde edilmiştir. Model sonuçları buradaki jeolojik katmanlar arasındaki değişimlerin hız değişimleri yardımıyla kolayca belirlendiğini ortaya koymuştur. Özellikle heyelanlı kısımlardaki hız değişimleri barizdir ve en düşük Vs hızları bu kısımlarda elde edilmiştir. Ayrıca MASW kesitlerinde heyelan geometrisi ERT kesitlerini doğrulayacak sonuçlar vermiştir. Yapılan jeofizik çalışmalar alanda yapılan 18 sondaj ile test edilmiştir. Sondaj çalışmalarında belirlenen tabakalar ile bu tabakaların kalınlıkları ve YSS’nin jeofizik çalışmalarla çok uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sondajlarla birlikte yapılan SPT deneylerinin sonuçlarının da jeofizik çalışmalarla uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Genel anlamda jeofizik çalışmaların bu alandaki yeraltı geometrisini ve yeraltının özelliklerini tanımlamada çok başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle kullanımı heyelan sahalarında çok az olan MASW yönteminin başarılı sonuçlar ortaya koyması bu yöntemin heyelan çalışmaları için yararlı ve yoruma önemli katkı sağlayacak bir yöntem olduğunu ortaya çıkarmıştır.

MASW verileri doğrultusunda yapılan jeoteknik parametre hesapları buradaki ortamın zemin özellikleri açısından yerleşime uygun olmadığını ve genelde zayıf zemin koşulları taşıdığını ortaya koymuştur. Özellikle alanda heyelan gelişiminin bulunması ve alanın Türkiye'nin en aktif fay zonlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakın olması, bu fay üzerinde oluşabilecek yüksek büyüklüklü bir depremin heyelanları tetikleyebileceğini ve yeni heyelanlar oluşturabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle yerleşkenin bu kısmının yapılaşma açısından olumsuz olacağı kanısına varılmış ve “yerleşime uygun olmayan alan” sınıfına ayrılmıştır.

Alanda yapılan çalışmalar, sonucunda saptanan heyelanlı alanların daha ayrıntılı incelemelere tabi tutulması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle heyelandaki değişimler ve gelişimleri görmek açısından zamana bağlı ERT ve MASW çalışmalarının yapılmasının yararlı sonuçlar üreteceği düşünülmektedir. Bunlara koşut olarak, sismik P kırılma tomografisi uygulanması da önemli sonuçlar üretecektir. Ayrıca heyelan gelişiminin olduğu kısımlarda yapılacak bir jeoradar çalışması da heyelana uğrayan zonların yüksek ayrımlı olarak görüntülendirilmesine katkı sağlayacaktır. Jeofizik çalışmalarla birlikte, alanda heyelanın aktif olduğu kısımlarda açılacak sondajlara yerleştirilecek inklometrelerle ile kayma dairesinin yerinin belirlenmesi ve kuyu içi presiyometre deneyleriyle de zeminlerin taşıma güçlerinin belirlenmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ansal, A. (2004). Recent advances in earthquake geotechnical engineering and microzonation (Geotechnical, geological, and earthquake engineering), *Springer Kluwer Academic Publishers*, 139.
- Arınç, C. (1955). *Geology of Haliç - Küçükçekmece lake*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aytun, A. (2001). Olası deprem hasarını en aza indirmek amacıyla yapıların “doğal” salınım periyotlarının yerin “baskın” periyodundan uzak kılınması, *Uşak İli ve Dolayı (Frigya) Depremleri Jeofizik Toplantısı*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Berge, M.A. (2002). *Sığ aramacılıkta sonlu farklar yöntemi ile iki-boyutlu düz çözüm öz direnç modellemesi*. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Berge, M.A. (2005). *İki-boyutlu öz direnç ters-çözüm modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir (yayımlanmamış).
- Berge, M. A. (2011). *Elektrik öz direnç ters-çözümüyle çok katmanlı arkeolojik yerleşmelerin görüntülendirilmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Bogoslovsky, V., Ogilvy, A. (1977). Geophysical methods for the investigation of landslides. *Geophysics*, 42, 562–571.
- Bolt, B. A. (1976). *Nuclear explosions and earthquakes: The Parted Veil*, W. H. Freeman, San Francisco.
- Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T. ve Gibbs, J.F., (1991). "Methodology for predictivi GIS mapping of special study zones for strong

ground shaking in the San Francisco Bay region, California," *Proceeding Fourth International. Conference. On Seismic Zonation*, 3, 545-552.

Bullen, K.E. (1985). *An introduction to the theory of seismology*. England: Cambridge University Press.

Candansayar, M. E. ve Başokur, A. T. (2001). Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49, 13 -25.

Canitez, N. (1997). *Jeofizikte modelleme*. İstanbul: Literatür Yayınları.

