

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

**İSTANBUL-ATAKENT BÖLGESİ (BATI KISMININ)
YER ALTI YAPISININ ARAŞTIRILMASI VE
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin DAĞ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayhan KESKİNSEZER

Ekim 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

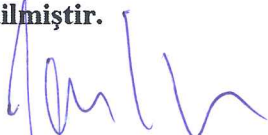
İSTANBUL-ATAKENT BÖLGESİ (BATI KISMININ)
YER ALTI YAPISININ ARAŞTIRILMASI VE
MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin DAĞ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12.10.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr.
Ayhan KESKİNSEZER
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr.
Şefik RAMAZANOĞLU
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Şerafeddin ÇAKIR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ersin DAĞ

12.10.2016

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında her zaman yanımda olan bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli danıőman hocam, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ayhan KESKİNSEZER' e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca bizlerin yanında olan, bilgi ve birikimlerini bizlerden esirgemeyen Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde bulunan tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans tez çalıőmamın her aşamasında, saha ve büro çalışmalarında destekte bulunan Jeofizik Mühendisleri Levent GENÇMAN, Serdar TANK ve Uğur SÜRMELE' ye, çalışma sırasında katkılarından faydalandığım tüm arkadaşlarıma ve hayatımın her döneminde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve hep yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması	2
1.2.1. Coğrafi konum	3
1.2.2. Jeomorfolojik ve çevresel bilgiler	5

BÖLÜM 2.

JEOLojİ	7
2.1. Genel Jeoloji	7
2.2. İnceleme Alanı Jeolojisi	10
2.2.1. Ceylan formasyonu	10
2.2.2. Danişmen formasyonu	11
2.2.2.1. Gürpınar üyesi	12
2.2.3. Çekmece formasyonu	12
2.2.3.1. Güngören üyesi	12
2.2.4. Yeni dolgular	13
2.3. Tektonizma	13

2.3.1. Çalışma bölgesinin tektoniği	15
2.3.2. Çalışma bölgesinin depremselliği	18

BÖLÜM 3.

ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ	26
3.1. Kayaçların Elektrik Özellikleri	27
3.2. Toprağın Elektriksel Özellikleri	30
3.2.1. Toprağın nem içeriği	30
3.2.2. Geçirgenlik (Permeabilite)	30
3.2.3. İyon içeriği	30
3.2.4. Isı	31
3.3. Ölçümleri Etkileyen Faktörler	31
3.3.1. Değme gerilimleri	31
3.3.2. Değme direnci	31
3.3.3. Elektrot uğlaşması	32
3.3.4. Doğal akımlar	32
3.3.5. Yapay akımlar	32
3.4. Dizlim Çeşitleri	32
3.4.1. Dipol-Dipol elektrot dizilim sistemi	33
3.5. Çoklu Elektrot Sistemi	35

BÖLÜM 4.

SİSMİK YÖNTEM	37
4.1. Sismik Dalga Türleri	37
4.1.1. Cisim dalgaları	38
4.1.1.1. P – dalgaları	38
4.1.1.2. S – dalgaları	39
4.1.2. Yüzey dalgaları	40
4.1.2.1. Rayleigh – dalgaları	41
4.1.2.2. Love – dalgaları	44
4.2. Sismik Dalga Yayılımı	44
4.2.1. Snell yasası	45

4.2.2. Huygens prensibi	46
4.2.3. Fermat prensibi	46
4.3. Dispersiyon – Faz Hızı – Grup Hızı	47
4.3.1. Dispersiyon	47
4.3.2. Faz hızı	52
4.3.3. Grup hızı	53
4.4. Yüzey Dalgalarının Yayınımı	54
4.5. Yüzey Dalgalarının Ters İşlemi	55
4.6. Yüzey Dalgalarının Spektral Analiz Yöntemi (SASW)	57
4.7. Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analiz Yöntemi (MASW)	61
4.8. Dispersiyon Eğrilerinin Elde Edilmesi	63
4.9. S - Dalgası Hız Modeli İçin Ters Çözüm İşlemi	67
BÖLÜM 5.	
ARAZİ UYGULAMALARI	69
5.1. Sondaj Çalışmaları	70
5.2. Çoklu Elektrot Sisteminde Dipol – Dipol Çalışması	85
5.2.1. Dataların derinlik-özdirenç değişimleri ve topografya	89
5.3. Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Çözümleri	95
5.3.1. Çok kanallı yüzey dalgası analizi arazi uygulamaları	95
5.3.1.1. Dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi	100
5.3.1.2. Dispersiyon eğrilerine ters çözüm işleminin uygulanması	103
5.3.1.3. İki boyutlu kesitlerin elde edilmesi ve kat haritaları	109
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	115
KAYNAKLAR	117
EKLER	123
ÖZGEÇMİŞ	144

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ΔV	: Potansiyel fark
$A(x,w)$: Genlik spektrumu
c	: Faz hızı
CPT	: Konik penetrasyon testi
d	: Derinlik
E	: Young modülü
f	: Frekans
h	: Tabaka kalınlığı
I	: Akım
J_s	: Sismik Hat
K	: Geometrik faktör
k	: Dalga sayısı
M	: Deprem büyüklüğü
MEL	: Çoklu elektrot hattı
M_s	: Depremin yüzey dalgası büyüklüğü
N	: Dispersiyon eğrisini belirleyen nokta sayısı
p	: Işın parametresi
$P(x,w)$: Faz spektrumu
$p-t$: Işın parametresi-kesme zamanı
SK	: Sondaj Kuyusu
SPT	: Standart penetrasyon testi
t	: Zaman
u	: Grup hızı
$U(x,w)$: Dalga alınan Fourier dönüşümü
V_L	: Love dalgası hızı
V_P	: P dalgası hızı

V_R	: Rayleigh dalgası hızı
V_S	: S dalgası hızı
w	: Açısal frekans
x	: Uzaklık
$x-t$: Zaman-uzaklık
λ	: Dalga boyu
μ	: Sıkışmazlık modülü
ρ	: Yoğunluk
ρ	: Özdirenç
σ	: İletkenlik
ν	: Poisson oranı
ϕ	: Faz kayması

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2. Çalışma alanı yakın plan görüntüsü	4
Şekil 1.3. İnceleme alanı köşe koordinat planı	5
Şekil 1.4. İnceleme alanı eğim haritası	6
Şekil 2.1. Çalışma sahası yakın çevresinin jeoloji haritası	9
Şekil 2.2. İstanbul ili ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	10
Şekil 2.3. Türkiye'nin genel tektonik yapıları	14
Şekil 2.4. Marmara Denizi çevresinde Kuzey Anadolu Fayı'nın başlıca aktif kolları ve bu kollar üzerinde gerçekleşmiş tarihi depremler	16
Şekil 2.5. Marmara denizinin yapısı	16
Şekil 2.6. İstanbul ili deprem bölgeleri dağılım haritası	19
Şekil 2.7. Marmara bölgesinde meydana gelmiş tarihsel depremlerin dağılımı ...	20
Şekil 2.8. Marmara Bölgesi'nin 1976-1990 yılları arasında sismisitesi ve önemli kabul edilen boşlukları	21
Şekil 2.9. 1999 İzmit depremi öncesinde bölgede varolan Coulomb gerilime dağılım haritası	21
Şekil 2.10. İstanbul merkezli senayo depremin eşşiddet dağılım haritası	24
Şekil 3.1. Elektrik öz direnç yöntemi	26
Şekil 3.2. Dipol-Dipol elektrot dizilimi	34
Şekil 3.3. (a) Dipol-Dipol elektrot diziliminde derinlik saptanması, (b) bu dizilime göre ölçülen verinin çağrıştıran kesiti	35
Şekil 3.4. Dipol-Dipol elektrot diziliminde 45°lik açıyla konumlanan veriler	36
Şekil 4.1. P dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi	38
Şekil 4.2. S dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi	39
Şekil 4.3. Rayleigh dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi	41
Şekil 4.4. Homojen yarı sonsuz ortam bir ortam boyunca yayılan Rayleigh dalgalarının derinliğe bağlı genlik değişimi	41

Şekil 4.5. Poisson oranının bir fonksiyonu olarak Rayleigh dalga hızının kayma dalga hızına oranı	42
Şekil 4.6. V_P , V_S ve V_R dalgalarının poisson oranı ile arasındaki ilişki	43
Şekil 4.7. Love dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi	44
Şekil 4.8. Huygens prensibi kullanılarak Snell kanununun bulunuşu	45
Şekil 4.9. Huygens prensibi kullanılarak yeni dalga cephesinin yerinin bulunması.	46
Şekil 4.10. Fermat prensibi	47
Şekil 4.11. Dispersiyon olayı (a) düşük hız değişimive küçük dispersiyon, (b) yüksek hız değişimi ve büyük dispersiyon, (c) ters dispersiyon	48
Şekil 4.12. Her bir frekans bileşeni için grup hızı ve faz hızı hesabı	49
Şekil 4.13. Homojen elastik yarı uzayda düzlem Rayleigh dalgaları	50
Şekil 4.14. Yüzey dalgalarının disperisyonu (a) tek düze ortamda sabit faz hızı, (b) iki katmanlı ortamda faz hızının dalga boyu ile değişimi	50
Şekil 4.15. Dispersiyon eğrisinin frekansa karşı faz hızı olarak yansıtılması	51
Şekil 4.16. Dispersif eğrilerin farklı modları	52
Şekil 4.17. Faz hızı ve grup hızının şematik olarak gösterimi	52
Şekil 4.18. Grup hızı tanımı	53
Şekil 4.19. Normal dispersiyon gösteren bir dalganın birbirini izleyen üç ayrı noktadaki durumu. Grup hızı u , faz hızı c sırası ile uu ve cc doğrularının eğimleri ile verilirler	53
Şekil 4.20. İki tabakalı yarı sonsuz ortam modeli	55
Şekil 4.21. Yüzey dalgası spektral analiz yöntemi (a) düz çözüm, (b) ters çözüm	56
Şekil 4.22. SASW yönteminde alıcı dizilim şekli (Keçeli, 2009'dan değiştirilerek	57
Şekil 4.23. Yüzey dalgası frekansı faz hızı ilişkisi dispersiyon eğrileri örneği	59
Şekil 4.24. SASW, Mikrotremör ve Refraksiyon'dan elde edilen hızların derinlikle değişiminin karşılaştırılması	60
Şekil 4.25. Yüzey dalgası (SASW), karşılıklı kuyu (cross hole), profil ve konik penetrasyon (CPT)'dan saptanan kayma dalgası (V_S) hızlarının karşılaştırma örneği	60
Şekil 4.26. SASW kayma dalgası hızının kuyu logu ve kuyu aşağı sismik kayma dalgası hızı ile karşılaştırılması	61
Şekil 4.27. Çok kanallı yüzey dalgasının veri toplama düzeneği	62

Şekil 4.28. Kaynak-alıcı şeklinin tanımı.	62
Şekil 4.29. Dispersiyon eğrisinin çıkarılması (a) atış kaydı, (b) frekans-dalga sayısı (f-k) dönüşümü	63
Şekil 4.30. Dispersiyon eğrisinin çıkarılması (c) faz düzeltmesi ile hız spektrumu ve piklenmiş veri, (d) temel mod dispersiyon eğrisi	64
Şekil 4.31. Faz hızının frekansa bağlı değişimi sonu elde edilen dispersiyon eğrisi (sol) ve elde edilen dispersiyon eğrisine ters çözüm işlemi uygulanarak oluşturulan S dalga hız modeli (sağ)	68
Şekil 5.1. Çalışma alanı amaçlanan genel vaziyet planı	69
Şekil 5.2. Çalışma alanı genel topografyası	70
Şekil 5.3. SK-1'e ait kuyu logu	72
Şekil 5.4. SK-2'ye ait kuyu logu	73
Şekil 5.5. SK-3'e ait kuyu logu	74
Şekil 5.6. SK-4'e ait kuyu logu	75
Şekil 5.7. SK-5'e ait kuyu logu	76
Şekil 5.8. SK-6'ya ait kuyu logu	77
Şekil 5.9. SK-7'ye ait kuyu logu	78
Şekil 5.10. SK-8'e ait kuyu logu	79
Şekil 5.11. SK-9'a ait kuyu logu	80
Şekil 5.12. SK-10'a ait kuyu logu	81
Şekil 5.13. Çalışma sahası kullanılacak litolojik kesit doğrultuları	82
Şekil 5.14. A - A' doğrultusuna ait litolojik kesiti	83
Şekil 5.15. B - B' doğrultusuna ait litolojik kesiti	84
Şekil 5.16. C - C' doğrultusuna ait litolojik kesit	85
Şekil 5.17. D - D' doğrultusuna ait litolojik kesit	85
Şekil 5.18. Çoklu elektrot sistemi ölçüm takımı	86
Şekil 5.19. Çalışma sahası çoklu elektrot sistemi vaziyet planı	87
Şekil 5.20. Dipol-Dipol diziliminde topografya faktörü	89
Şekil 5.21. MEL-1 hattı topografya düzeltmesi yapılmış dataların gerçek derinlik kesitleri	90
Şekil 5.22. MEL-2 hattı topografya düzeltmesi yapılmış dataların gerçek derinlik kesitleri	90

Şekil 5.23. MEL-1 hattı ölçülen, hesaplanan ve ters çözüm uygulaması yapılmış öz direnç kesitleri	91
Şekil 5.24. MEL-2 hattı ölçülen, hesaplanan ve ters çözüm uygulaması yapılmış öz direnç kesitleri	91
Şekil 5.25. MEL-1 hattı topografya değerleri girilmiş nihai öz direnç kesiti	93
Şekil 5.26. MEL-2 hattı topografya değerleri girilmiş nihai öz direnç kesiti	93
Şekil 5.27. Çalışma sahasının birleştirilmiş üç boyutlu öz direnç-derinlik grafiği...	94
Şekil 5.28. Çalışma alanı sismik vaziyet planı	96
Şekil 5.29. Sismik kayıt ekipmanları	97
Şekil 5.30. Sismik hatlara ait ölçüm geometrisi	97
Şekil 5.31. Js-2 hattı düz atışının sismik kaydı	98
Şekil 5.32. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atışın sismik kaydı	98
Şekil 5.33. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atışın sismik kaydı	99
Şekil 5.34. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atışın sismik kaydı	99
Şekil 5.35. Js-2 hattı ters atışın sismik kaydı	99
Şekil 5.36. Js-2 hattı düz atış kaydının faz hızı-frekans dönüşümü	100
Şekil 5.37. Js-2 hattı düz atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi ...	100
Şekil 5.38. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış kaydının faz hızı- frekans dönüşümü	101
Şekil 5.39. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi	101
Şekil 5.40. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış kaydının faz-hızı frekans dönüşümü	101
Şekil 5.41. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi	102
Şekil 5.42. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış kaydının faz hızı-frekans dönüşümü	102
Şekil 5.43. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi	102
Şekil 5.44. Js-2 hattı ters atış kaydının faz hızı-frekans dönüşümü	103
Şekil 5.45. Js-2 hattı ters atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi ...	103

Şekil 5.46. Js-2 hattı düz atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik - S dalgası hız modeli	104
Şekil 5.47. Js-2 hattı 6-7 no'lu atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik-S dalgası hız modeli	105
Şekil 5.48. Js-2 hattı 12-13 no'lu atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik-S hızı dalgası modeli	106
Şekil 5.49. Js-2 hattı 18-19 no'lu atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik-S dalgası hız modeli	107
Şekil 5.50. Js-2 hattı ters atış kaydının ters çözüm sonu elde edilen derinlik-S dalga hız modeli	108
Şekil 5.51. Js-1 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli	110
Şekil 5.52. Js-2 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli	111
Şekil 5.53. Js-3 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli	111
Şekil 5.54. Js-4 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli	112
Şekil 5.55. Js-5 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli	112
Şekil 5.56. Sismik çözümler sonrası elde edilen üç boyutlu S dalgası hız modeli-1113	
Şekil 5.57. Sismik çözümler sonrası elde edilen üç boyutlu S dalgası hız modeli-2113	
Şekil 5.58. Çalışma sahasının 50 m derinliğine kadar S dalga hızı kat haritaları ..	114
Şekil 6.1. Mühendislik ana kayasının tüm yöntemler sonucu elde edilen görüntüsü.....	115

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. İnceleme alanı köşe koordinatları	5
Tablo 3.1. Jeolojik birimlerin evre ve değişimi	28
Tablo 3.2. Kayaçlar ve elektrik özdirenç değerleri	29
Tablo 3.3. Bazı malzemelerin elektrik özdirenç değerleri	29
Tablo 5.1. Sondaj noktalarının koordinat ve derinlik tablosu	71
Tablo 5.2. Çoklu elektrot hatlarının başlangıç ve bitiş koordinatları	87
Tablo 5.3. MEL - 1 hattına ait ham data tablosu	88
Tablo 5.4. MEL - 2 hattına ait ham data tablosu	88
Tablo 5.5. Çalışma alanı sismik hatların başlangıç ve bitiş koordinatları	96
Tablo 5.6. Js-2 hattı düz atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu ..	104
Tablo 5.7. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu	105
Tablo 5.8. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu	106
Tablo 5.9. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu	107
Tablo 5.10. Js-2 hattı ters atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu.	108

ÖZET

Anahtar kelimeler: Sondaj kuyusu, yüzey dalgası analizi, MASW yöntemi, elektrik özdirenç, modelleme.

Bu çalışmada, mühendislik yapıları öncesinde zemin özellikleri ve yer hareketleri nedeniyle doğabilecek olan problemlere karşı alınması gereken tedbirler amacıyla yer altı yapılarının modellenme çalışması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan jeofizik yöntemler sondaj kuyularından elde edilen kesitlerle karşılaştırmış ve yer altı modellenmesi sonuçlandırılmıştır. Jeofizik yöntemler ile şehir içinde dar veya geniş alanlarda daha az zaman ve maliyetle gerçeğe yakın çıkarımlar yapılmıştır.

Bu amaçla İstanbul ili Küçükçekmece ilçesi Atakent bölgesinde bulunan çalışma sahasında öncelikle sahanın tamamını yansıtacak şekilde 10 adet sondaj kuyusu lokasyonu belirlenmiş ve sondaj çalışmaları yapılmıştır. Kuyulardan elde edilen malzeme bilgileri ve belirlenen doğrultularda oluşturulan litolojik kesitler Ceylan Formasyonu, Danişmen Formasyonu ve Çekmece Formasyonu üzerinde yapılan çalışmalarla elde edilmiştir. Akabinde tabakaların iletkenlik durumunun tespiti için elektrik özdirenç uygulaması yapılmıştır. Bu doğrultuda 2 adet elektrik özdirenç hattı uygulanmıştır. Son olarak 5 profilde ve her profilde 5 noktada toplam 25 nokta olmak üzere sismik kayıtlar elde edilmiştir. Elde edilen kayıtlara yüzey dalgası analizi yöntemi uygulanmış ve her noktaya ait bir boyutlu ters çözüm işleminden S dalga hızları tespit edilmiştir. Elde edilen çözümler birleştirilerek iki boyutlu kesitler haline getirilmiş ve çalışma sahasının S dalga hızları yorumlanmıştır.

Tüm bu çalışmalar sonrasında uygulanan yöntemler karşılıklı olarak değerlendirilmiş ve uyum içinde oldukları görülmüştür. Bunun sonucunda yer altı modellenmesi yapılmış ve mevcut çalışma sahasına ait detay bilgiler verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sahanın taban mühendislik kayası olarak tespit edilen seviyelerin üç boyutlu grafiği çizilmiştir. Bu seviyelerde yüzey topografyasında görülen ufak nitelikteki derelerin izleri grafikte işaretlenmiştir.

İSTANBUL-ATAKENT REGION (THE WESTERN PORTION) THE UNDERGROUND INVESTIGATION AND MODELLING

SUMMARY

Keywords: Drilling wells, surface wave analysis, MASW method, electrical resistivity, modelling.

In this study, the ground prior engineering structures and ground motion properties to be taken against problems that may arise, so modeling studies are performed in order to measure the underground structures. Geophysical methods used in drilling wells compared with the resultant cross-section and groundwater modeling has been finalized. Geophysical methods within the city is narrow or broad tanks, less time and cost close to reality inferences are made.

For this purpose, first identified the Kucukcekmece district of İstanbul province fieldwork primarily located in Atakent determined the location in the order of 10 boreholes to reflect the entire field and drilling operations have been completed. The material information obtained from wells in accordance and the determined lithological sections Ceylan Formation, Danisman Formation and Cekmece Formation are obtained. Subsequently, electrical resistivity study has been done to determine the conductivity of the layer state. In this regard 2 electrical resistivity were performed in accordance with the line. Finally, in my 5 series, each series of 5 seismic records were obtained for a total of 25 points. The obtained recording surface wave analysis methods are applied and the size of each dot inversion S-wave velocities are determined from the process. The resulting solutions combined two-dimensional sections and work sites of S-wave velocities are reviewed.

The methods used in these studies are evaluated mutually and appeared to be in alignment. Consequently underground modeling has been made and detailed information of the current work area is provided. The results obtained from the field of engineering rock as a base, three-dimensional graph of the levels detected are plotted. Traces of the small stream quality levels seen in the surface topography chart are marked.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

İçinde bulunduğumuz ve geçtiğimiz yüzyıldan itibaren gelişen teknoloji ve bilim, bize dünyamız başta olmak üzere yer bilimleri hakkında merak uyandıran sorulara ve sorunlara cevaplar bulmamamız için bir takım çözümler sunmuştur. Gelişen mühendislik disiplinleri, yer bilimi ve geoteknik uygulamaların niteliğini arttırmaktadır. Bu durum hem sosyal hem toplumsal hem de ekonomik açıdan büyük artılara neden olmaktadır.

Mühendislik uygulamalarında (bina, yol, köprü, baraj vb.) yerin tepkisi, zemin özellikleri ve deprem başta olmak üzere diğer yer hareketlerinde yapılacak yapının güvenlik risklerini ortadan kaldıracak tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu gerekliliğin giderilmesi de bir takım faktörlere bağlıdır. Bu faktörler hayata geçirilirken zaman, mekân ve ekonomik yeterlilik ön plana çıkmaktadır.

Mühendislik uygulamalarının hayata geçirilmesi evresinde ilk aşamalardan olan zemin hareketleri ve yer altı yapısı, detaylı bir biçimde irdelenmelidir. Bu irdelenmenin de belli bir plan dâhilinde olması gereklidir. Öncelikli durum çalışmanın gerçekleştirileceği yerdir, malumdur ki kent içinde ve dar alanlarda yapılacak çalışmalar son derece zahmetli olacaktır. Bu gibi yerlerde yer altı yapısı ve zeminin özelliklerini araştırılırken ana kayanın durumu ve üzerindeki tabaka yapıları, alüvyon kalınlığının 30 metreden daha fazla olduğu yerlerde farklı çözümler üretmemize neden olmaktadır. Sismik kırılma yönteminin bu gibi sorunlu alanlarda çok fazla aydınlatıcı olamaması sonucu yüzey dalgalarının analizi yöntemine başvurulmaktadır.

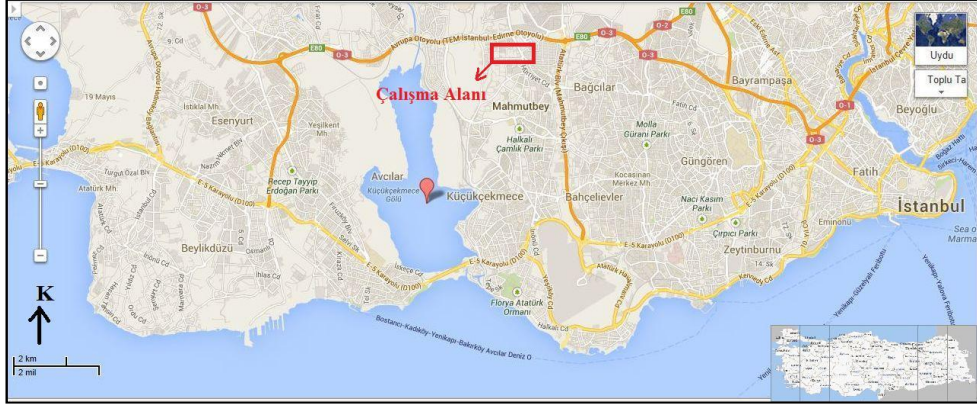
Sismik temelin yani ana kayanın tespitinde ve üzerindeki tabaka yapılarının özelliklerinin araştırılmasında bu yöntem zaman ve mekân açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinden yola çıkarak elde edilen dispersiyon eğrilerinin ters çözüme tabii tutulması sonucu ulaşılan S dalga hızları yer altı yapısının birçok özelliği hakkında bize detaylı bilgiler sunmaktadır. Bu hız yapıları sayesinde 2 boyutlu ve 3 boyutlu yer altı modelleri kurulabilmektedir.

Bu çalışmanın yanı sıra ana kaya üzerinde bulunan zemin profillerinin daha detaylı incelenmesi ve başka yöntemlerle karşılaştırılması amacıyla bir elektrik özdirenç yöntemi olan çoklu elektrot çalışması da uygulanmıştır. Tabakaların genel anlamda ve birbirlerine göre mevcut su içeriği açısından ön plana çıkan bir yöntemdir. İklim, yağış rejimi ve yamaç stabilitesi gibi etkenlerden kaynaklanan bir yer hareketinin varlığının sorgulanması, taşkın sırasından kaymaya meyilli malzemenin varlığının olup olmadığı, bunlara bağlı olarak bir kayma düzleminin oluşup oluşmayacağına aydınlatılması bakımından bu özdirenç yöntemi sorulara cevap niteliğinde bir çalışmadır. Yöntemin detaylı sonucu, süratli uygulanması ekonomik ve zaman açısından ön plana çıkan diğer özelliklerindedir. Bu iki yönteme ek, malzeme bilgisi ve litolojik birimler hakkında bilgi edinmek amacıyla inceleme sahasında sondaj kuyuları da kullanılmış ve sonuçları karşılıklı olarak değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasındaki amaç, seçilen arazimizin zemin özelliklerini ve mevcut yer altı yapısının araştırmaktır. Tüm bu çalışmaların karşılıklı değerlendirilmesi ve ortak sonucu olarak mevcut sahanın zemin özelliklerinin tespit edilerek yer altı modelinin oluşturulması hedeflenmiştir.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması

Atakent bölgesinde bulunan çalışma sahamız Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi İstanbul İl'inin batı yakasında yer alan Küçükçekmece ilçesindedir. Marmara Bölgesi'nde Çatalca-Kocaeli bölümü Çatalca yarımadası üzerinde yer alan bir konuma sahiptir.



Şekil 1.1. Çalşma alanı yer bulduru haritası (Google Maps, 2016)

İlçe'nin yüzölçümü kadastrodan alınan kayıtlara göre 118 km², sahil uzunluğu ise 7 km'dir. Şehir merkezine uzaklığı ise 23 km'dir. Sınır komşuları güneyde Bakırköy, Marmara denizi, batıda Avcılar, Büyükçekmece ve Çatalca, Kuzeyde Gaziosmanpaşa, doğuda Bahçelievler, Bağcılar ve Esenler ilçesidir. Bizim çalışmalarımızı yapacağımız alan ise Atakent bölgesinin batı kısmında kalmakta ve 19792,9188 m²'lik alana sahip olmaktadır.

1.2.1. Coğrafi konum

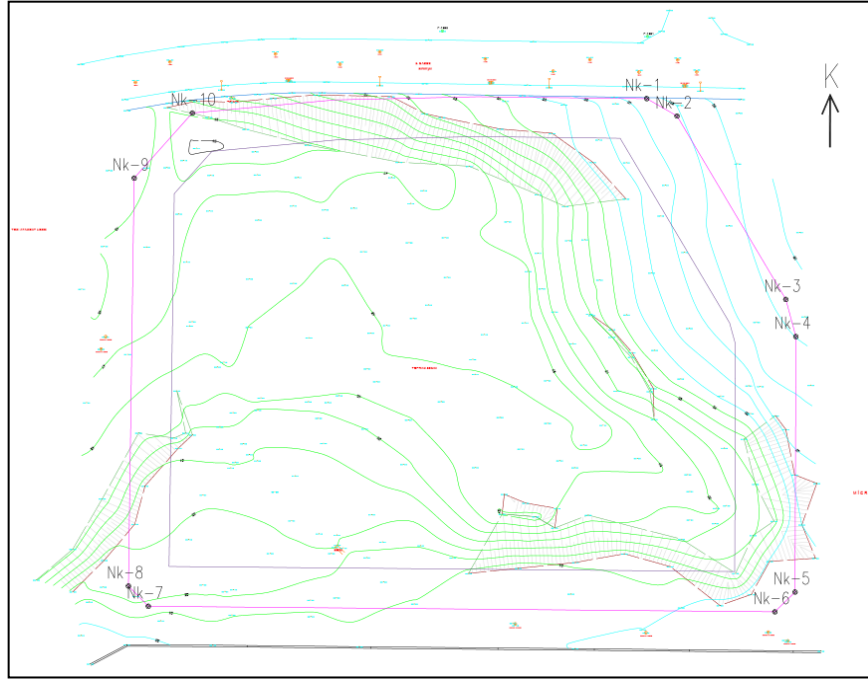
Doğuda D100-TEM bağlantı yolundan başlayıp batıda Küçükçekmece Gölü'ne; güneyde Marmara Denizi'nden başlayıp kuzeyde TEM (E80) otoyoluna uzanan bu lokasyon aynı zamanda Trakya yarımadasının doğu-güneydoğu kısmına karşılık gelmektedir.

Küçükçekmece geniş düzlükler halinde az dalgalı (engebeli) bir alana yayılmıştır. Deniz ve göl kıyılarında içerilere doğru yükseltiler artar. Kuzeydeki tepelerde yükseklik 200 metreyi bulur. Vadiler oldukça belirgin görünümündedir, ilçedeki gölün morfolojik yapısı nedeniyle tam ve tipik bir lagün (yalı) gölüdür. Dünyada pek ender oluşan lagün göllerden birisidir. İlçe alanında kalan akarsular uzunlukları, kısa ve su rejimleri, debileri, düzensizdir. Bir kesimi hızlı kentleşme ve sanayileşme nedeniyle yerleşme ve sanayi alanları içinde kalmış oldukları için sanayi ve kentsel atıkları denize boşaltan derelere dönüşmüşlerdir.

Küçükçekmece Gölü, son jeolojik dönemdeki buzullaşmanın erimesiyle, denizlerin seviyelerinin yükselmeleri sonucu, Çanakkale Boğazı'nın yarılarak Marmara Çukurunun dolması, bu deniz istilasıyla eski vadi ağzlarının boğularak riaların ortaya çıkması sonucu önce koy, zamanla da kıyı kordonuyla kaplanarak lagün haline gelmesiyle oluşmuştur. Çevresinde Eosengre ve kalkerleri ile Üst Miyosen kum marn ve kalkerleri bulunan Küçükçekmece Gölü, doğusundan Nakkaş Deresi, batısından Eşkinöz Deresi ve bunlar arasındaki Sazlıdere'den beslenmektedir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Çalışma alanı yakın plan görüntüsü (www.sehirharitasi.ibb.gov.tr, 2016).



Şekil 1.3. İnceleme alanı köşe koordinat planı.

Şekil 1.3.'de de görüldüğü üzere arazide belirlenen 10 adet köşe noktalarının koordinatları aşağıdaki Tablo 1.1.'de detaylı olarak listelenmiştir.

Tablo 1.1. İnceleme alanı köşe koordinatları.

Nokta No	Koordinat (x, y)	Nokta No.	Koordinat (x, y)
1	397461 – 4547692	6	397493 – 4547564
2	397469 – 4547688	7	397338 – 4547565
3	397496 – 4547642	8	397333 – 4547570
4	397499 – 4547633	9	397334 – 4547672
5	397498 – 4547569	10	397349 – 4547689

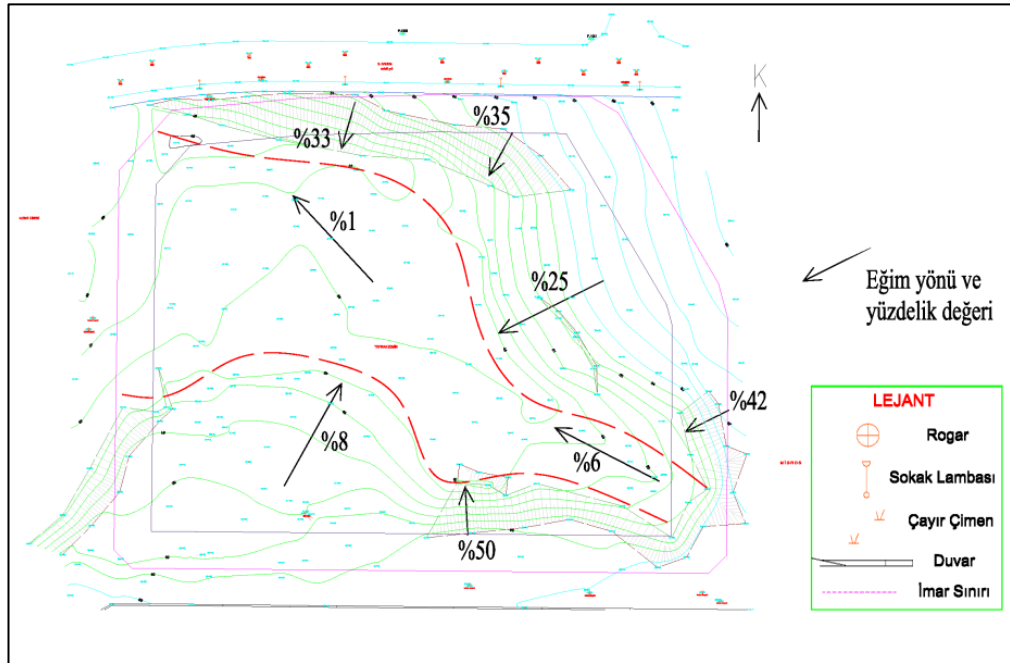
1.2.2. Jeomorfolojik ve çevresel bilgiler

İstanbul'un batı yakasında, Küçükçekmece Gölü'nün Kuzey doğusunda bulunan çalışma alanı çevresinde Akdeniz ile Karadeniz iklimi arasında geçiş özelliği gösteren bir iklim hâkimdir. Çalışma alanı ve çevresinde yazları sıcak ve nemli; kışları soğuk, yağışlı ve bazen de karlıdır. Bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 870 mm'dir. En yüksek sıcaklık ortalaması 30 °C ile Ağustos ve en düşük sıcaklık

ortalaması 5°C ile Ocak ayıdır. Bölge en fazla yağışı sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde alır. Ancak karın yerde kalma süresi genellikle bir aydan azdır.

İnceleme alanı, Şekil 1.4.'de görüldüğü üzere kuzey-güney-doğu tarafında yapılan dolgular ile oldukça belirginleşmiş KD – GB doğrultulu dere yatağı ile gözlenmektedir (Eğim haritasında kırmızı kesik çizgi ile ayrılmış kısım). Topografik eğim, yapılan dolgular sonrası oluşmuş şevlerde % 25 – 50 aralığında, dere yatağı olarak belirlenen kısımlarda % 1 – 6 arasında bulunmuştur.

İnceleme alanı yakın çevresinde konut ve ticari türü yapılaşma olduğu halde hâlihazır da boş arazi olarak bulunmaktadır. Ancak çevre yapılar inşası sırasında kazı çalışmalarından çıkan hafriyat döküntülerinin sahada belli kısımlarda görülmektedir. Bu döküntüler dolgu şeklinde olmaktadır ve arazi ile bütünleşmiştir. Muhtemel olur ki uzun zamandır arazide olduğu sanılmaktadır. Bunun sonucu olarak yağış ve diğer etkenlerle arazinin yüzey topografyasının oluşmasında katkı sahibi olmuştur.



Şekil 1.4. İnceleme alanı eğim haritası.

BÖLÜM 2. JEOLJİ

2.1. Genel Jeoloji

İstanbul ili Marmara bölgesinde yer alan ve İBB (2007)'ye göre Erken Paleozoyik dönemde geniş zaman aralığında çeşitli kaya birimlerini barındıran bir ildir. Metamorfizma gösteren ve metamorfizma göstermeyen iki adet kaya stratigrafi birimi mevcuttur. Metamorfizma gösteren istif "İstranca Birliği" göstermeyen istif ise "İstanbul Birliği" denir.

Trakya yarımadasının kuzey kesimlerinde geniş alanlar kaplamakta olan İstranca Birliği şist, kuvarsit ve magmatitleri barındırır. Çatalca bölgesinden İstanbul içlerine girer. İstifin birimleri olan "Kızılağaç Metagraniti", "Şermat Kuvarsiti" ve "Mahya Şisti" Çatalca civarında gözlemlenmektedir.

Boğaz'ın her iki yakasında ve Kocaeli civarında geniş alanlarda bulunan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı olan İstanbul Birliği, metamorfizma göstermeyen kaya birimlerinden oluşmaktadır. Alt Ordovisyen yaşlı karasal çökeller birliğin en yaşlı kaya birimidir. İstifin tabanını oluşturan "Kocatöngel Formasyonu" ve "Kurtköy Formasyonu" Ordovisyen yaşlıdır ve İstanbul civarında açığa çıkmamıştır.

Boğazın batı yakasında, Beylikdüzü civarlarında, Küçükçekmece-Büyükçekmece gölleri arasında, Gürpınar semtinde, Haramidere'nin yamaçlarında, Avcılar'ın Marmara denizini gören güney yamaçlarında, Büyükçekmece gölünün doğusu ile Küçükçekmece gölünün batı kesimlerinde çokça gözlemlenen heyelanlar mevcuttur. Bu heyelanlar mevcut sayıları itibari ile geniş bir bölgeye yayılmıştır ve gözle seçilecek derecede belirgin olanları vardır. Arpat (1999)'a göre bu heyelanların büyük çoğunluğu güncel olmayıp mevcut topografyadan farklı oluşmuştur. Burada en önemli nokta anlatılan bölgenin yapılaşma konusunda son derece aktif olması

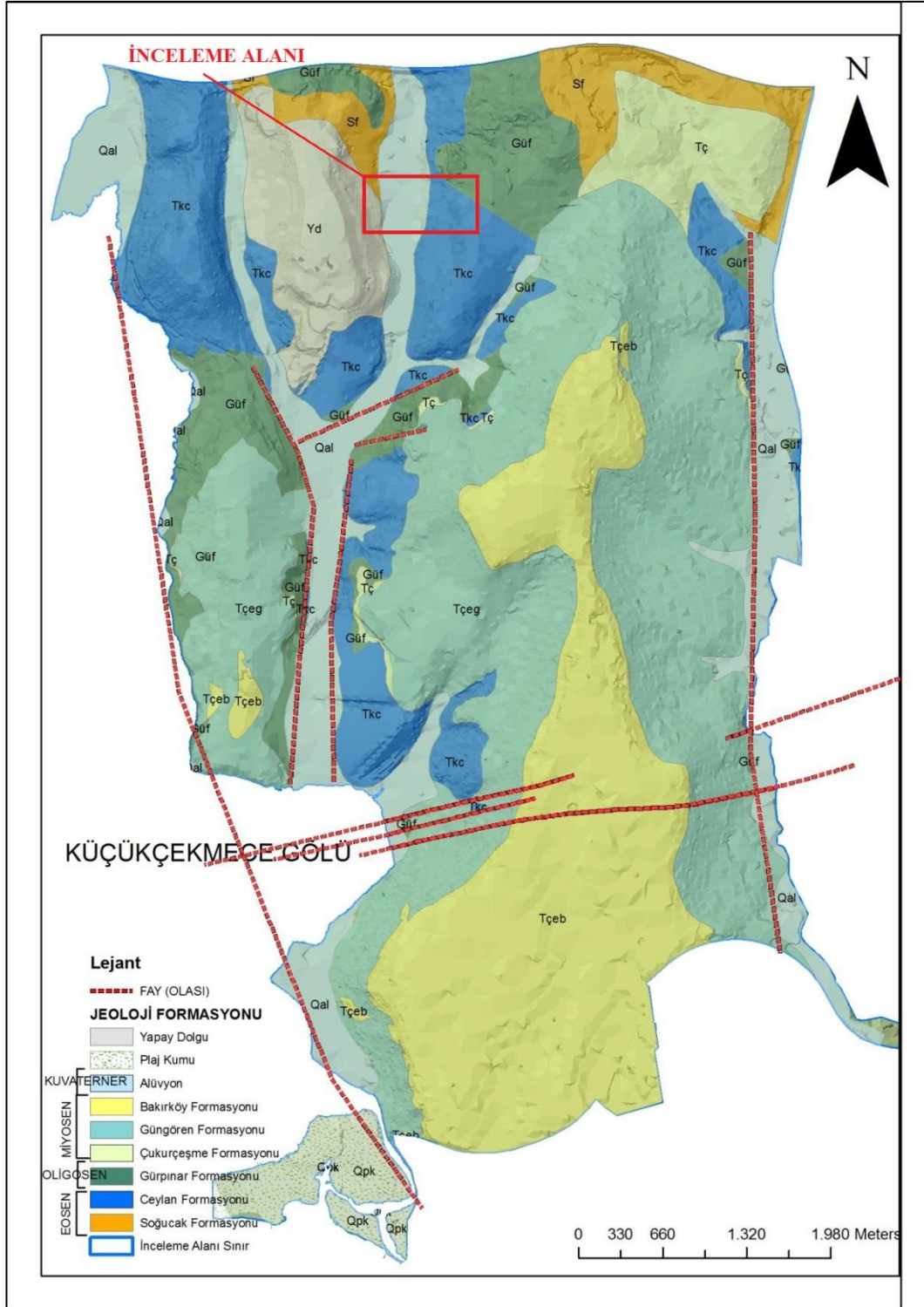
nedeniyle bilinçsiz kazı ve eğim arttırıcı dolguların heyelanlara etkinlik katmasıdır. Bu nedenle bölge kütle hareketlerinin sıklıkla görüldüğü bir yer olmuştur. Ayrıca heyelanlar, dayanımsız ve geçirimsiz olan Gürpınar Üyesi'nin dik yamaçlarında kiltaşının yaygın olduğu noktalarda gözlemlenmiştir.