Caris, J. P. T. ve Van Asch Th. W. J. (1991). Geophysical, geotechnical and hydrological investigations of a small landslide in the French Alps. *Engineering Geology* 31, 249–276.

Coduto, D. P. (1999). *Geoteknik mühendisliği: ilkeler ve uygulamalar*. Çeviri, Mahmutoğlu , M ve Kayabalı, K. Ankara: Gazi Kitapevi.

Constable, S. C., Parker, R. L. ve Constable, C. G. (1987). Occam's inversion: a practical algorithm for generating smooth models from EM sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300.

Dahlin, T. ve Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2-D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, 379 -398.

Dahlin, T. (2001). The development of dc resistivity imaging techniques. *Computer and Geosciences*, 27, 1019 -1029.

Dalgıç, S. (2004). Factors affecting the greater damage in the Avcılar area of İstanbul during the 17 august 1999 İzmit earthquake. *Bulletin of the International Association for Engineering Geology and the Environment*, 63, 221–232.

- Dalgıç, S. (2010). Büyükçekmece ile Küçükçekmece arasındaki heyelanların oluşmasında hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin değerlendirilmesi. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 2, 56-73.
- De Groot-Hedlin, C., ve Constable, S. (1990). Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.
- Dey, A., ve Morrison, H. F. (1979). Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106 -136.
- Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, T. Ö. (2005). Bazı sığ yeraltı yapılarının öz direnç ters-çözümü. *Yerbilimleri*, 26, 1-14.
- Drahor, M. G., Göktürkler, G., Berge, M. A. ve Kurtulmuş, Ö. T. (2006). Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from. *Environmental Geology*, 50, 147-155.
- Ellis, R. G., ve Oldenburg, D. W. (1994a). Applied geophysical inversion. *Geophysical Journal International*, 116, 5-11.
- Ellis, R. G., ve Oldenburg, D. W. (1994b). The pole-pole 3-D DC-resistivity inverse problem: a conjugate-gradient approach. *Geophysical Journal International*, 119, 187-194.
- Geoim Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık Yazılım ve İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi. (2014). *İstanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesi, Proje Müşavirliği I.Aşama, İmar Planına Esas Jeolojik-Geoteknik Raporu (2014 İNŞ 02-01)*, İzmir.

Girty, G. H. (2009). *From perilous earth: understanding processes behind natural disasters*. San Diego. 10 Nisan 2015. <http://www.geology.sdsu.edu/visualgeology/naturaldisasters/Chapters/Chapter8Landslides.pdf>.

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

Griffiths, D. H., Turnbull, J., ve Olayinka, A. I. (1990). Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array. *First Break*, 8(4), 121 -129.

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

Havenith, H.B., Jongmans, D., Abdrakhmatov, K., Trefois, P., Delvaux, D., Torgoev, I. A. (2000). Geophysical investigations of seismically induced surface effects: case study of a landslide in the Suusamyry valley, Kyrgyzstan. *Survey in Geophysics*, 21, 349–369.

Hayashi, K. (2003). Data acquisition and analysis of active and passive surface wave methods. San Antonio. *Short courses and Workshops, In: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP), Annual Meetings of Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS)*, 106.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2007). *Avrupa yakası güneyi mikrobölgeleme çalışması*. 8 Mart 2015. <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/DepremSite/Pages/AvrupaYakasiGuneyiMikrobolgelemeProjesi.aspx>.

Joyner, W. B. ve Fumal, T. E. (1984). Use of measured shear-wave velocity for predicting geologic site effects on strong ground motion, *Proceeding 8th World Conference on Earthquake Engineering*, 777-783.

- Kanai, K. (1983). *Engineering seismology*. Institute of Earthquake Engineering and Seismology Society (IEESS), Japan.
- Koefed, O. (1979). *Geosounding principles I: resistivity sounding measurements* (2). Amsterdam: Elsevier Science Publishing Company.
- Lapenna, V., Lorenzo, P., Perrone, A., Piscitelli, S., Sdao, F. ve Rizzo, E. (2003). High resolution geoelectrical tomographies in the study of Giarrossa landslide (southern Italy). *Bulletin of the International Association for Engineering Geology and the Environment*. 62, 259–268.
- Legaz, A., Vandemeulebrouck, J., Revil, A., Kemna, A., Hurst, A.W., Reeves, R. ve Papasin, R. (2009). A case study of resistivity and self-potential signatures of hydrothermal instabilities, Inferno Crater Lake, Waimangu, New Zealand. *Geophysical Research Letters*, 36, L12306.
- Loke, M. H. ve Barker, R. D. (1996a). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
- Loke, M. H. ve Barker, R. D. (1996b). Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion techniques. *Geophysical Prospecting*, 44, 499-524.
- Loke, M. H. ve Barker, R. D. (1995). Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1690.
- MASW, (b.t). Data acquisition. 22 Haziran 2015. <http://www.masw.com/DataAcquisition.html>
- Midorikawa, S. (1987). Prediction of iso-seismal map in the Kanto Plain due to hypothetical earthquake. Japanese. *Journal of Structural Engineering*, 33, 43-48.