Eosen-Alt Oligosen yaşında olan Ceylan Formasyonu'nun sürekli olduğu yerlerde yani Büyükçekmece gölü ile Küçükçekmece gölü arasında KD-GB ve KB-GD yönlü kendi içinde kesişen drenaj ağı bulunmaktadır.

İnceleme alanının da içerisinde olan bölgenin jeolojik haritası ve stratigrafik kesiti Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.'de verilmiştir. Genel anlamda jeolojik yapı sade seyretmektedir. Harita incelendiğinde Trakya Formasyonu, Soğucak Kireçtaşı, Ceylan Formasyonu, Danişmen Formasyonu, Çukurçeşme Formasyonu, Çekmece Formasyonu, alüvyon ve dolgu bölgenin jeolojik birimlerini oluşturmaktadır. Çalışma sahasında Ceylan Formasyonu, Danişmen Formasyonu, Çekmece Formasyonu ve dolgu birimleri gözlemlendiği için ilerleyen sayfalarda bu jeolojik birimler detaylandırılmıştır.

Fakat bir genelleme yapacak olursak bölgenin doğusunda ana kaya Trakya Formasyonudur. Batı ile orta kesim arasında ise Ceylan Formasyonu yerini almaktadır. Küçükçekmece gölünü doğu taraflarında eğim kuzeyden güneye doğrudur. Gölün yine doğu tarafında derin bir vadi görülmektedir. Vadinin doğusunda Trakya Formasyonu, batısında ise Ceylan Formasyonu mevcuttur. Küçükçekmece gölünün batı kısımlarında ana kaya derinlerde seyretmekteyken, kuzeyde ise bu durum tam tersidir ve yüzeye çıkar.

Danişmen Formasyonunun Gürpınar Üyesi kalıncadır ve ana kayayı kaplamaktadır. Küçükçekmece gölünün doğu kısımlarında bulunan kumlu zeminler Gürpınar Üyesine aittir. Killi zeminler ise gölün batı kısmında Gürpınar Üyesinin üst seviyelerinde bulunmaktadır. Bu durum bize gölün batısında çöküntü olma ihtimalini çağırır. Güngören ve Bakırköy Üyeleri ise kesintisiz katmanlardan oluşmaktadır ve sırtlarındaki düzlüklerin güneye doğru eğimli olduğu bilinmektedir.



Şekil 2.1. Çalışma sahası yakın çevresinin jeoloji haritası (İ.B.B. Mikrobölgeleme çalışmasından değiştirilerek) (Karaoğlu, 2013).

Küçükçekmece gölünün kuzey kısımlarında yüzeylenir. Farklı miktarlarda marn-killi kireçtaşı-kireçli kıltaşı ardalanmasına sahiptir ve kumtaşı ile kireçtaşı arakatlıdır. Birimde egemen kaya türü kıltaşıdır ve taze durumda mavimsi-külrengi, ayrışmış halde sarımsı boz-krem rengine sahiptir. Orta ve düzgün katmanlı olmakla birlikte konveks veya konkav kırılma yüzeyi vardır. Özgül (2005) fazlaca yoğun olan kireçtaşının benzer düzeylerine “Yassıören Üyesi” demiştir. İçeriğinde yüksek oranda kil barındırmasından ötürü Soğucak Kireçtaşında oluşan erime ve karstlaşma gözlenmez. Bu nedenle yer altı suyu bakımından geçirimsiz veya yarı geçirimsiz kaya olarak adlandırılabilir. Sert ve dayanımlı olduğu zamanlar taze iken gözlemlenmiştir. Hava ile etkileşimi, içinde bulunan kil oranı nedeniyle yumuşamasına ve zemin özelliği gösteren kaya türüne dönüşmesine neden olur.

Formasyonun derin ortamlarda çökeldiği bilinmektedir. Soğucak Kireçtaşı ile yanal düşey geçiş durumundadır ve bu birimi üstler. Formasyon Çukurçeşme ve Çekmece Formasyonları tarafından uyumsuz olacak şekilde üstlenir. Kalınlığı 40-50 m ile 150-200 m arasında değişir. Paleontolojik araştırmalar Ceylan Formasyonu'nun Özgül (2005)'e göre Üst Eosen'den Alt-Orta Oligosen'e değin geçen süreci kapsadığını ifade etmektedir.

2.2.2. Danişmen formasyonu

Eski araştırmacılar “Yenimuhacir Formasyonu”, “Danişmen Formasyonu” ve “Danişmen Şeyli” gibi çeşitli isimlerle çalışmışlardır (İBB, 2007). Trakya'da akarsu, ova, göl ve bataklık ortamlarında temsil edilir. En son Özgül (2005) tarafından önerilen Danişmen Formasyonu ismi kalıcı olmuştur. Yüksek oranda kumtaşı, çakıltaşı ve miltaşı arakatlı, kıltaşı ve şeyllerle temsil edilir. Tüf-tüffit ve kömür ara düzeylerine sahiptir. Yine Özgül (2005) tarafından Süloğlu Şeyl Üyesi, Gürpınar Üyesi, Çantaköy Volkanit Üyesi, Sinekli Üyesi ve Ağaçalı Üyesi olacak şekilde kendi içinde beş üyeye ayrılmıştır. Çalışma sahamızda ve ayrıca bölgede Gürpınar Üyesi açığa çıktığından dolayı alt başlıkta sadece bu üye incelenmiştir.

2.2.2.1. Gürpınar üyesi

Gürpınar Üyesi gevşek kumtaşı ile miltaşı ara katkılı kiltası-şeyl türü kırıntılardan meydana gelmektedir. İnce linyit ile tuf-tüffit ara düzeylerine sahiptir. Küçükçekmece gölünde batı kısımlarda ve kuzeyde gölün iki tarafında, yüksek oranda vadi tabanında ve yamaçlarda açığa çıkarak kendini göstermektedir. Sayar (1977) tarafından yaygın olarak görülen Gürpınar semti baz alınarak isimlendirilmiştir. Egemen kaya türü ince kum-mil arakatlı kil-kiltasıdır. Taze halinde kiltası morumsu, yeşil-koyu külrengine, ayrılmış halinde boz-açık külrengine sahiptir. İnce-orta katmanlı durumda ve laminalıdır. Bitki izleri mevcuttur.

Üyenin tabana yakın kısımlarında çakıl veya çakiltası mercekleri vardır. Gürpınar Üyesi'nin bölgede 250 m'nin üzerinde kalınlığa sahip olduğu yerler bilinmektedir. Yine bölgede birimin Soğucak Kireçtaşı uyumsuzlukla üstlediği görülmüştür. Trakya Formasyonunu uyumsuz şekilde üstlerken, Çekmece Formasyonu da birimi uyumsuz üstlemektedir. Küçükçekmece civarında 80 m kalınlığa sahiptir. Rückert-Ülkümen (1960)'e göre Gürpınar Üyesi Miyosen yaşlıdır. Fosillerden elde edilen ipuçlarına göre ise Orta Oligosen-Erken Miyosen aralığındadır (Özgül, 2005).

2.2.3. Çekmece formasyonu

İstanbul'un batı yakasında Marmara denizi kıyıları ile Karadeniz kıyıları arasında bulunmaktadır. Sayar (1989) tarafından Çekmece Formasyonu olarak isimlendirilmiş ve Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy kireçtaşları olarak üyelere ayrılmıştır. Formasyon'da en altta kum, üstünde ise kil-mil-kum-kireç bulunur. Çekmece Formasyonu'nun egemen kaya birimi ise kireçtaşlarıdır. Kendi içlerinde yanal ve düşey giriklik gösterdiği bilinmektedir.

2.2.3.1. Güngören üyesi

Bölgede ve inceleme sahamızda da görülen Güngören Üyesi, kum-mil arakatlı killerden oluşmaktadır. Birimin üst seviyelerinde ise makrofosil kavkılı ince kireçtaşı

arakatmanlar halindedir. Üye’de egemen birim cinsi yeşil renkli killerdir. Killer orta boylanmıştır ve gevşek ince kum seviyelerinin mercceklerine sahiptir. Nadiren de kömürlü kil seviyeleri mevcuttur. Üye’ye ait net kesitler Küçükçekmece gölünün doğu kısımlarında, Avcılar ve Firuzköy sırtlarında görülmektedir. Güney yönlü eğimi bulunmaktadır. Kalınlığı 50 m veya daha azdır. Denizel ortam, göl veya bataklığı ifade etmektedir. Orta sertliğe sahip ve şişmeye duyarlı pekişmiş vaziyettedir. Sayar (1989)’a göre birim Üst Miyosen yaştaadır.

2.2.4. Yeni dolgular

İnceleme sahasının da içerisinde yer alan bölge, yapılaşma bakımından son derece aktiftir. Bu nedenle çeşitli inşa ve alüvyon düzlüklerin doldurulması gibi kaynağı çokta bilinmeyen yapay zemin durumuna gelmiş dolgular bölgede yaygın durumdadır. Kalınlıklarının 3 ile 5 m’den yer yer 10 ile 40 m’lere kadar değiştiği ve hatta bazı bölgelerde bu rakamlarında üzerinde olduğu bilinmektedir. Tarihsel etkininde sebebiyet vermesi sonucu düzensiz yapıya kavuşmuş ve doğal zeminden ayırt etmek oldukça güçleşmiştir. İnceleme sahasında da olduğu killerden oluşmaktadır ve içeriğindeki tuğla parçacıkları, moloz vb. unsurlar sayesinde ayırt edilebilmektedir.

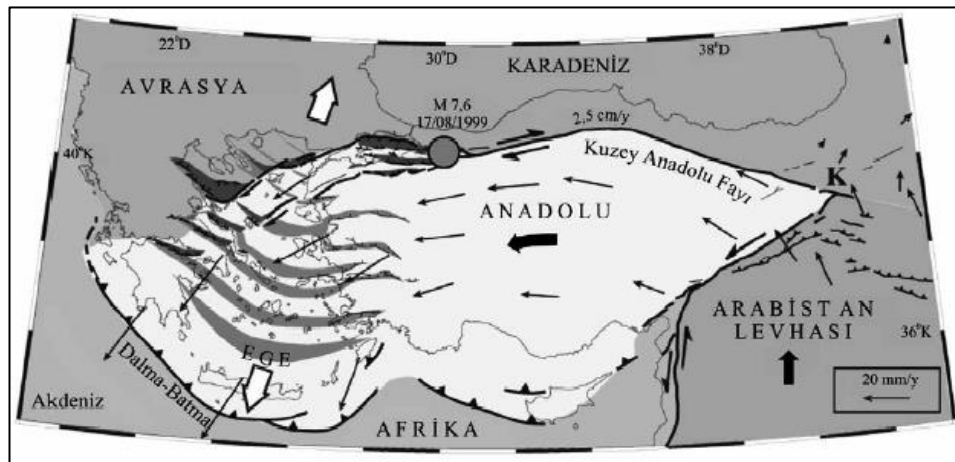
2.3. Tektonizma

Anadolu’nun diri tektoniği esas itibari ile Arap ve Afrika levhalarının hareketsiz olduğu varsayılan Avrasya levhasına göre kuzeye doğru hareketleriyle kontrol edilmektedir (Jackson ve Mckenzei, 1984; Şengör ve ark., 1985). Arap levhasının kuzeye doru hareketi sonucu Avrasya ve Arap levhaları arasında sıkışan Anadolu levhası batıya doğru hareket etmektedir. Anadolu levhasının kaçış tektoniği olarak adlandırılan bu hareketi Kuzey Anadolu (KAFZ) ve Doğu Anadolu (DAFZ) fay zonları olarak adlandırılan sırasıyla sağ ve sol yanal iki doğrultu atımlı fay sistemi boyunca gerçekleşmektedir. Bu iki kıtasal transform fay zonu Doğu Anadolu’da (Şekil 2.3.) Karlıova Üçlü Eklemleri (KÜE) olarak bilinen yerde birleşmektedir (Utkucu, 2011).

Anadolu levhasının batıya doğru olan tektonik kaçış hareketi Batı Anadolu'da yön değiştirmekte ve güneybatıya yönelmektedir. Bunun sonucu olarak da Batı Anadolu genişleme şeklinde bir tektonik rejim etkisi altında kalacaktır. Anadolu levhasının güneyindeki Afrika levhası da Helenik ve Kıbrıs yayları boyunca Anadolu levhasının altına dalmaktadır. Doğu Anadolu'da Arap levhası, Bitlis Bindirme Zonu (BBZ) olarak adlandırılan bir deformasyon zonu boyunca Anadolu levhası ile çarpışmaktadır (Dewey ve ark. 1986).

Türkiye, tektonik yapısına göre dört ana deprem bölgesine ayrılmıştır.

- Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ): Türkiye, Alp – Himalaya sismik kuşağı üzerinde yer aldığından; Kuzey Anadolu Fay Hattı, bu tektonik kuşak üzerinde çok etkin bir bölge olarak uzanmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu dünyanın en aktif ve önemli fay zonu olup doğuda Karlıova ile batıda Mudurnu arasında doğu-batı doğrultusunda bir yay gibi uzanır. Uzunluğu yaklaşık 1200 km, genişliği ise 100 m. ile 10 km. arasında değişmektedir.
- Doğu Anadolu Fayı Zonu (DAFZ): Doğu Anadolu Fayı, Antakya- Amik Ovasından başlar Karlıova civarında Kuzey Anadolu Fay ile birleşmektedir.
- Batı Anadolu Bölgesi (Ege Graben Sistemi, EGS)
- Dağınık Deprem Episantrlarını Kapsayan Bölge (Gülen, 2010).



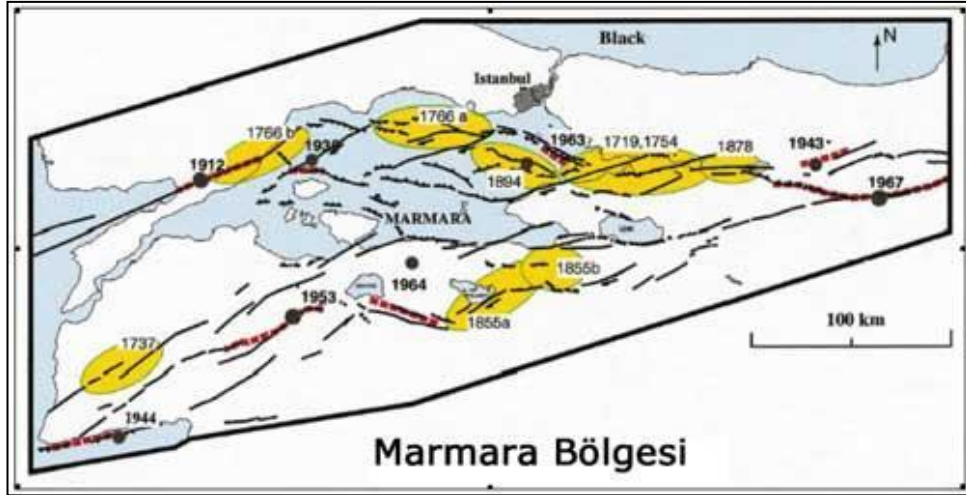
Şekil 2.3. Türkiye'nin genel tektonik yapıları (Armijo ve ark., 1999).

2.3.1. Çalışma bölgesinin tektoniği

İnceleme alanına en yakın aktif sismik kaynak yaklaşık güneydoğuda Marmara Denizi içerisinde geçen Kuzey Anadolu Fay Hattıdır. Deprem risk analizi çalışmalarında incelenen bölgenin tektonik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bilindiği gibi Kuzey Anadolu Fay zonu ülkemizin en aktif fay zonudur. Uzunluğu 1000 km yi geçmekte olup, doğrultu atımlı ve sağ yönlüdür.

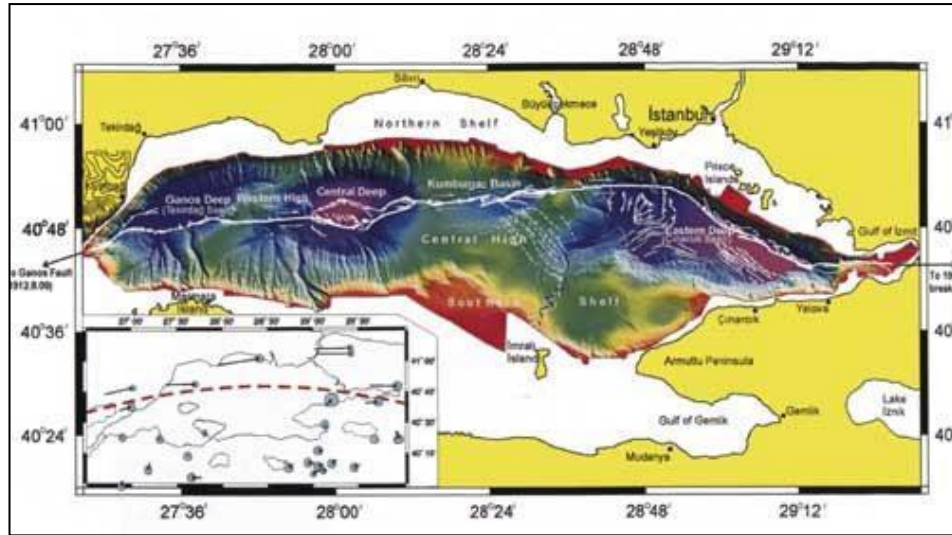
Başta İzmit Körfezi olmak üzere, Marmara Bölgesinin tektoniğinin araştırılmasına yönelik bugüne değin çok sayıda çalışma yapılmıştır (Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Bargu ve Yüksel, 1993; Koral ve Eryılmaz, 1995; Barka, 1997 ; Okay ve ark.,1999). Bölgenin tektonizmasıyla ilgili pek çok husus açıklığa kavuşturulmuş olmakla birlikte, halen tartışmaya açık olan konular bulunmaktadır. Barka (1997)'nin, Marmara Bölgesi'nin güncel tektoniğini incelediği çalışmasında, bölgeye ait önceki araştırmaları özetleyerek, Kuzey Anadolu Fayı'nın Mudurnu Vadisi civarında üç kola ayrıldığını belirtmektedir. Bu kollar; İzmit'ten geçip Marmara Denizi ve Saros Körfezi boyunca Yunanistan'a kadar uzanan kuzey kol, Geyve, İzmit, Mudanya, Bandırma ve Biga'yı izleyen bir hat boyunca merkezi kol ve Bursa, Manyas Gölü, Balıkesir üzerinden Edremit Körfezi'ne kadar uzanan güney koldur. Marmara Denizindeki çukurluklar ile Sapanca, İzmit ve Manyas gölleri, KAFZ'na ait kolların doğrultu atımlı hareketiyle ilişkili olan çek-ayır (pull-apart) mekanizmasının ürünleri olarak değerlendirilmektedir (Çeken, 2007).

Kuzey Anadolu Fayı'nın batı alanlardaki gerilmeli tektoniği, Marmara Denizi'nin batimetri ile karşılaştırıldığında Marmara Denizi içerisindeki çukurlukların üç büyük çek-ayır havzaya karşılık geldiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu görüşten hareketle Marathon Oil firmasının yapmış olduğu ancak yayımlanmamış sismik kesitleri de kullanarak Barka ve Cadinsky-Cade (1988) Marmara Denizi'nin bir çek ayır havzalar dizisi şeklinde açıldığı görüşünü ileri sürmüşlerdir (Şekil 2.4). Buna bağlı olarak Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisinde çok parçalı bir yapıda olduğu ileri sürülmüştür (Çeken, 2007).



Şekil 2.4. Marmara Denizi çevresinde Kuzey Anadolu Fayı'nın başlıca aktif kolları ve bu kollar üzerinde gerçekleşmiş tarihi depremler (Barka, 1997) Sarı alanlar 1700-1900 yılları arasında kırılan fay segmentleri ve etkiledikleri alanları göstermektedir.

Yakın zamanda Le Pichon ve ark. (2001) Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içerisindeki geometrisini Le Suroit gemisi ile elde edilen veriler ışığında yorumlamışlardır. Batimetri ve sismik yansıma profillerine dayanan bu araştırmaya göre Marmara Denizi'nin yapısı, Şekil 2.5'de gösterilmiştir (Çeken, 2007).



Şekil 2.5. Marmara denizinin yapısı (Le Pichon ve ark., 2001).

Bu haritalara göre Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi'ne İzmit Körfezi doğusundan giren ana kolu Körfez çıkışında, Çınarcık Çukurluğu içerisine girmekte ve bu çukurluğu kuzeyden sınırlar bir şekilde, Adaların güney ve batısına kadar

izlenmektedir. Çınarcık Çukurluoğlu'nun güneyinde Çınarcık-Yalova arasında uzanan ve bilhassa 17 Ağustos Depremi'nin artçuları ile açık bir biçimde takip edilebilen fay bu haritada (sığ sularda çalışılmamış olmasından dolayı) görülememektedir. Bu fay ile Çınarcık Çukurluoğu arasında ise az eğimli bir self bulunmaktadır (Okay ve ark., 2000).

Haritada izlenen en önemli unsurlardan biri de İmralı Adası'nın hemen batısından geçerek Çınarcık Çukurluoğlu'nun batısına uzanan ve bugün Marmara Denizi'nin suları altında kalmış bir nehir yatağıdır. Bu yatak Marmara Denizi'nin henüz olmadığı dönemlerde güney alanlardan kuzeye, olasılıkla Karadeniz'e kadar uzanıyordu. Nehir yatağının menderesli yapısı yatak eğiminin düşük olduğunu işaret etmektedir (Çeken, 2007).

Adaların güneyinden sonra ana fay kolu dönerek doğu-batı uzanım kazanır. Yeşilköy açıklarındaki bu dönüş alanı kuzey-güney gidişli bindirme fayları ile karakterize edilir. Bu durum fayın dönüşünün burada sıkışmalı bir etki yarattığını işaret etmektedir (Çeken, 2007).

Çınarcık Çukurluoğu, batıda Orta Marmara Yükselimi ile sınırlanır. Bu yükselimin kuzeyinden devam eden ana fay, Kumburgaz Havzası'ndan geçerek batıdaki Orta Marmara Havzası'na (ya da çukurluoğu) girer. İçerisi tutturulmamış yumuşak ve suya doygun çökellerle dolu olan bu çukurluk içerisinde fay diğer kesimlerdeki kadar iyi izlenememekte, çok sayıda küçük faylar şeklinde izlenmektedir. Le Pichon ve ark. (2001)'in makalesinde bir kısım yazarlar burada fayın tek parça olduğunu belirterek fayın saçılmasının havzayı dolduran çökellerin yapısından kaynaklandığını kabul etmişler, aynı makalenin yazarlarından bir kısmı ise bu yoruma katılmamışlardır. Bu yazarlara göre fay burada farklı segmentlerden oluşmaktadır (Çeken, 2007).

Orta Marmara Havzası'nın batı sınırını oluşturan Batı Marmara Yükseliminde ana fayın izi son derece belirgindir. Burada sırtı keskin bir biçimde kesen fay batıya doğru Tekirdağ Havzası içerisine girer. Havzanın güneyinden geçen ana fay daha

sonra karaya çıkarak Ganos dağlarının güneyinden Saros Körfezi'ne devam eder (Çeken, 2007).

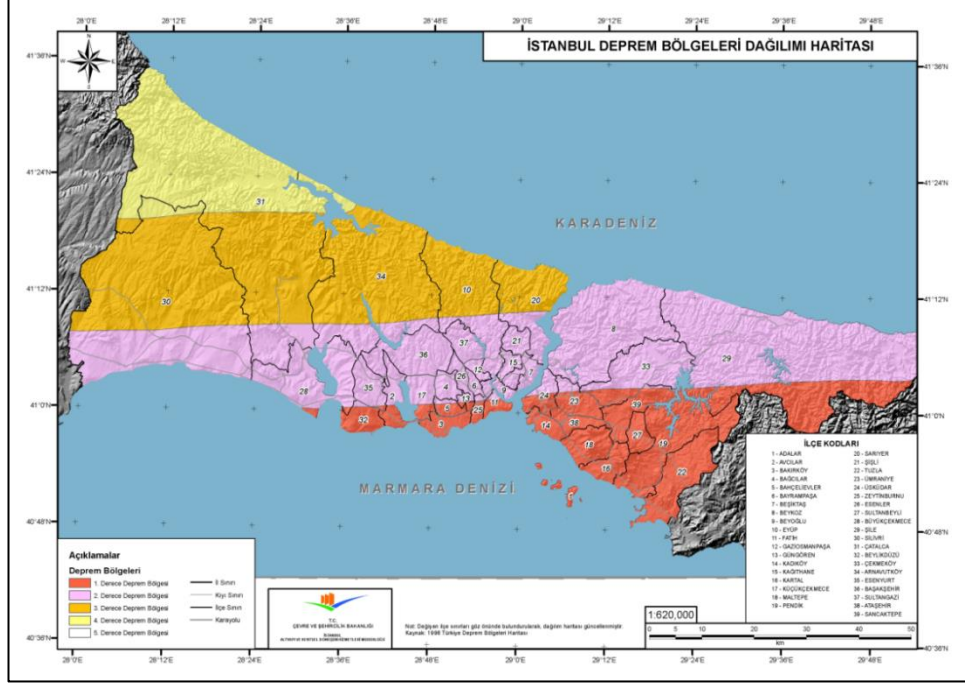
Yukarıda tanımlanan hali ile Marmara Denizi içerisindeki Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu, 17 Ağustos 1999 depremini oluşturan fay ile 9 Ağustos 1912 Şarköy-Mürefte depremini oluşturan fayı birbirine bağlayan tek bir parça faydan oluşmaktadır. Bu fay üzerinde geçmişte yaşanan büyük depremler olmuştur. Bilindiği gibi Marmara çevresi 1509, 1766 ve 1894'te büyük depremlerden etkilenmişlerdir. Marmara Denizi içerisi ve çevresinde yapılan araştırmalar Marmara Denizi içerisindeki bu fayın da yakın bir zamanda kırılma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir (Çeken, 2007).

Kuzey Anadolu Fay Zonu, çok sayıda segment ile bu segmentleri oluşturan kademeli ve sağ yanal atımlı faylar tarafından temsil edilmektedir. KAFZ'nun Doğu Marmara Depremi'nde rol oynayan kuzey kolu, biri Sapanca-Gölcük segmenti, diğeri ise Karamürsel segmenti veya fayı olmak üzere iki segmentten oluşmaktadır (Koral ve Eryılmaz, 1995; Barka, 1997). Sapanca-Gölcük segmenti, Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasında yaklaşık D-B doğrultusunda uzanırken, İzmit Körfezinden itibaren Gölcük civarında GB'ya doğru yön değiştirmektedir. Hava fotoğraflarından yapılan değerlendirmeler (Barka, 1997) ve Gölcük ile Hersek deltası arasında kalan kıyı çizgisinin çok düzgün olması (Koral ve Eryılmaz, 1995), KD-GB doğrultulu Karamürsel segmentinin Gölcük'ten itibaren kıyının çok yakınından geçtiği, ancak Hersek deltasının batısına kadar devam etmediği şeklinde değerlendirilmektedir. Karamürsel segmentinin kuzeyinde, Hereke'den başlayıp Marmara Denizi'nin içinden ve Hersek deltasının kuzeyinden Çınarcık'a doğru geçen, KD-GB doğrultulu Yarımca Yalova segmenti yer almaktadır (Barka, 1997).

2.3.2. Çalışma bölgesinin depremselliği

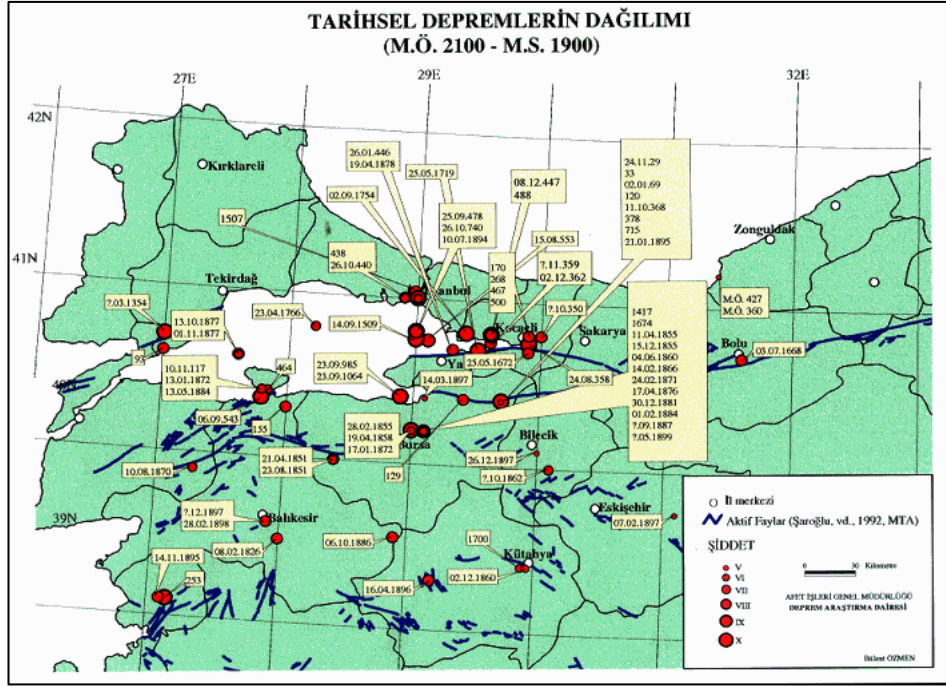
İstanbul, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 1996 yılında yayımlanan ve halen yürürlükte bulunan Deprem Bölgeleri Haritasına göre % 17'si I. Derece, % 41'i II. Derece, % 31'i III. Derece ve % 11'i IV. Derece deprem bölgesinde bulunan bir

ilimizdir (Özmen ve ark., 1997) (Şekil 2.6). Bu rakamlara göre İstanbul ilinin % 58'inin I. ve II. Derece, % 42'sinin ise III. ve IV. Derece deprem tehlikesi altında bulunduğu söylenebilir. Çalışma bölgemiz II. Derece deprem bölgesindedir (Özmen, 2002).



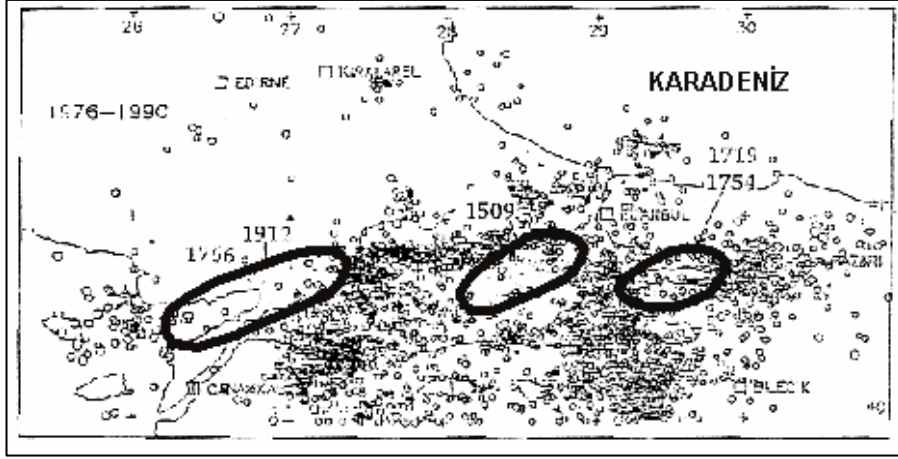
Şekil 2.6. İstanbul ili deprem bölgeleri dağılım haritası (<http://www.csb.gov.tr/iller/istanbulakdm>).

Bölgede oluşmuş tarihsel depremler Şekil 2.7.'de merkez üslerinin dağılımı ile gösterilmiştir. Şekilde de görülen merkez üssü dağılımından, depremlerin KAFZ'nun Doğu Marmara Depremi'ne neden olan kuzey kolu üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, kuzey kolunun diğer kollara oranla daha aktif olduğunun göstergesidir. Marmara Bölgesi'nin doğu ve batı kesimlerinde meydana gelmiş olan bazı önemli depremlerin değişik araştırmacılarca yapılan fay düzlemi çözümleri Barka (1997) tarafından derlenmiş olup, bu çözümler, bölgedeki depremlerin önemli bir bölümünün sağ yanal atımlı bir faylanmayla meydana geldiğini göstermektedir. Yüksel (1995), 1900-1986 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde büyüklüğü $M > 4,5$ olan toplam 119 adet deprem için yaptığı değerlendirmeye göre, bölgede meydana gelebilecek olası bir depremin açığa çıkaracağı enerjinin, büyüklüğü 6,5'ten yüksek bir depremin enerjisine eşit olacağını belirtmiştir (Çeken, 2007).



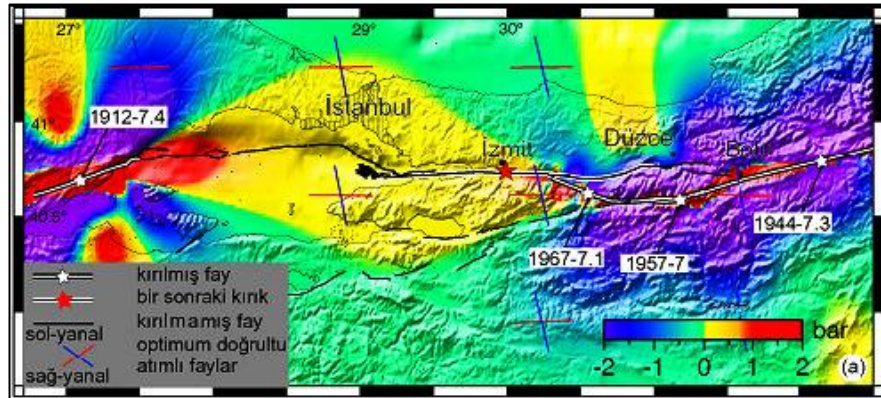
Şekil 2.7. Marmara bölgesinde meydana gelmiş tarihsel depremlerin dağılımı (Afet İşleri Genel Müdürlüğü).

Barka (1997) ve Üçer ve ark. (1997), Marmara Bölgesi'nde düşük sismisiteye sahip üç alanın Şekil 2.8.'de de görüldüğü gibi sismik boşluk olabileceğini belirtmişlerdir. Bunlardan en doğuda bulunan alanda 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi meydana gelmiştir. Ayrıca, bu bölgedeki bir sismik boşluğun varlığı Toksöz ve ark. (1979) tarafından, 1999 depreminden çok daha önce Kuzey Anadolu fayı (KAF) üzerinde meydana gelen depremlerin zamansal ve alansal göçü dikkate alarak, İzmit körfezi bölgesinin 6,0 veya daha büyük bir depremin tehdidi altında olduğu belirtilmiştir. Gerek Toksöz ve ark. (1979)'nın aletsel dönemde meydana gelen depremlerin dağılımını ve gerekse en son Stein ve ark. (1997)'nin iki boyutlu elastik sınır eleman yöntemini esas alarak yaptıkları modelleme çalışmalarının sonuçları da KAFZ boyunca Sapanca ile Yalova arasındaki bölgede bir sismik boşluğun varlığını göstermiştir (Çeken, 2007).



Şekil 2.8. Marmara Bölgesi'nin 1976-1990 yılları arasında sismisitesi ve önemli kabul edilen boşlukları (Barka, 1997).

Coulomb gerilme değişimi haritasından (Şekil 2.9), daha önce oluşan depremlerin Marmara denizi bölgesini, doğuda İzmit ve batıda Ganos ve civarı olmak üzere her iki taraftan gerdiği ortaya çıkmaktadır. 1999 öncesi depremler İzmit depremi merkezi civarında gerilmenin yaklaşık 0,3 bar artmasına neden olmuştur. Bu bölgede 1766 yılından beri (236 yıldır) büyük bir depremin olmadığı ve büyük depremlerin burada yaklaşık 250 yılda bir tekrarlandığı düşünüldüğünde (Ambraseys ve Finkel 1991; Ambraseys, 2001), Marmara bölgesi ve özellikle İstanbul yakın bir depremin ciddi tehdidi altındadır (Çakır ve ark., 2003).



Şekil 2.9. 1999 İzmit depremi öncesinde bölgede varolan Coulomb gerilime dağılım haritası (Çakır ve ark., 2003)

Tarihsel ve aletsel dönemde İstanbul'u etkileyen birçok deprem olmuştur. Tarihsel dönemde (1900 yılı öncesi) meydana gelmiş depremlerin en önemlilerinden 3 tanesine ait bulgular kısaca aşağıda özetlenmiştir (Özmen, 2002).

- a. 14.09.1509 Depremi: Küçük kıyamet olarak da isimlendirilen bu depremin şiddeti IX, episantrı 40.75 K ve 29.00 D'dir (Soysal ve ark. 1981). Bu deprem nedeniyle İstanbul'da oldukça fazla hasar olmuştur. Genellikle 109 cami ve 1070 konutun yıkıldığı ve şehirde birçok yerde duvarların yıkıldığı en kabul gören hasar durumudur. Depremin yarattığı dalgalar ve su baskınları yüzünden Yenikapı ve Aksaray'da hasarlar olmuştur. 5000 – 13000 arasında can kaybı olmuştur (Öztin ve Bayülke, 1990). Ambraseys ve Finkel (1990) ise İstanbul ve Beyoğlu'nda hemen hemen bütün evlerin hasar gördüğünü ve bazı yerlerde yüzeyde açılmalar ve kum fişkırımlarının meydana geldiğini belirtmişlerdir (Özmen, 2002).
- b. 22.05.1766 Depremi: Depremin maksimum şiddeti IX, episantrı 41.00K ve 29.00D'dir (Soysal ve diğ. 1981). Büyük ve Küçük Çekmece, Çorlu, Büyükkarıştıran ve Burgaz adasında oldukça ağır hasara neden olmuştur. İstanbul'daki cami ve duvarlar önemli hasar görmüştür. Bu deprem 1509 depreminden sonra olmuş en şiddetli depremdir (Öztin ve Bayülke, 1990).
- c. 10.07.1894 Depremi: Salı günü öğle vakti İstanbul ve çevresinde hasar yapan, Bükreş, Girit, Yunanistan, Konya ve Anadolu'nun büyük kısmında hissedilen ve literatürde "1894 İstanbul Depremi" olarak yer alan deprem, İstanbul il sınırları içinde 474 kişinin ölümüne, 482 kişinin yaralanmasına, 387 dayanıklı yapı ile 1087 ev ve 299 dükkânın önemli ölçüde hasar görmesine yol açmıştır (Öztin, 1994).

Aletsel dönemde (1900 – 2001) meydana gelmiş depremlere ait bulgular kısaca aşağıda özetlenmiştir.

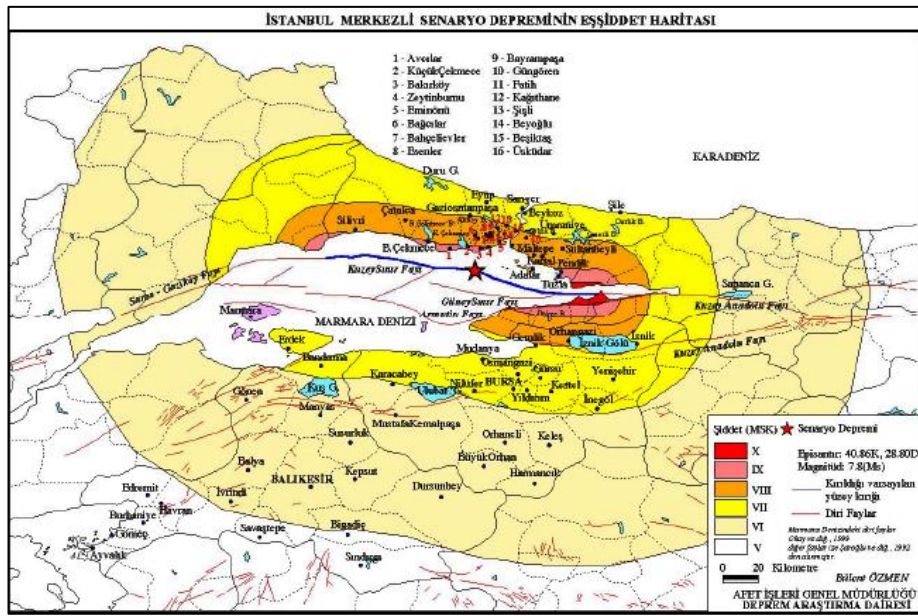
- a. 18 Eylül 1963 Çınarcık Depremi: 18 Eylül 1963 tarihinde meydana gelen Çınarcık depreminin magnitudü $M_s=6,3$, odak derinliği 40 km., maksimum şiddeti $I_0=VII$ ve episantrı 40.77 K, 29.12 D olarak belirlenmiştir (Alsan ve ark., 1975). Bu depremin Marmara kıyılarında 70000 kilometre karelik bir alanda şiddetli olarak algılandığı belirtilmiştir. Çınarcık, Yalova ve yöre köylerde yıkıcı etki yapan deprem denizde de hissedilmiş, kıyılarda dalgalara neden olmuştur. Deprem sonucu 230 yapı ağır hasar, 852 yapı orta hasar,

- 2560 yapı hafif hasar görmüş 1 kişi ölmüş, 26 kişi yaralanmıştır (Bağcı ve ark., 2000).
- b. 6 Ekim 1964 Manyas Depremi: 06.10.1964 günü meydana gelmiş olup maksimum şiddeti $I_0 = IX$, magnitudü $M_s = 7,0$ ve episantrı 40.30 K ve 28.23 B'dir. Depremde 5398 yapı ağır hasara, 3280 yapı orta hasara ve 2200 yapı da hafif hasara uğramış 23 kişi ölmüş, 26 kişi yaralanmıştır (Bağcı ve ark., 2000).
- c. 24 Nisan 1988 Kuzey Marmara Denizi Depremi: 24 Nisan 1988 tarihinde meydana gelen bu depremin maksimum şiddeti $I_0 = VII$, magnitudü $M_s:5,1$ ve episantrı 40.93 K ve 28.07 D'dir. Yapılan anket sonucunda, Zeytinburnu'nda cam kırılmaları, Çorlu ve Çatalca'da hasar olduğu belirlenmiştir (Eyidoğan ve ark., 1988).
- d. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi: Depremin maksimum şiddeti $I_0=X$, magnitudü $M_s=7,8$ ve episantrı 40.70 K, 29.19 D olarak saptanmıştır. Deprem sonucunda 66448 konut ağır hasara, 66756 konut orta hasara ve 79576 konut da hafif hasara uğramıştır. Depremde 17408 kişi hayatını kaybetmiş, 43953 kişide yaralanmıştır. İstanbul ilinde 3073 konut ağır hasara, 13339 konut orta hasara ve 12455 konut ise hafif hasara uğramıştır. İstanbul ilinde 454 kişi ölmüş ve 1880 kişi yaralanmıştır (Özmen, 2000).

Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizinde nasıl bir seyir izlediğini saptamak amacı ile İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü ortak bir çalışma yaparak Marmara Denizi içindeki aktif fayları saptayarak haritalamışlardır. Bu haritaya göre, İzmit Körfezine kadar tek bir kol oluşturan Kuzey Anadolu Fayı, körfez içinde önce ikiye çatallanmakta, daha sonra kuzeydeki kol körfez çıkışında tekrar ikiye ayrılmaktadır (Okay ve ark., 1999) (Şekil 2.10.). İstanbul iline en yakın olan Kuzey Sınır Fayı, Marmara Denizi'nin derinliği 110 metreyi geçmeyen sahanlığı ile derinliği 1276 metreyi bulan Çınarcık çukuru arasındaki yamacı izler. Güney Sınır Fayı ise Çınarcık çukurunun güney yamacı boyunca devam eder. Armutlu Fayı ise İmralı Adası ile Armutlu Yarımadası arasında yer alır. Bu çalışmada oldukça tartışmalı olan ve halen

tartışılmaya devam eden Marmara Denizi aktif fayları için yukarıda bahsedilen çalışmada elde edilen diri faylar kullanılmıştır (Özmen, 2002).

İstanbul için deprem senaryosu deterministik metot kullanılarak Kuzey Sınır Fayının İstanbul'a en yakın (11 km) yerinde 28.80 K boylamı ve 40.86 D enleminde meydana gelebilecek Ms: 7,8 büyüklüğünde bir deprem için yapılmış ve yüzey kırığı uzunluğunun 140 km olacağı kabul edilmiştir. Senaryo depremin büyüklüğü ve yüzey kırığı uzunluğu 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi ile aynı alınmıştır.



Şekil 2.10. İstanbul merkezli senaryo depremin eşşiddet dağılım haritası (Özmen, 2002)

Erdik ve Eren (1983) Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca oluşan depremlerle ilişkili olarak var olan eş şiddet haritalarından yararlanarak fay izine dik olacak şekilde aşağıdaki gibi bir azalım ilişkisi elde etmişlerdir (Özmen, 2002).

$$I = 0,34 + 1,54 \cdot M - 1,24 \cdot \ln R \quad (2.1)$$

Burada; I: MSK ölçeğinde yapı yerindeki ortalama şiddet, M: yüzey dalgası magnitüdü, R: faya en yakın uzaklık (km cinsinden).

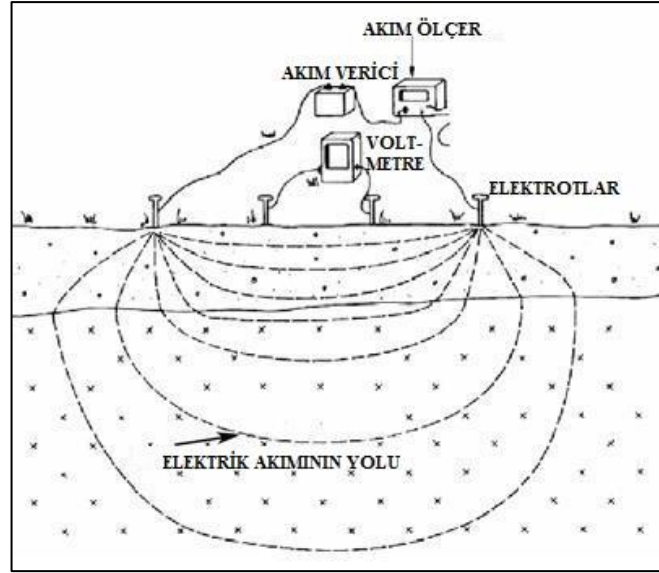
Senaryo deprem neticesinde İstanbul ve diğer komşu illerde oluşabilecek maksimum şiddet değerleri yukarıdaki azalım ilişkisi kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerlerin birleştirilmesi ile eş şiddet haritası elde edilmiştir (Şekil 2.10.). Burada elde edilen değerler sert zemin koşullarında oluşabilecek şiddet değerlerini göstermektedir (Özmen, 2002).

Senaryo deprem neticesinde oluşabilecek ölü sayısı 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'ndeki ölü sayısının ağır hasarlı konut sayısına bölünmesi ile elde edilen % 26 oranı kullanılarak, yaralı sayısı ise yine aynı depremde oluşan yaralı sayısının ölü sayısının kaç katı olduğunun hesaplanmasıyla bulunan 2,515 rakamı kullanılarak, açıkta kalacak insan sayısı da ağır hasar ve orta hasarlı konutların toplanmasıyla elde edilen sonucun hane halkı büyüklüğü ile çarpılması sonucu hesaplanmıştır.

İstanbul'da olası bir deprem sonucunda ölü sayısının 32536, yaralı sayısının 81828 kişi olacağı, ağır hasarlı konut sayısının 125137, orta hasarlı konut sayısının 169473, hafif hasarlı konut sayısının 206187 olacağı ve bu hasarlar nedeniyle 1219685 kişinin açıkta kalacağı ve 294610 çadıra ihtiyaç olacağı tahmin edilmektedir. Verilen bu rakamlar sadece İstanbul ilinde beklenen hasarları göstermektedir. Olası bir depremden Marmara Denizinde sınırı olan bütün iller etkileneceği için bu rakamlara diğer illerde oluşabilecek hasarlarında ilave edilerek afet planlarının buna göre yapılması daha uygun olacaktır (Özmen, 2002).

BÖLÜM 3. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

Elektrik öz direnç yöntemi en sık kullanılan jeofizik yöntemlerden biridir. Elektriksel, elektroliz işlemiyle yeryüzü boyunca oluşan iletimdir ve toprak ile kayalarda bulunan gözeneklilik ile gözeneklerin içerdiği su oranına bağımlı olarak değişim gösterir. Bu yöntemde amaç, yer içindeki yapıların yatay ve dikey yönde elektriğin iletim biçimlerini araştırmaktır. Kayalar elektriği iletme yeteneğinin yanı sıra elektriğin iletimine karşı direnç gösterme özelliğine de sahiptir ve bu özelliğe de dirençlilik (rezistive) adı verilir. Kayacın birim haciminde gözenekliliği az ve sıkı olanlar oldukça zayıf ileticilerdir ve yüksek dirence sahiptirler. Buna karşılık gözeneklilik miktarı arttıkça gözeneklerdeki sıvı oranına bağlı olarak iletkenlik artar ve direnç azalır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Elektrik öz direnç yöntemi (Robinson ve Coruh, 1988).

Özdirenç yöntemi jeolojik birimlerin elektrik öz dirençlerinin saptanarak yer için özelliklerinin aydınlatılmasını sağlayan bir yöntemdir. Jeofiziğin en eski yöntemlerindedir. Jeofizik yöntemlerin içinde çoğuna göre basit, nispeten ucuz,

mükemmel sonuçlar verebilen ve bu sebepten pek çok jeolojik sorunun çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özdirenç yöntemi maden, petrol yataklarının ve yer altı sularının aranmasında, yer altı jeolojik ve arkeolojik yapısal özelliklerin aydınlatılmasında başarıyla kullanılan bir yöntemdir (Keçeli, 2009).

Yer içine bir akım kaynağından iki elektrot vasıtasıyla elektrik akımı gönderilirse elektrik akımı yer içindeki metalik ortamda elektron, sıvı ortamlarda iyonlar ile veya her iki ortamın birlikte olduğu durumlarda elektron ve iyonlarla taşınır. İki akım elektrotu vasıtasıyla gönderilen elektrik akımına, elektrot açıklığına ve en önemlisi yer içinin elektrik akımı iletme özelliğine bağlı olarak yeryüzünde ve içinde elektrik potansiyeli (voltaj) dağılımı oluşur. Yerde oluşan elektrik potansiyeli diğer iki ayrı elektrot vasıtasıyla ölçülür. Özdirenç yöntemi uygulamalarında dört elektrot yeryüzüne veya yer içine çeşitli şekillerde yerleştirilip akım iki elektrottan uygulanır ve voltaj diğer iki elektrottan ölçülür. Uygulanan akım miktarı ve ölçülen voltaj değeri ile elektrotlar arasındaki ilişki ortalama özdirenci ifade eden özdirenç değerine dönüştürülür. Uygulanan akımın nüfuz derinliği elektrotlar arasındaki uzaklık açılımı arttıkça artar. Bu özellikten yararlanarak yer içinin birkaç metre derinliğinden birkaç bin metre derinliklerine kadar incelemesi yapılabilmektedir. Yerin özdirencindeki düşey değişim modelleri bir referans noktasına göre elektrot dizilimi açılımı kullanılarak elde edilir. Bu nedenle özdirenç yöntemi yerin elektrik özdirencindeki değişimleri saptayıp yer altı katmanlarının gerçek özdirençlerini ve kalınlıklarını ve haritalarını elde edip derinlik sondajı şeklinde işlev yapan bir yöntemdir (Keçeli, 2009).

3.1. Kayaçların Elektrik Özellikleri

Kayaçların elektrik özellikleri, prensip olarak, elektrik özdirençlerinin Ohm Kanunu'na dayanarak saptanmasıyla incelenir Bilindiği gibi Ohm kanunu bir elektrik devresinden doğru akım geçerken elektrik devresindeki direnç elemanı üzerinde meydana gelen potansiyel veya gerilim düşmesinin o elemandan geçen akım miktarına oranı sabittir (Keçeli, 2009).

Elektrik özdirenç ile elektrik iletkenlik arasında doğrudan ters orantı mevcuttur, yani

$$\rho = 1/\sigma \quad (3.1)$$

Burada ρ özdirenci, σ ise iletkenliği temsil etmektedir.

Yeryüzüne yakın kayaçların elektrik iletkenlikleri, basit olarak, metalik ortamlarda elektron, bunun dışındaki ortamlarda iyonların taşınmasına bağlıdır. Mamafih kayaçların iletkenliği çoğunlukla birbirine bağlı gözeneklerde, tane sınırları boyunca, kırıklarda, faylarda, ezilme bölgelerinde bulunan sıvıya, onun içindeki iyon türüne ve konsantrasyonuna bağlıdır. Elektrik akımının akışını sağlayan iyonlar su içindeki tuzların çözünmesiyle oluşur. Dolayısıyla kayaçların iletkenliği içlerinde taşıdıkları çözülmüş iyon konsantrasyonu ile artar. Kayaçların çeşitli dokulara sahip olduğunu akımın kayaçların içindeki çeşitli iletken yollarını izleyerek geçebildiğini veya akabildiğini göstermektedir (Özdemir, 2008).

Jeolojik birimlerin geçirdikleri veya geçirmekte oldukları evrelerin elektrik özdirenç değerlerine etkileri sonucu değişimi Tablo 3.1.'deki gibi tanımlanmaktadır.

Tablo 3.1. Jeolojik birimlerin evre ve değişimi.

Evre	Değişim
Kil Alterasyonu	Azalır
Çözünme	Azalır
Faylanma	Azalır
Tuzlu Su Girişimi	Azalır
Makaslama	Azalır
Atmosferik Etkli	Artar
Genç Oluşu	Artar
Karbonatlaşma	Artar
Silikatleşme	Artar
Metamorfizma	Artar veya azalır

Ayrıca her kayacın elektrik özdirenci bulunduğu şartlara göre farklılık gösterebilir. Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.'de kayaçların buldukları duruma göre gösterdikleri yaklaşık elektrik özdirençleri ile standart değerleri verilmiştir (Keçeli, 2009).

Tablo 3.2. Kayaçlar ve elektrik özdirenç değerleri (<http://web.itu.edu.tr>).

Jeolojik malzeme	Elektrik özdirenç (ohm.m)
Islak aşırı killi toprak	1 - 10
Islak aşırı siltli toprak ve siltli kil	< 10
Islak siltli ve kumlu toprak	10 - 100
Silt araldanmalı kum ve çakıl	< 1000
Kaba kuru kum ve çakıl depozitleri	> 1000
Çatlakları ıslak toprakla dolmuş çok kırıklı kayaç	100
Çatlakları kuru kumla dolmuş az çatlaklı kayaç	< 1000
Masif ve sağlam olarak oluşmuş kayaç	> 1000

Tablo 3.3. Bazı malzemelerin elektrik özdirenç değerleri (<http://web.itu.edu.tr>).

Malzeme	Elektrik özdirenç (ohm.m)
Konglomeralar	$2 \times 10^3 - 10^4$
Kumtaşları	$1 - 6,4 \times 10^8$
Kireçtaşları	$50 - 10^7$
Dolomit	$3,5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Marn	3 - 70
Killer	1 - 100
Alüvyon ve kumlar	10 - 800
Petrol kumları	4 - 800
Granit	$3 \times 10^2 - 10^6$
Diyorit	$10^2 - 10^6$
Andezit	$20 - 5 \times 10^7$
Gabro	$10^3 - 10^6$
Bazalt	$10 - 10^7$
Gnays	$7 \times 10^4 - 3 \times 10^6$
Mermer	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
Kuvarsit	$10 - 2 \times 10^8$
Şeyl	$20 - 2 \times 10^3$

3.2. Toprağın Elektriksel Özellikleri

Toprağın akım iletimi elektrolitik bir olaydır ve içerikteki nem bu olayı etkiler. Toprak çeşitlerindeki direnci etkileyen faktörler şu başlıklarla açıklanabilir.

3.2.1. Toprağın nem içeriği

Özdirenç çalışmalarda yeraltının sığ derinlikleri araştırıldığı için toprağın nem içeriği önemlidir. Bu konuda bölgenin yağış durumu da önemli faktördür. Uzun süre yağış almayan yerlerde yeraltı su seviyesi düşeceğinden özdirenç yüksek olacaktır. Ayrıca, uzun süre yağış almayan bir bölge yakın zaman içerisinde güçlü bir yağış almışsa, nem yüzeyde kalacağından elektrotlara kısa devre yaptıracağından ölçüm sonuçlarını etkileyip yanlış sonuçlara varılmasına neden olabilir.

3.2.2. Geçirgenlik (Permeabilite)

Bir toprağın yüksek oranda nem içeriğine sahip olması, akımın çok iyi akması için yeterli değildir. Toprağın su tutabilmesi gözenekliliği ile doğru orantılıdır. Böylece, gözeneklilik ile geçirgenlik arasındaki ilişki yardımıyla akımın iletimindeki geçirgenliğin de önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber toprağın içindeki bitki kökleri ve toprak türü de geçirgenlik üzerinde etkilidir.

3.2.3. İyon içeriği

Toprakta çözülmüş durumda bulunan çeşitli tuzların elektrik iletimine etkisi büyüktür. Topraktaki iyon durumunu, jeolojik yapı, yağmur suyu, modern tarımsal gübreleme ve çeşitli kültürel işlemler etkiler.

3.2.4. Isı

Özdirenci etkileyen bir başka olay da, toprağın ısısındaki değişimlerdir. Özdirenç topraktaki ısı değişimlerinden etkilenmektedir. Literatüre göre her 1°C'deki artışın özdirenç üzerinde yaklaşık %2'lik bir azalmaya neden olduğunu bilinmektedir...

3.3. Ölçümleri Etkileyen Faktörler

En sade anlatımıyla özdirenç yöntemi; iki farklı noktadan yere çakılan iki metal çubuk yoluyla yeraltına gönderilen elektrik akımının, yeraltında oluşturduğu gerilimin diğer iki farklı noktaya çakılan iki metal çubuk yoluyla ölçme işlemidir. Bu ölçme işlemini etkileyen bazı faktörler vardır.

3.3.1. Değme gerilimleri

Ölçme esnasında elektrotlarla yer arasında, kimyasal özelliklere bağlı olarak, küçük oranlarda doğru akım gerilimleri ölçülür. Elektrot değişimleri sırasında değme gerilimleri arasında farklılıklar olacaktır. Tuzluluğun ve nemin yüksek değerlerde olduğu yerlerde bu farklar muhtemel jeolojik yapıların etkisini örtebilir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için dalgalı bir akım kaynağı kullanılmasında fayda vardır.

3.3.2. Değme direnci

İnceleme alanlarında toprak örtüleri genellikle bozulmuş yapıda olabilirler. Taşlar, bitki kökleri, tarımsal uygulamalar gibi etkenler bir noktadaki toprakla elektrot arasındaki direncin diğer bir noktadakinden farklı olmasına neden olabilir. Bu etkiyi gidermek için toprak sulanabilir ancak bu durumda da suyun dercesine bağlı olarak direnç değerlerinde farklılıklar olabilir.

3.3.3. Elektrot uğlaşması

Ölçümlerde doğru akım kullanılması durumunda elektrotlar arasında elektrokimyasal uğlaşma olabilir ve bu da elektroliz benzeri bir olay yaratır. Bu durumda elektrotlar üzerinde zamanla yük birikmesi olur ve ölçülen direnç zamanla artar. Bu etkiden kurtulmak için alternatif akım kaynağı tercih edilmelidir.

3.3.4. Doğal akımlar

Yer manyetik alanının geçici değişimlerine bağlı olarak indüklenmiş veya tellürik akımlar gibi doğal kaynaklı akımlar vardır. Bu tür akımlar çok geniş uzanıma sahip olabilirler ve dünyanın hemen her yerinde görünürler. Nadiren de olsa bunlar, ölçümlerde jeolojik yapıların etkisini örtecek büyüklükte olabilir. Bu tür gürültülerin büyüklüğü, akım yoğunluğuna, yerin özdirencine, elektrotlar arası mesafeye ve elektrotların doğrultularına bağlıdır. Özdirenç çalışmalarında, tercihen sığ derinlikler incelendiğinden elektrot aralıkları kısa tutulur ve bu sayede gürültüler de küçülür. Ancak tamamen yok edilmek istenirse yine dalgalı akım kullanmak yeterli olacaktır.

3.3.5. Yapay akımlar

Araştırma sahasına yakın yerlerdeki elektrikli demiryolları, elektrik hatları, madenler ve insan yapısı çeşitli elektrik kaynakları yeryüzünde bir akıma neden olur ve kendiliğinden uğlaşmalar meydana gelir. Profil seçiminde bunlara dikkat etmek gerekmektedir. Ancak alternatif profil olasılığı yoksa dalgalı akım kullanmak faydalı olur.