- Okday, Y.F. ve Eren, R. (1999). İstanbul Büyükşehir Belediyesi zemin ve deprem inceleme müdürlüğü, *Atlas Dergisi* yayını.
- Olayinka, A. I. ve Yaramanci, U. (2000). Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 63-82.
- Oldenburg, D.W. ve Li, Y.G. (1999). Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys. *Geophysics*, 64(2), 403–416.
- Özaydın, K. (1982). Zemin dinamiği. *Deprem Mühendisliği Türk Milli Yayınları*, 1.
- Özçep, F. (2005). Zeminlerin statik ve dinamik analizi. *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Eğitim Yayınları*, 6, 551, Ankara.
- Özçep, F. (2007). Mikrobölgeleme ilkeleri ve uygulamaları. *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Mesleki Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları*, 5, 211, Ankara.
- Park, C.B. (1995). *Characterization of geotechnical sites by multi-channel analysis of surface waves (MCASW)*. Kansas. Kansas Geological Survey, University of Kansas.
- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J. (1999). Multi-channel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64 (3), 800-808.
- Park, C.B.ve Miller, R.D. (2005). Seismic characterization of wind turbine sites near Lawton, Oklahoma, by the multi-channel analysis of surface waves (MASW) method. *Kansas Geological Survey*, 2005-22.
- Richart, F.E., Hall, J.R. ve Woods, R.D. (1970). *Vibrations of soils and foundations*. New Jersey: Prentice-Hall.

- Robert, T., Dassargues A., Brouyère S., Kaufmann O., Hallet V. ve Nguyen F., 2011. Assessing the contribution of electrical resistivity tomography (ERT) and self-potential (SP) methods for a water well drilling program in fractured/karstified limestones. *Journal of Applied Geophysics* 75, 42-53.
- Sasaki, Y. (1994). 3-D resistivity inversion using the finite-element method. *Geophysics*, 59, 1839-1848.
- Sasaki, Y. (1992). Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, 40, 453–464.
- Schlumberger, C. (1920). Etude sur la Prospection électrique du sous-sol. *Gaultier-Villars et Cie*, Paris.
- Slazai, S. ve Szarka, L. (2008). On the classification of surface geoelectric arrays. *Geophysical Prospecting*, 56, 159-175.
- Smith, N. C. ve Vozoff, K. (1984). Two-dimensional DC resistivity inversion for dipole-dipole data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 22, 21-28.
- Socco, L.V. ve Strobbia, C. (2004). Surface-wave method for near-surface characterization: a tutorial. *Near Surface Geophysics*, 2, 165-185.
- Stokoe, II, K.H., Wright, G.W., James, A.B. ve Jose, M. R. (1994). *Characterization of geotechnical sites by Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) method*. New Delhi: Geophysical Characterization of sites, International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE) Technical Committee-10, Oxford Publishers.
- Strobbia, C. (2002). *Surface wave methods: acquisition, processing and inversion*. P.hD. Thesis, Politecnico di Torino, Italy.

- Stummer, P. (2003). *New developments in electrical resistivity imaging*. P.hD. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich.
- Tezcan, S., Keçeli, A., ve Özdemir, Z. (2006). Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 203-218.
- Tripp, A. C., Hohmann, G. W. ve Swift Jr, C. M. (1984). Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49, 1708-1717.
- Ulusay, R. (2007). Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar türleri, etkileri ve zararların azaltılması. *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. 157-185.
- United States Geological Survey (USGS), (2004). *Landslide types and processes*. U.S. Department of the interior, U.S. Geological Survey, Fact Sheet, 2004–3072, <http://www.pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/FS2004-3072.pdf>.
- Van Nostrand, R. G. ve Cook, K. L. (1966). *Interpretation of resistivity data*. USA: United States Geological Survey Printing Office.
- Van Overmeeren, R. A. ve Ritsema, I. L. (1988). Continuous vertical electrical sounding. *First Break*, 6 (10), 313-324.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes (Landslide special report), *National Academy of Sciences*, 176, 11-33.
- Wenner, F. (1912). *A method of measuring earth resistivity*. Washington, D.C.: United States Department of Commerce, Bureau of Standards.
- Yalçınlar, Ş. (1976). *Türkiye jeolojisine giriş*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Enstitüsü Yayını.

Yang, C.H., Liu, H.C. ve Lee, C.C. (2004). Landslide investigation in the Li-Shan area using resistivity image profiling method. Denver, Colorado. *Society of Exploration Geophysicists (SEG) 74th Annual meeting*.

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Ivanov, J., Tian, G. ve Chen, C. (2004). Utilization of high-frequency Rayleigh waves in near-surface geophysics. *The Leading Edge* 23 (8), 753-759.