3.4. Dizlim Çeşitleri

Özdirenç araştırmalarında araştırma alanı, hedeflenen araştırma derinliği, araştırmanın konusu gibi çeşitli değişkenler göz önünde tutularak, kullanılan elektrotlar birçok farklı biçimde dizilebilirler. Uzun süredir araştırmacılar yöntemin

başarısını artırabilmek için değişik elektrot dizilimleri geliştirmişlerdir. Ölçülen alanın, homojen ve izotrop olduğu varsayılırsa, ortamın özdirenci;

$$\rho = k \Delta V / I \quad (3.2)$$

olarak gösterilir. Burada, ρ (ohm.m) ortamın özdirenci, k (m) geometrik faktör, ΔV (volt) potansiyel farkı, I (amper) akımı göstermektedir. Ancak yeryüzü homojen ve izotrop olmadığından yani yanal yönde ve düşey yönde düzensizlikler içerdiğinden potansiyel farkı karmaşık bir ortamın akıma karşı tepkisidir ve ölçülen özdirenç değeri de gerçek özdirenç olmaktan çıkar (ΔV_a) ve görünür özdirenç (ρ_a) olarak adlandırılır. Bu durumda bağıntı;

$$\rho_a = k (\Delta V_a / I) \quad (3.3)$$

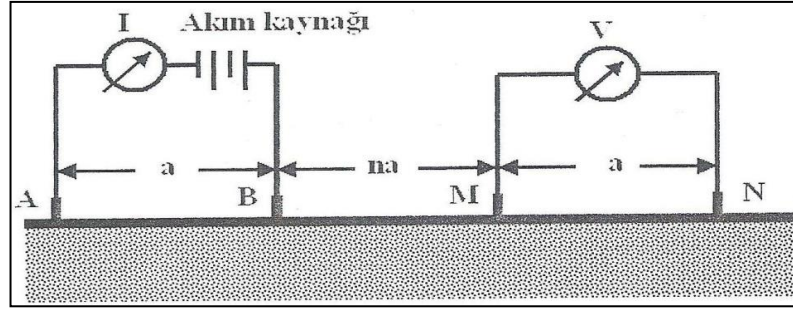
olarak yazılır.

Bu bağıntı tüm dizilimler için geçerlidir. Elektrotların birbirlerine göre farklı yerleştirilmesinden kaynaklanacak fark, k sabitinin dizilime göre farklılık göstermesiyle aşılır. Özdirenç yönteminde sıklıkla kullanılan elektrot dizilimleri şunlardır:

- a. Wenner dizilimi
- b. Schlumberger dizilimi
- c. Dipol-dipol dizilimi
- d. Çoklu elektrot dizilimi

3.4.1. Dipol-Dipol elektrot dizilim sistemi

Dipol-dipol sistemi elektrot dizilişinde, potansiyel elektrotları akım elektrotlarının dışına yerleştirilir ve akım ve potansiyel elektrotları arasındaki uzaklık eşit uzaklıkta yerleştirilir (Keçeli, 2009). Dipol-dipol sistemi elektrot dizilişi geometrik faktörü Şekil 3.2.'den



Şekil 3.2. Dipol-Dipol elektrot dizilimi (Keçeli, 2009).

$$K_{add} = \frac{2\pi}{\frac{1}{na} - \frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(n+1)a} + \frac{1}{(n+2)a}} = \pi n(n+1)(n+2)a \quad (3.4)$$

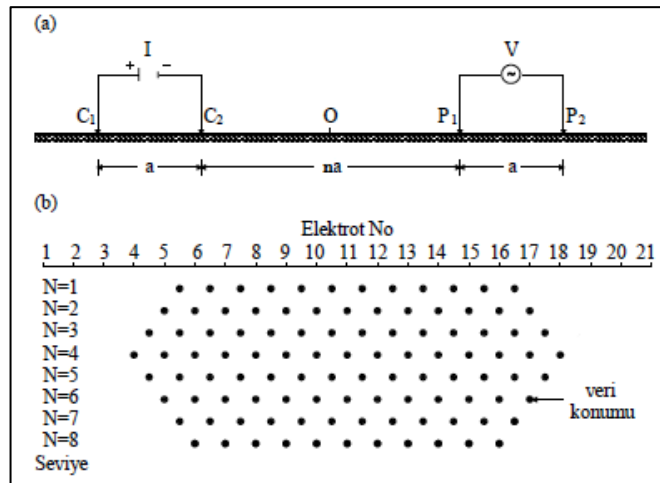
$$\rho_{add} = \pi n(n+1)(n+2)a \frac{\Delta V}{I} \quad (3.5)$$

olarak elde edilir. Bu formülde K_{dd} : geometrik faktör, ρ_{add} : a kadar açılımdaki derinliğe ait görünür öz direnç, a: elektrotlar arası mesafe, ΔV : potansiyel fark, I: akım ve n: seviye olarak tanımlanır.

Dipol-dipol sisteminde potansiyel elektrotları akım elektrotlarının dışında olduğu için yanal değişimlere karşı oldukça duyarlıdır. AB akım elektrotları sabit iken MN potansiyel elektrotları M, N noktasına AB aralığı kadar uzakta aynı profil üzerinde bir noktaya konur. Buna n=1 açılımı denir. n=1 açılımı için ölçüm yapıldıktan sonra akım elektrotları yerinde sabit kalmak üzere potansiyel elektrotlarından N elektrotları AB aralığı (a) kadar yeni bir noktaya ve M elektrotu ise N elektrotu yerine konur. Buna n=2 açılımı denir. Bu işlem tekrarlanarak ölçülere en fazla n=7'ye kadar devam edilir. Dipol-dipol elektrot sistemi uygulamalarda bozucu etkilerden sakınmak için en çok n=4 pozisyonuna kadar açılım yapılması, daha derin etüt gerektiğinde dipol aralığı olan AB ve buna uygun olarak MN aralıklarını büyütme daha uygun olmaktadır (Keçeli, 2009).

Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi, dipol-dipol elektrot diziliminde ölçülen değerlerin derinlik ve konum noktaları dipol-dipol elektrot sisteminde Wenner ve Schlumberger

sistemlerinden farklı olarak akım ve potansiyel elektrotlarının orta noktasına 45 derecelik açı yapacak şekilde çizilen iki doğrunun kesim noktası olmaktadır. Söz konusu derinlik $n=1$ açılımında BM akım ve potansiyel elektrotları orta noktasından BM aralığı kadar derinlik olmaktadır. $n=2, 3$ ve 4 açılımları için derinlik noktaları elektrot açıklığının yarı değer kadar artarak devam etmektedir (Keçeli, 2009).



Şekil 3.3. (a) Dipol-Dipol elektrot diziliminde derinlik saptanması, (b) bu dizilime göre ölçülen verinin çağrıştıran kesiti (Yılmaz, 2005).

Dipol-Dipol elektrot dizilimi, nüfuz derinliği en fazla olan dizilimdir, ayrıca düşey süreksizliklerin belirlenmesinde oldukça duyarlıdır. Dizilim dayk ve boşluklar gibi derindeki ayrımlılığın önemli olmadığı düşey yapıların haritalanmasında iyi sonuçlar vermektedir.

Yukarda bahsedilen elektrot sistemlerinin kullanım alanlarını özetle ifade etmek gerekirse; yatay veya yataya yakın katmanlı ortamların derinlik etütlerinde Schlumberger elektrot sistemin düşey veya düşeye yakın katmanların yanal değişim etütlerinde Wenner veya özellikle Dipol-Dipol elektrot sistemleri kullanılmaktadır (Keçeli, 2009).

3.5. Çoklu Elektrot Sistemi

Son yıllarda, elektronik ve bilgisayar bileşenlerinin evrimi, bir doğrultu boyunca sondaj-profil ölçüsü alınmasını sağlayacak otomatik olarak değiştirilebilen çok

BÖLÜM 4. SİSMİK YÖNTEM

Yeraltında tüm natürel oluşan veya yapay oluşturulan titreşim dalgalarına sismik dalgalar bu dalgaları kullanan yöntemlere de sismik yöntemler denir. Sismik yöntemlerin ilkesi rastgele bir noktada doğal oluşan veya yapay oluşturulan dalğanın yayılma başlangıç zamanını ve diğer birçok noktalara titreşim dalgasının varış zamanları arasındaki yol zaman ilişkisinden dalga yayılım hızının saptanarak geçtiği ortamın özelliklerinin ortaya çıkarılması temelini esas alır. Sismik yöntemler çeşitli zemin ve kayaçların içinde titreşim dalgalarının farklı hızlarla yayılması özelliğinden yararlanarak farklı jeolojik birimlerde farklı hızların tespit edilmesiyle yer içi özellikleri aydınlatılır. Sismik yöntemlerle yer altı jeolojik yapısal özelliklerinin aydınlatılması ve ekonomik kaynakların saptanması yanında geoteknik mühendisliğinde dinamik elastisite parametreleri gibi zemin özelliklerinin ve keza mühendislik yapılarının deprem direnci tasarımı için yerel sismik ivme katsayılarının saptanması son derece önemlidir (Keçeli, 2009).

4.1. Sismik Dalga Türleri

Yeraltında vuku bulan bir deprem veya patlatma sırasında çok büyük nicelikte bir enerji meydana gelir. Bu enerjinin bir miktarı faylanma ile kayaçların deformasyonu gitmektedir. Diğer kısmı da ortamın özelliklerine göre yeraltında elastik dalgalar halinde seyahat eder. Sismik dalgalar olarak tanımlanan bu elastik dalgalar, depremi meydana getiren kırılma ve faylanma nedeniyle kaynaktan küresel şekilde uzaklaşarak yayılırlar. Deprem anında iki çeşit dalga türü oluşur. Bunlar; cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak isimlendirilir (Yığiter, 2008).

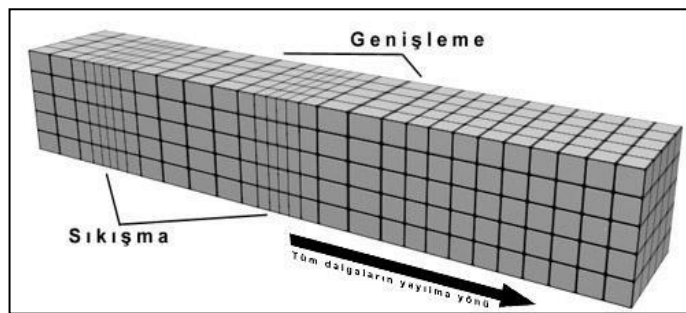
Cisim dalgaları kaynaktan küresel şekilde yayılarak yeraltında seyahat ederler. Yüzey dalgaları ise yaklaşık yeryüzüne paralel vaziyette seyahat ederler. Yüzey

dalgaları hareketi bilinenin doğrultusunda yerin belirli derinliklerine kadar ulaşırsa da bunu yer altında doğrudan yayılarak yapmazlar.

4.1.1. Cisim dalgaları

4.1.1.1. P - dalgaları

Yayıma doğrultusu boyunca yayılma doğrultusuna paralel ileri-geri hareketle ilerleyen veya yayılan dalga türüdür (Şekil 4.1.). Bu sebepten P dalgasına boyuna veya sıkışma dalgası denir. Sismometreler tarafından ilk algılanan dalgalardır.



Şekil 4.1. P dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi (Bolt, 1976).

Sıkışma dalgaları da denilen P dalgaları geliştirdikleri itme-çekme hareketi nedeniyle geçtikleri ortamlarda hacimsel değişikliklere sebebiyet verirler. Fakat bu hareket ortamda herhangi bir şekil deformasyonuna neden olmaz (Yiğiter, 2008).

Enerji kaynağından çıkan bir puls elastik ortam içinde küresel olarak yayılırken titreşim yapan bir karaktere sahiptir. Eğer basınç ani olarak uygulanırsa sonsuz homojen bir ortam içinde bir noktada sıkışma bölgesi dışarıya doğru küresel bir kabuk şeklinde hareket eder. Bunun hemen arkasında düşük basınçla ikinci bir dalga cephesi ve onu takip eden tekrar yüksek basınçla dalga cephesi gelerek olay tekrarlanır (Arı, 2005).

P dalgaları diğer dalgalardan daha hızlıdır. Episantr (iç merkez) bölgesinde P dalgasının periyodu 1 sn'den azdır. Fakat 1 sn periyotlu dalgalar çok uzak mesafelere

seyahat edebilir (Arı, 2005). P dalgasının hızı (Denklem 4.1) ve (Denklem 4.2) bağıntılarla bulunabilir

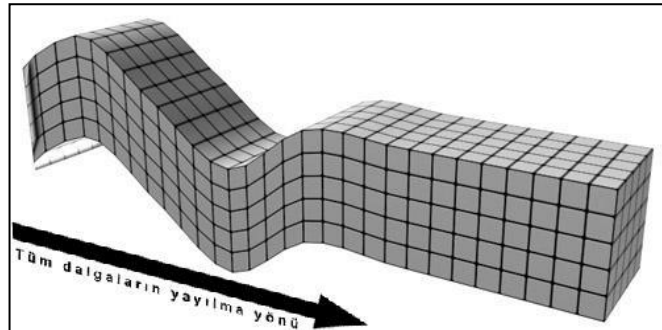
$$V_p = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (4.1)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1 + 2\sigma^2)}{\rho(1 - \sigma - 2\sigma^2)}} = \sqrt{\frac{E(1 - \sigma)}{\rho(1 - 2\sigma)(1 + 2\sigma)}} \quad (4.2)$$

Bu denklemlerde, V_p =P dalgası hızı (m/sn), E =young modülü (N/m^2), λ =dalga boyu, σ =poisson oranı, μ =sıkışmazlık modülü (N/m^2), ρ =yoğunluk (kg/m^3) olarak tanımlanır.

4.1.1.2. S - dalgaları

Yayıma doğrultusu boyunca yayılma doğrultusuna dik olarak, yani enine yan-geri ve aşağı yukarı hareketle ilerler (Şekil 4.2.). S dalgası yayılma doğrultusuna dik titreşim yaptığından enine ve kayma dalgası adını da almaktadır. S dalgası yatay bileşenin yayılma hareketi yılanın sürünürken ilerlemesindeki hareketi gibidir. S dalgaları sadece katı ortamlarda yayılabilir, hava ve su ortamında yayılamazlar. S dalgasının genlik ve periyodu P dalgasından büyüktür (Keçeli, 2009). İstasyonlara P dalgasından sonra ikinci olarak gelen cisim dalgalarıdır.



Şekil 4.2. S dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi (Bolt, 1976).

Tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik olan doğrultuda ve birbirine paraleldir. Böyle dalgalara taneciklerin hareket ettiği doğrultularda polarize olmuş dalgalardan denir. S dalgalarının hareketi düşey (SV) ve yatay (SH) bileşen olarak ikiye ayrılabilir. SH dalgalarının tanecik hareketi yatay ve SV dalgalarınınki ise düşey düzlemde olur (Arı, 2005). S dalgalarının hızı aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \sigma)}} \quad (4.3)$$

Bu denklemde, V_S = S dalga hızı (m/sn), E = young modülü (N/m^2), σ =poisson oranı, μ = sıkışmazlık modülü (N/m^2), ρ = yoğunluk (kg/m^3) olarak tanımlanır. P ve S dalga hızları arasındaki oran ise aşağıdaki gibidir.

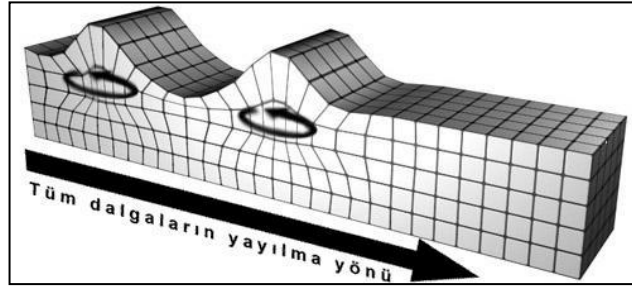
$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\mu}} = \sqrt{\frac{1 - \sigma}{\frac{1}{2} - \sigma}} \quad (4.4)$$

4.1.2. Yüzey dalgaları

1885 senesinde Lord Rayleigh tarafından yüzey dalgaları elastik yarı sonsuz serbest bir yüzey boyunca yayılan dalgaların denklem çözümü olarak ifade edilmiştir. (Rayleigh, 1885). Yüzey dalgası yöntemleri yer yüzeyinde değişik konumlardaki Rayleigh dalgalarının düşey istikamette ölçülen tanecik hareketlerini temel alır. Ölçülen hareketler dalgaların frekansıyla, yeraltı yapısının özellikleriyle ve kaynağın mesafesiyle ilişkilidir. Zeminler incelenirken yüzey dalgası yöntemleri öteki saha sismik yöntemlerine göre (yansıma ve kırılma) daha kompleks bir veri işlem ve yorum gerekliliğinden ötürü çok net yöntemlerin inkişaf edilmesi gerekir (Yoon, 2005). Yüzey dalgası yöntemlerinin ters çözüm işlemlerinde homojen, yön-bağımlı ve elastik tabakalardan oluşan tabakalı bir ortam, düşey yönde heterojen olan zemin profilleri için uygun bir model olarak kullanılır (Yoon, 2005; Çaylak, 2009). Genlikleri cisim dalgalarından daha büyük ve cisim dalgalarından daha geç sönüme uğrarlar. Rayleigh ve Love olmak üzere iki tür yüzey dalgası vardır.

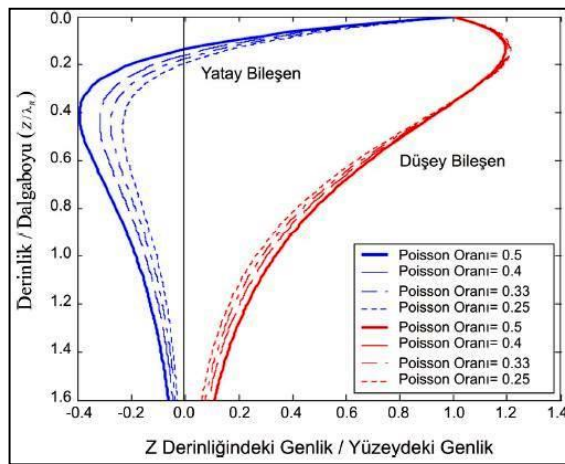
4.1.2.1. Rayleigh - dalgaları

Rayleigh dalgaları türü su birikintisinde yayılan dalgalara benzer ve yerin yüzeyi doğrultusunda yuvarlanarak yol alır (Şekil 4.3.). Bu dalgalar aynı zamanda yer yuvarlanması (Ground Roll) olarak adlandırılır (Yiğiter, 2008). Bu dalgalar, yayınımları sırasında, yeri önce yavaş ve gittikçe daha hızlı bir şekilde titreştirirler.



Şekil 4.3. Rayleigh dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi (Bolt, 1976).

Katı ortamın yalnız serbest yüzeyi boyunca yeryüzüne dik olarak büyük eksenini düşey olan eliptik hareketle yayılan dalga türüdür. Yatay ve düşey bileşeni vardır. Rayleigh dalgası genliği derinlikle üstel olarak azalır. Homojen yarı-sonsuz bir ortamda Rayleigh dalgalarının derinliğe bağlı genlik değişimi Şekil 4.4. 'de gösterilmektedir.



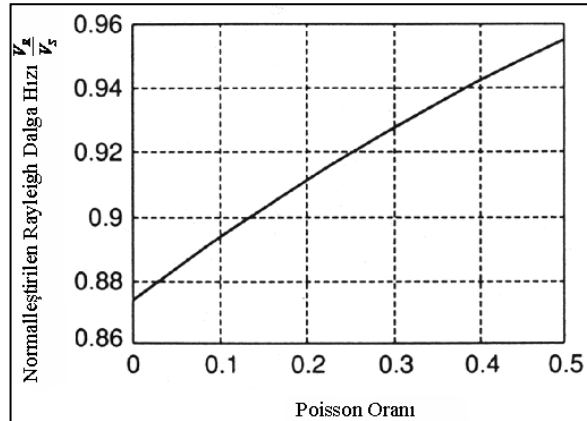
Şekil 4.4. Homojen yarı sonsuz ortam bir ortam boyunca yayılan Rayleigh dalgalarının derinliğe bağlı genlik değişimi (Richart ve ark., 1970; Puech ve ark., 2004).

Rayleigh dalgası hızı heterojen ortamlarda frekansın fonksiyonudur. Yani Rayleigh dalgası hızı örneğin katmanlı ortamlarda frekansın fonksiyonudur. Rayleigh dalgası hızı, V_R , arasında S dalgası hızının V_S , yaklaşık olarak 0,92'ne eşittir. V_R ve V_S aşağıdaki yarı deneysel bağıntıdaki gibi bulunmaktadır (Keçeli, 2009).

$$V_R = 0,92 V_S \quad (4.5)$$

$$V_R = \frac{0,862 + 1,14 \nu}{1 + \nu} V_S \quad (4.6)$$

Rayleigh dalgası P ve SV dalgası ile ilintilidir. Deprem sırasında hissedilen sallantıların çoğu diğer dalgalardan, çok daha büyük genlikli olanı ise Rayleigh dalgalarından oluşmaktadır. Düşey yöndeki dalga genliği, dalga boyuyla ilişkili olduğundan, yüzey dalgaları “dispersif” davranırlar. Tüm dalga baylarının eşleniği olan faz hızları mevcuttur. Seçilen bir mod için uzun dalga boyları daha kısa dalga boylarına göre daha derinlere nüfuz etmekte ve çoğunlukla daha büyük faz hızına sahip olmaktadır ve derin tabakaların elastik özelliklerine daha duyarlıdırlar (Yiğiter, 2008).



Şekil 4.5. Poisson oranının bir fonksiyonu olarak Rayleigh dalga hızının kayma dalga hızına oranı (Bedford ve Drumheller, 1994).

Yüzey dalga hızı ve primer dalga hızı (V_P) arasındaki ilişki cisim dalgaları için elastik ilişkiler kullanılarak tanımlanabilir (Şekil 4.5.).

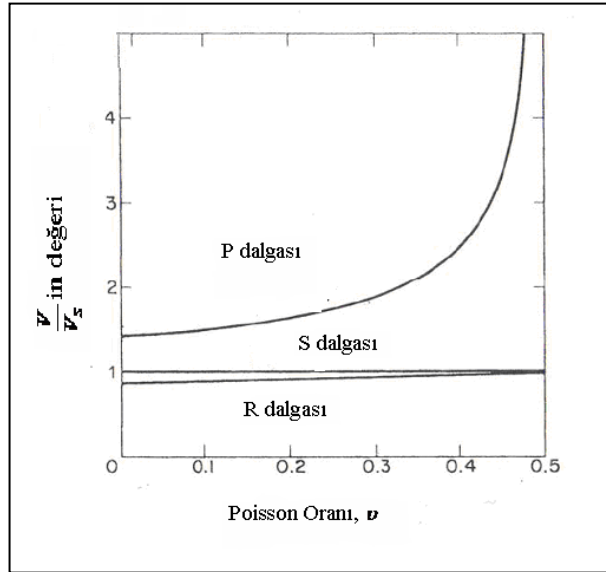
$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2(1+\nu)}{1-2\nu}} \quad (4.7)$$

Buradaki eşitlik yerine konulursa,

$$\frac{V_R}{V_P} = \left(\frac{1+\nu}{0,86+1,14\nu} \right) \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1+\nu)}} \quad (4.8)$$

olacak şekilde elde edilir.

Şekil 4.6. yoğunluk, kalınlık malzemenin değişmez değerleri ile sürekli yarı sonsuz ortam için poisson oranının bir fonksiyonu olarak V_P , V_S ve V_R arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir (Yiğiter, 2008).



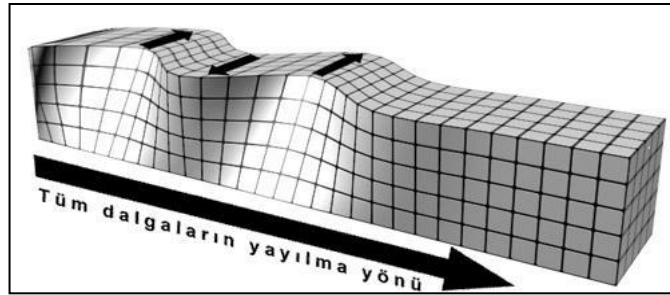
Şekil 4.6. V_P , V_S ve V_R dalgalarının poisson oranı ile arasındaki ilişki (Richart ve ark., 1970).

S dalgasının hızı yapısıyla elastik parametreler hesaplanabilir. Hesaplanan parametreler malzemenin özelliklerini yansıtır. Bu nedenle zemin incelemelerinde son derece önemlidir. S dalgası hızı bilgisinin bulunmasıyla zeminin dinamik parametreleri, zemin hâkim titreşim periyodu, zemin büyütmesi hesaplanır ve sismik yer tepkisi modellenerek sismik risk bölgeleme haritaları oluşturulur (Yiğiter, 2008).

Rayleigh dalgası faz hızı dispersiyon eğrileri ters çözüm işlemine tabii tutularak S dalgasının hız modeli bulunabilir. Elastik yarı-uzay ortamda yüzey dalga hızı dispersif davranmaz. Bu durum V_R hızının frekanstan bağımsız olduğu anlamına gelir. Rayleigh dalgalarından S dalgası hız yapısına ulaşıldığından son zamanlarda zemin ile olan ilişkisi üzerine de incelemeler yapılmaktadır (Yiğiter, 2008).

4.1.2.2. Love - dalgaları

Love dalgası düşük sismik hızı sahip bir katmanın altında yüksek hızlı katmanın yer aldığı ortamlarda vuku bulan dalga çeşididir. Çokça ardışık yansımalarda SH dalgası kapanlanmasında meydana gelir. Yayılım hareketi yayılım doğrultusuna dik, yani yatay ve eninedir, düşey bileşeni yoktur (Şekil 4.7.). Bu nedenle benzerliğinden ötürü bazen SH dalgası olarak isimlendirilir. Love dalgasının hızı yüzey katmanın S hızı ile daha derindeki katmanın S hızı arasında bir değere sahiptir. Bu nedenle tüm Love dalgaları hızı frekansın fonksiyonudur. Yani dalga boyu arttıkça veya frekans küçüldükçe hız da artmaktadır. Dalganın yayılım hızının frekansın fonksiyonu özelliğine dispersif özellik denir. Böylelikle Love dalgası dispersif dalga olarak da isimlendirilebilir (Keçeli, 2009).



Şekil 4.7. Love dalgasının üç boyutlu yayılım gösterimi (Bolt, 1976).

4.2. Sismik Dalga Yayılımı

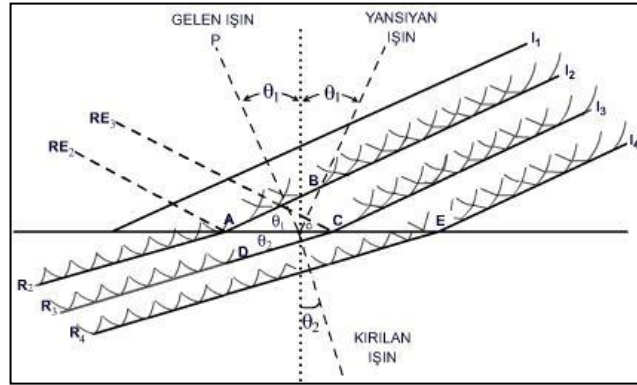
Sismik dalgaların birbirinden düzlemsel bir sınırla ayrılan iki farklı sismik hızı ve yoğunluğa sahip ortamda birinden diğerine geçerken optik yasaları kullanılır. Işık farklı bir ortama gelmesinde kırılması, yansınması ve saçılması gibi fiziksel tutumalar olduğundan sismik dalgaların yayılımını da ışık kanunlarına göre irdelenmektedir.

Daha net bir ifade ile sismik dalgalar yayılırken; doğrudan gelen, kırılan, yansıyan, saçılan ve ayrışan dalgalar olarak farklılıklar gösterir ve yer altında yayılırlar.

Sismik dalga yer altında cisim ve yüzey dalgaları olarak yayılmaktadır. Heterojen ortamlarda, ortamın heterojenliğine bağlı özelliklerine göre yani ortamlara ait yoğunluk ve sismik hızların değişkenliğine göre de dalga yayılma yolları ve özellikleri de farklılaşır (Keçeli, 2009).

4.2.1. Snell yasası

Bir sismik dalga ışını iki farklı katmanın bir ara yüzeyine geldiğinde ara yüzeyde sismik enerjinin bir kısmı yansıyarak birinci ortamda yayılır ve diğer bir kısmı kırılarak ara yüzeyden geçerek ikinci ortamda yayılır (Şekil 4.8.). Bir dalga düzgün iki ortam arasındaki sınırdan geçerken dalganın yayılma doğrultusu değişir. Değişimde oluşan açı ile iki farklı ortamın hızları arasındaki ilişki Snell yasası olarak bilinen aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir (Keçeli, 2009).



Şekil 4.8. Huygens prensibi kullanılarak Snell kanununun bulunuşu (Waters, 1978).

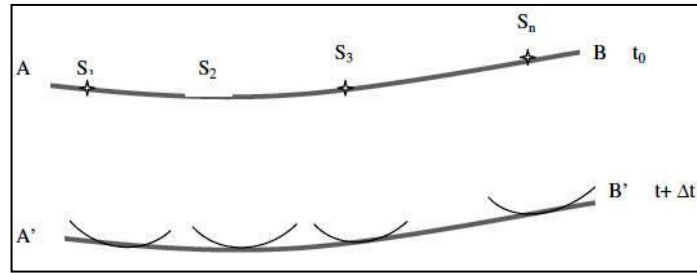
Şekilde $AD=V_2 \times \Delta t$, $BC=V_1 \times \Delta t$ ve AC ise ABC ve ADC 'lerin ortak kenarıdır. Buna göre;

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{AD/DC}{BC/AC} = \frac{V_2 \Delta t}{V_1 \Delta t} = \frac{V_2}{V_1} \quad (4.9)$$

4.2.2. Huygens prensibi

Huygens prensibi sismik dalga yayılımını idrak etmekte önem arz eder ve dalga cephesinin ardışık konumlarının çiziminde faydalanılır. Huygens prensibi dalga cephesindeki her noktaya ait dalgaların yeni bir sismik enerji kaynağı olarak açıklar. Dalga cephesinin belirli bir zaman ve belirli bir noktadaki yeri, dalga cephesinin devam eden konumlarını yeni bir enerji kaynağı olacak şekilde ilk dalga cephesindeki noktalara dikkate edilerek hesaplanabilir (Keçeli, 2009).

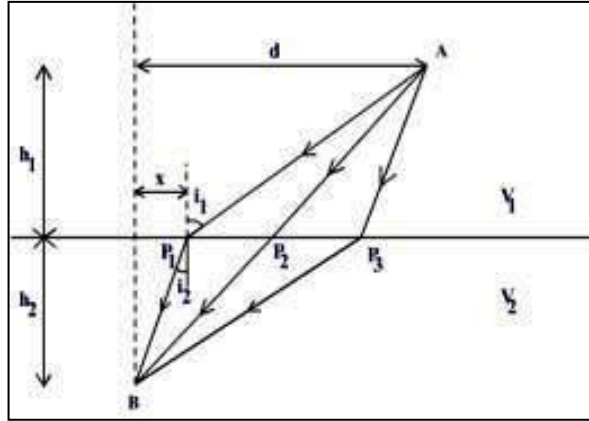
Bu prensibe göre Şekil 4.9.'da ki gibi bir AB dalga cephesi üzerindeki S_1, S_2, S_3, \dots noktaları yeni birer kaynak oluşturdularına göre; t_0 anındaki dalga cephesi AB, $t_0 + \Delta t$ anında S_1, S_2, S_3, \dots 'den çıkar ve Δt yarı çaplı yeni dalga cephelerinin zarfı olan; A'B'ne dönüşür.



Şekil 4.9. Huygens prensibi kullanılarak yeni dalga cephesinin yerinin bulunması (Waters, 1978).

4.2.3. Fermat prensibi

Prensibin ilk olarak Fermat (1601-1665) tarafından ışık dalgaları ile ilişkili olarak açıklanmıştır. Fermat prensibine göre, ışığın tercih ettiği bir yörünge boyunca bir noktadan diğerine gitmesi için geçen zaman, bu yolu başka bir yörünge boyunca üzerinde geçmesi için gereken zamandan küçüktür. Bu prensibi sismik dalgalara uygularken Şekil 4.10'da ki gibi ifade edebiliriz.



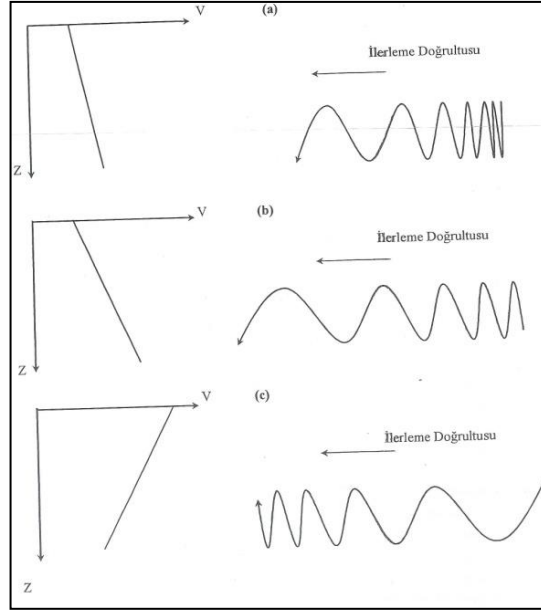
Şekil 4.10. Fermat prensibi (Kurtuluş, 2002).

Bir sismik dalga, geçiş zamanı minimum olan yörüngeyi izleyerek yayılır. Hız dağılımı verilen bir ortamda Fermat prensibi kullanılarak dalga yörüngesinin geometrik şeklini tanımlamak mümkündür. Bu prensibin bir sonucu olarak, homojen bir ortamda yayılan bir dalganın dalga yörüngeleri doğru çizgilerdir. Yansıma ve kırılma yasalarının Fermat prensibinin bir sonucu olduğu söylenebilir.

4.3. Dispersiyon – Faz Hızı – Grup Hızı

4.3.1. Dispersiyon

Sismik dalgalar yayılırken ortama bağlı yayılma hızının frekansın fonksiyonu olması özelliği sismik dalgaların dispersiyonu olarak tanımlanır. Yüzey dalgaları yeraltında yayılırken, elastik hız ve yoğunluk süreksizliklerinin bulunduğu ortamlarda dalga boyu ve hızın sürekli değiştiği gözlenmektedir. Bu özellik yüzey dalgalarında dispersiyon olarak bilinir ve dalga hızı, periyoda yani frekansa bağlı olarak değişim gösterir. Hızın derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda uzun periyotlu dalgalar daha derine nüfuz eder ve kısa periyotlu dalgalardan önce kaydedilir, bu olaya “normal dispersiyon” denir (Şekil 4.11.). Hızın derinlikle azalması durumunda kısa periyotlu dalgaların, uzun periyotlu dalgalardan önce kaydedilmesi işlemine ise “ters dispersiyon” adı verilir (Çaylak, 2009).



Şekil 4.11. Dispersiyon olayı (a) düşük hız değişiminde küçük dispersiyon, (b) yüksek hız değişimi ve büyük dispersiyon, (c) ters dispersiyon, (Bath, 1973).

Hızın derinlikle artış oranındaki büyüklük farklı periyotların yayılım hızının büyük olmasını da sağlamaktadır. Yüzey dalgalarında dispersiyon odaklı iki çeşit hız bilgisi vardır, bunlar faz hızı ve grup hızıdır. Dalga treni ya da dalga paketi, farklı fazlarda kat edilen farklı frekansa sahip dalgaların birbiri üzerine binmesi olarak açıklanabilir. Burada dalga treninin kat etme hızına grup hızı (u), dalga treni üzerinde yer almakta olan seçilen fazdaki herhangi bir noktanın kat etme hızına ise faz hızı (c) veya dalga hızı denir. Dispersiyon olayının vuku bulması için yarı-sonsuz bir ortamın üzerinde en az bir katmanın yer alması lazımdır (Çaylak, 2009). Bu şekildeki bir ortamda faz hızı $c(w)$ ve grup hızı $u(w)$,

$$c(w) = \frac{w}{k(w)} \quad (4.10)$$

$$u(w) = \frac{\partial w}{\partial k(w)} \quad (4.11)$$

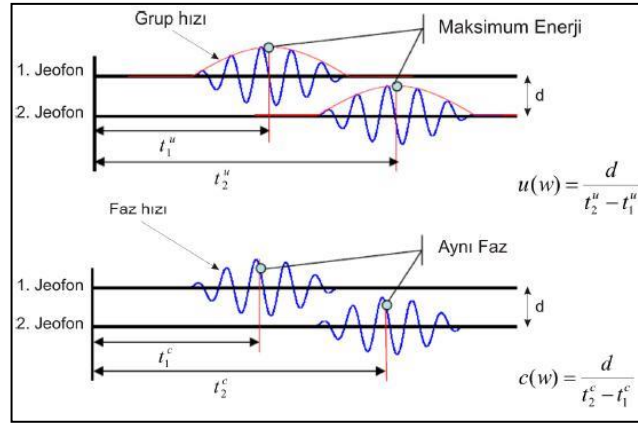
ile ifade edilir, $w = 2\pi f$ açısal frekansa ve dalga sayısına (k) ilintilidir. Dispersif bir dalganın yayılmasında farklı frekanslarda farklı grup hızları mevcuttur. Grup hızı ve faz hızı arasındaki ilişki,

$$u(\omega) = c(\omega) + k \frac{\partial c(\omega)}{\partial k} \quad (4.12)$$

bağıntısı ile verilen kısmi türev ile ifade edilir. Bu denklem dalga boyu (λ)'da yazılarak verilirse,

$$u(\omega) = c(\omega) - \lambda \frac{\partial c(\omega)}{\partial \lambda} \quad (4.13)$$

şeklindedir (Şekil 4.12.). Faz hızının λ 'ya göre türevi sürekli pozitif olur. Bu nedenle grup hızı faz hızından küçüktür (Çaylak, 2009).

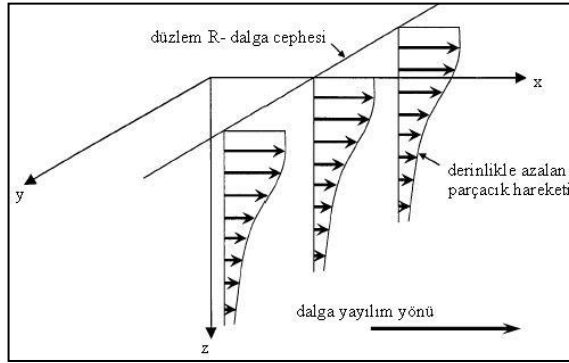


Şekil 4.12. Her bir frekans bileşeni için grup hızı ve faz hızı hesabı (Park ve ark.,2007).

Dispersiyon olayı bir başka deyişle yayılma sırasında derindeki tabakaları yansıtan düşük frekansa sahip dalgalar yerine yüzeye yakın tabakalarda yol alan yüksek frekanslı dalgaların ilişkisidir. P dalgası hızının artması dispersiyon eğrisindeki başlangıç frekansının düşmesi anlamına gelir. Bu durum eğrideki frekans aralığının da azalmasına neden olmaktadır. Fakat faz hızlarında çok fazla farklılıklar oluşmaz. S dalga hızına bakacak olursak az miktardaki bir hız değişimi olsa da öncelik olarak fazla değişimler olmaz. Böylelikle minimum frekans ile maksimum frekans arasındaki faz farkı azalır (Yiğiter, 2008).

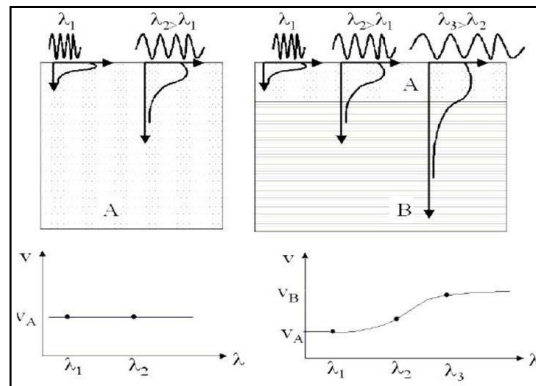
Rayleigh dalgası hızları homojen yarı-sonsuz ortamlarda frekansa bağlı değildir ve dispersif davranmazlar. Tabakalı ortamlar veya düşey heterojen yarı sonsuz

ortamlarda farklı faz hızı ve dalga boyu ile yüzey dalgalarının yayılımı frekansa bağlıdır (Şekil 4.13.). Rayleigh dalgası dışındaki tüm yüzey dalgaları izotrop yarı sonsuz ortamlarda dispersiyon özelliğini gösterirler (Lay ve Wallace, 1995). Love dalgaları bütün şartlarda dispersifdir. Bu durumu, oluşması için yarı sonsuz ortamda düşük hız tabakasının yeterli olması olarak açıklanabilir. Love dalgası dispersiyonu yer altı yapısında Rayleigh dalgası dispersiyonundan sonra az miktarda olsa katkı verir (Yiğiter, 2008).



Şekil 4.13. Homojen elastik yarı uzayda düzlem Rayleigh dalgaları (Supranata, 2006).

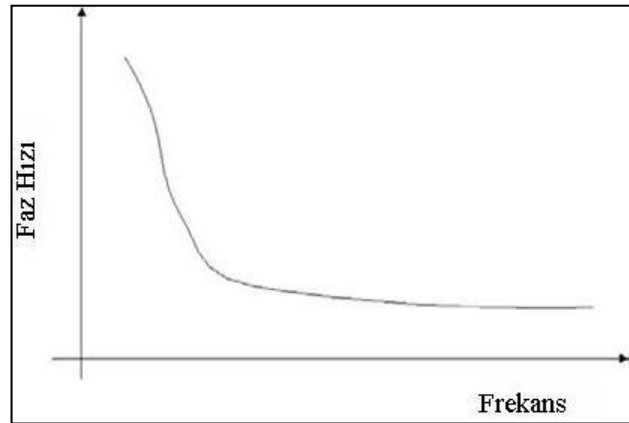
Homojen yer altı ortamlarında farklı derinliklerde aynı malzeme içerisinde tüm dalga boyları aynı hıza sahiptir (Şekil 4.14.). Yer altı ortamı düşey yönde homojen özellikte değilse, tabakalı ve birbirinden farklı özelliklere sahip ise yüzey dalgalarının tepkiler farklı olacaktır. Böylece her bir dalga boyu tabakaların özelliklerine göre farklı faz hızlarına sahip olmaktadır (Yiğiter, 2008).



Şekil 4.14. Yüzey dalgalarının dispersiyonu (a) tek düze ortamda sabit faz hızı, (b) iki katmanlı ortamda faz hızının dalga boyu ile değişimi (Strobbia, 2005).

Yüzey dalgaları tek düze bir hızda değildir fakat faz hızı frekansın fonksiyonudur ve frekans ile faz hızı arasındaki bağlantıyı kuran eğriye “dispersiyon eğrisi” denir (Şekil 4.15). Strobbia (2005) tarafından Rayleigh dalgası faz hızının, tabakanın kalınlığı (h), yoğunluğu (ρ), P ve S dalga hızlarıyla ilintili olduğu ifade edilmiştir.

Yer altının özelliklerini değerlendirip sonrasında da yorumlamak için dispersiyon eğrisini deneysel olarak ölçmek önemli bir noktadır. Eğrinin özelliklerinden yararlanarak yer hakkında değerlendirme ve yorumlara gidilebilir. Yine eğriden yararlanarak tabakaların parametrelerine ulaşılabilir. Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrilerine ters çözüm işlemi yapılarak tabakaların S dalga hızlarının modellenmesi yapılmaktadır. Bu şekilde iki çeşit hızdan bahsedilebilir bunlar faz hızı ve grup hızı olarak isimlendirilir (Yiğiter, 2008).

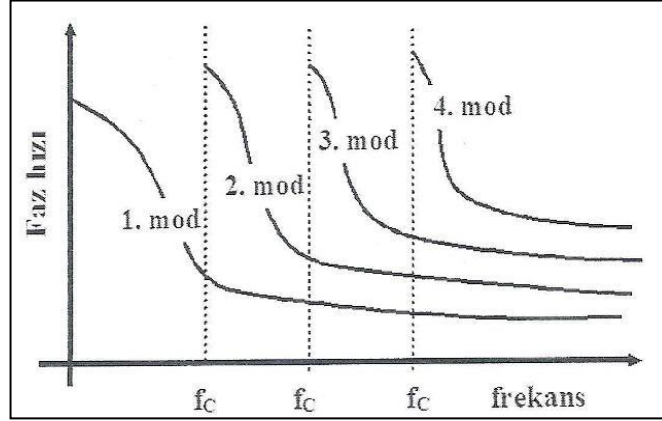


Şekil 4.15. Dispersiyon eğrisinin frekansa karşı faz hızı olarak yansıtılması (Strobbia, 2005).

Bir sismik kaynak dalgaları Fourier transformuyla çıkartılabilen farklı frekansları içerir. Faz hızı dalgalar arasındaki zaman gecikmelerinden hesaplanır. Elde edilen sismik sinyaller arasındaki faz gecikmesi veya zaman farkı frekans bölgesine dönüştürülerek elde edilir (Keçeli, 2009).

Farklı frekanslı Rayleigh dalgaları aynı dalga hızına da sahip olabilmektedirler. Bir faz hızı için farklı frekanslı Rayleigh dalgaları modlar olarak bilinir. Farklı modlar farklı faz hızına sahiptirler. Bir frekans için en düşük hız fundamental mod hızı veya birinci mod olarak adlandırılır. Fundamental mod faz hızından daha büyük hız ikinci

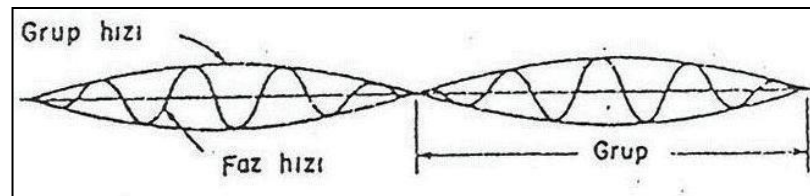
mod hızı olarak adlandırılır (Şekil 4.16.). Faz hızı frekans bandındaki her bir frekans bileşenin lineer eğiminden hesaplanır (Keçeli, 2009).



Şekil 4.16. Dispersif eğrilerin farklı modları (Strobbia, 2005).

4.3.2. Faz hızı

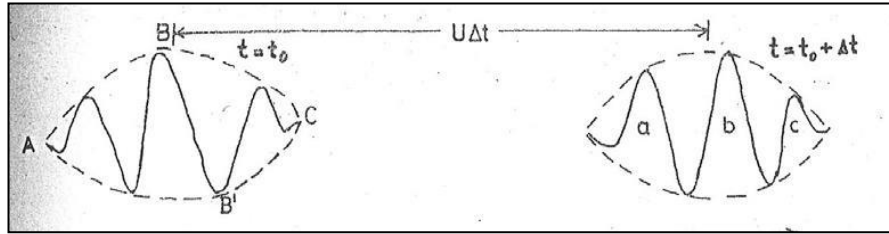
Dalga paketi ya da farklı söyleyiş türlerine göre dalga treni üzerinde seçilen bir noktanın ilerleme hızına faz hızı (c) denir (Şekil 4.17.). Genel dalga denklemindeki P ve S dalgalarının eşleniği olan V_P ve V_S hızları faz hızı olarak adlandırılabilirler. Bu durum birim zaman içinde tepe ve çukur gibi sabit fazlı uzaklıkla açıklanabilir. Hız yayılma doğrultusunda her noktada değişken davranır. Değişkenliğin frekans bağımlı olması durumunda dispersiyon olayı vuku bulmaktadır. Frekans ve dalga sayısı etkisi yüzey dalgalarının yayılımını ve dispersiyon ilişkisini ifade eder. Dalga sayılarının biliniyor olması demek aynı zamanda faz hızlarının da bulunmasını anlamına gelir (Yiğiter, 2008).



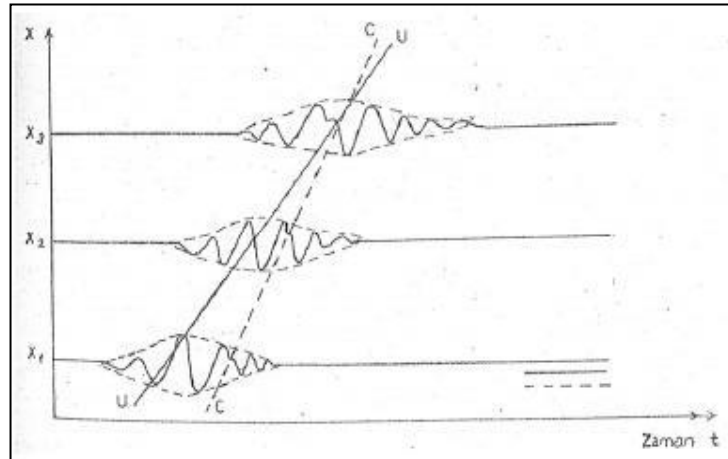
Şekil 4.17. Faz hızı ve grup hızının şematik olarak gösterimi (Osmanşahin, 1989).

4.3.3. Grup hızı

Grup hızı (u) dalga paketinin ya da dalga treninin tümünün yayılma hızına denir (Kovach, 1978). Enerji grup hızı ile birlikte hareket etmektedir (Şekil 4.18.). Bir başka deyişle grup hızı enerjinin yayılma hızıdır. Grup hızı frekans ile faz hızının değişimine ve ortam parametrelerine bağlıdır. Frekans ile hızın değişmediği durumlarda yani dispersiyonun oluşmadığı ortamlarda faz hızı grup hızına eşit olur (Yiğiter, 2008). Normal dispersiyon olayının gerçekleşmesi durumunda yani faz hızının periyodu ile artması durumunda grup hızı (u) faz hızından (c) küçük, ters dispersiyon halinde ise faz hızı (c) periyot ile azalır ve bu durumda grup hızı (u) faz hızından (c) büyük olur (Şekil 4.19.).



Şekil 4.18. Grup hızı tanımı (Kara, 1992).



Şekil 4.19. Normal dispersiyon gösteren bir dalganın birbirini izleyen üç ayrı noktadaki durumu. Grup hızı u , faz hızı c sırası ile uu ve cc doğrularının eğimleri ile verilirler (Kara, 1992).

Grup hızı ve faz hızı ilişkisinden yola çıkarak,

$$U = c - \lambda \frac{\partial c}{\partial \lambda} \quad (4.14)$$

faz hızından ise;

$$k = \frac{w}{c} \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial c}{\partial k} = \frac{\partial c}{\partial w} \frac{dw}{dk} = \frac{\partial c}{\partial w} = U \quad (4.16)$$

Frekansa bağlı grup hızı şu şekilde ifade edilir;

$$U = \frac{c}{1 - \left(\frac{w}{c}\right) \left(\frac{\partial c}{\partial w}\right)} \quad (4.17)$$

Grup hızı ortamın fiziksel parametreleri hakkında bilgi vermez fakat dispersif sinyalleri tanımlamada pratik yaklaşımlar sunar. Dispersiyon eğrisi grup hızı bilgisi, kayma dalgası hız yapısının elde edilmesinde ters çözüm olarak kullanılmasına yardımcıdır (Keilis-Borok, 1989). Yüzey dalgalarının grup hızı, yeryüzünün elastik özelliklerinin ve hem yatay hem de düşey değişiminin değerlendirilmesi için yardımcı olur (Yiğiter, 2008).

4.4. Yüzey Dalgalarının Yayınımı

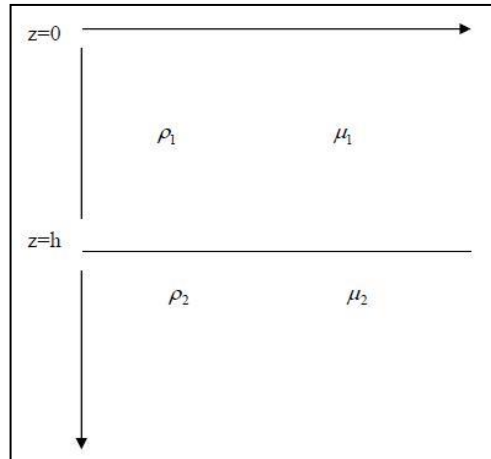
Düzlem dalgaları, homojen ve izotrop iki tabakalı yarı sonsuz ortam düşünüldüğünde yüzey dalgalarının yayınımı, dik koordinat sistemi içinde yatay doğrultuda x eksenini yayınım yönünü, düşey doğrultuda z eksenini ise pozitif olarak derinliği ifade etmekte ve w frekansına bağlı olacaktır (Şekil 4.20.).

$$U = A \exp(i(kx - \omega t)) \quad (4.18)$$

Bağıntısı verilir ve bu bağıntı üç sınır koşulu ile ifade edilir.

- Serbest yüzeyde (yeryüzü, $z=0$) kesme gerilmeleri sıfırdır.
- Ara yüzeyde ($z=H$) yer değiştirmeler süreklidir.
- Ara yüzeyde gerilmeler süreklidir (Osmanşahin, 1989).

Bu şartlar altında seçilen ω frekansı ve k dalga sayısına göre, $U = A \exp(i(kx - \omega t))$ denkleminin doğrudan çözümü bulunmamaktadır. Ancak seçilen bir ω , dalga sayısı $kn(\omega)$ gibi hususi değer alırsa çözüme gidilebilir. Seçilen bir açısal frekans için birden fazla dalga sayısı için, $U = A \exp(i(kx - \omega t))$ denkleminin çözümü bulunabilmektedir. Burada, $kn(\omega)$ bir özdeğer, buna karşılık gelen çözüm ise öz fonksiyon olarak adlandırılmaktadır (Aki ve Richards, 2002). Bu nedenle seçilen bir açısal frekans (ω) için, yüzey dalgaları $k_0(\omega)$, $k_1(\omega)$, $k_2(\omega)$... gibi farklı dalga sayıları belirlenmiş olmaktadır. Bir başka deyişle faz hızları ($c_n = \omega / kn$) kullanılan frekans için durağandır (Yiğiter, 2008).



Şekil 4.20. İki tabakalı yarı sonsuz ortam modeli. ρ =yoğunluk, μ =rijitide (Osmanşahin, 1989).

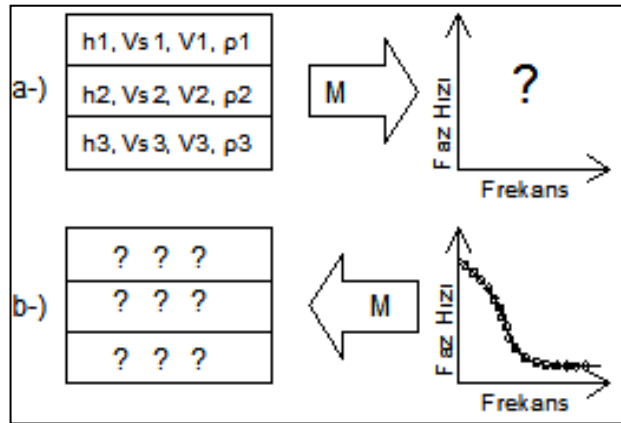
Yüzey dalgaları (Rayleigh ve Love dalgaları) için dalga denklemlerinin çözümü anlatılan sınırlar dâhilinde çözülmektedir. Rayleigh dalgaları homojen yarı sonsuz ve tabakalı ortamlarda, Love dalgaları ise tabakalı ortamlarda oluşmaktadır.

4.5. Yüzey Dalgalarının Ters İşlemi

Fiziksel sistem özellikleri bilindiğinde bu etkiye sebep olan özellikler bilinmiyorsa çözüm direkt veya düz olarak ifade edilir (Şekil 4.21.). Sistemin etkisi ölçüldüğünde

bu etkiye sebep olan özellikler bilinmediğinde çözüm ters çözüm olarak adlandırılır. Yani sistemin tepkisine neden olan yer içi özellikleri, yapıları ve parametreleri üzerine yapılan çalışmalara ters çözüm denir. Yüzey dalgası spektral analiz yönteminde yer altı ortamına ait bir modeli temsil eden deneysel dispersiyon eğrisini (dataları) elde etme işlemi düz çözümdür. Bu deneysel dispersiyon eğrisinin temsil ettiği yer altı ortamının model parametreleri tahmin etmek bu parametreleri kestirmek veya bu parametrelere yaklaşmak ise ters çözümdür (Keçeli, 2009).

Dispersiyon eğrisinin ters işlemi için çeşitli yöntemler vardır. Bunlar bahsedilen yüzey dalgasını elde etme yöntemlerine göre değişiklik göstermektedir. Elde edilen dispersiyon eğrisi daha sonra en küçük kareler yaklaşımı (Nazarian, 1984) veya düz modelleme (Stokoe ve ark., 1994) kullanılarak parametre değerlerine dönüştürülür.



Şekil 4.21. Yüzey dalgası spektral analiz yöntemi (a) düz çözüm, (b) ters çözüm (Keçeli, 2009).

Ölçülen veriler mevcut düz çözümün model parametrelerine bağlıdır. Ölçülen verilerin ters işlemi ile model parametreleri tahmin edilebilir. Bilindiği gibi ters çözüm ölçülen veriler ile tahmin edilen veriler arasında karşılaştırmayla ortaya çıkan farkın minimumlaştırılmasına dayanır. Bu karşılaştırma aşağıdaki en küçük karekök olarak bilinen hata hesaplaması ile yapılır (Keçeli, 2009).

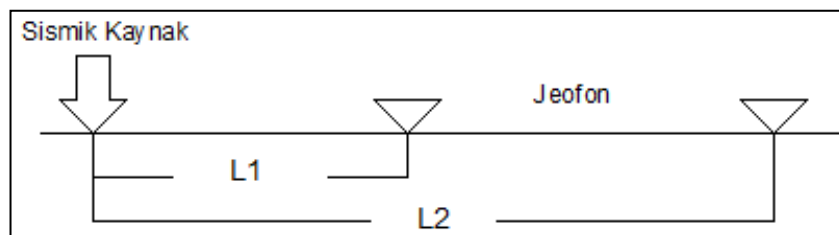
$$e_{RMS} = \frac{[V_{Rth} - V_{Rex}]}{N_{0,5}} \quad (4.19)$$

Burada N dispersiyon eğrisini belirleyen noktaların sayısıdır. İteratif ters çözüm işlemine başlamak için önce bir başlangıç yer altı modeli belirlenir. Yer altı modeli P ve S dalga hızları, yoğunluk ve kalınlık parametrelerinden oluşmaktadır. Bu dört adet parametreden kayma dalgası hızı algoritmanın bir başka deyişle işlevin yakınsaklığı üzerinde en önemli etkiye sahiptir. En küçük kareler yaklaşımı işlevin otomasyonunu sağlar. Model değişmeyecek şekilde Poisson oranı, yoğunluk ve kalınlık gibi parametreleri ile her bir iterasyondan sonra kayma dalgası hızı düzeltilebilmektedir. Bu işlemde modelin Poisson oranı, yoğunluğu, kalınlığı gibi parametrelerle her iterasyonundan sonra yalnız V_s hızında düzeltme yapılır.

Dispersiyon eğrisinden kayma dalgası hız profilini elde etmek için en basit yaklaşım deneysel dalga boyu ($\lambda = V_R/f$) yöntemidir. Bu yöntem derinlikle kayma dalgası hızının değişimini bulmak için dalga boyu (λ) eğrisine karşı faz hızı V_R 'yi ölçeklemekten oluşur. Kayma dalgası hızını elde etmek için faz hızı ile ve (z) derinliğini elde etmek için (λ) 0,33 ile çarpılır (Tokimatsu, 1997). Buna neden yarı sonsuz ortamda da V_s/V_R Poisson oranına bağlı olarak 1,05-1,15 arasında olmasıdır. Kayma dalgası hız profili derinliğin fonksiyonu olarak bir boyutlu hız profili dispersiyon eğrisinden modellenir. Dalga yayılım teorisine dayanan teorik yöntemler süreksizlikler fazla olduğunda daha iyi sonuç vermektedir (Keçeli, 2009).

4.6. Yüzey Dalgalarının Spektral Analiz Yöntemi (SASW)

SASW yöntemi, yayılan yüzey dalgalarının Şekil 4.22.'de de görüldüğü gibi en az iki alıcıda kaydedilmesi esasına dayanır. Farklı uzaklıktaki iki jeofon tarafından Rayleigh dalgaları kaydedilir. Sinyal gürültü oranını arttırmak için ardışık Rayleigh dalgaları toplanmaktadır.



Şekil 4.22. SASW yönteminde alıcı dizilim şekli (Keçeli, 2009'dan değiştirilerek).

(Dobrin ve Savit, 1988)'e göre sinyaller genelde balyoz gibi bir kaynağın vuruş hareketi sonucu üretilir. Böyle bir kaynaktan oluşan sinyaller dinamik sinyal analizcisi tarafından sayısallaştırılır ve kayıt altına alınır (Stokoe ve ark., 1994). Vuruş hareketi amaçlanan araştırma derinlikleri için farklı kaynak ve alıcı mesafeleriyle de tekrarlanır. Ezcümle yöntem çok zaman kaybettirir ve işçiliği ağıdır. İlâveten cisim ve yüzey dalgalarının yüksek modlarının (Bath, 1973) varlığından ötürü elde edilen verinin muhtemel kirlenmesine dikkat edilemez ve olması gereken şekilde yararlanılamaz (Çaylak, 2009).

SASW yönteminde düşey olarak oluşturulan yapay sismik dalga yayılımı 1 Hz'lik iki sismometre ile 1 m'den 500 m mesafeye kadar kaydedilir. İki sismometre yerleşimi araştırılacak derinliğe göre gerekli frekans sınırında birçok kez tekrarlanarak kayıtlar alınır. Meydana getirilen Rayleigh dalgalarından (2-20) Hz arasında (2-12) ve (8-20) Hz'li iki dispersiyon eğrisi veri işlem esnasında bir tek eğri olacak şekilde birleştirilir. Veriler her bir sismometre düzeninde iki sismometre arasındaki hesaplanan faz farkı ile dispersiyon eğrisi oluşturmak için frekans domeninde analiz edilir. Kaydedilen Rayleigh dalgaları zaman domeninden frekans domenine Fast Fourier Transform (FFT) tekniği ile dönüştürülür. Hızlı Fourier Transform (FFT) ossiloskopta her bir vuruş için iki ayrı sismometreden hesaplanan farklı faz spektrumu ve genlik karşılaştırmasından faz hızları elde edilir. $V_R(f)$: Rayleigh dalgası faz hızı aşağıdaki gibi hesaplanır.

Kaydedilen zaman bölgesindeki iki sinyal FFT ile frekans bölgesine aktarılır. İki fonksiyonun karşıt ilişki işlemi iki fonksiyonun eş zamanlı spektral işleminden iki çıkış oluşturulur. Çıkışlardan biri frekansın fonksiyonu olarak iki zaman fonksiyonu arasındaki faz farkını verir. Bu faz farkı spektrumu aşağıdaki gibi frekansın fonksiyonu olarak zaman farkına dönüştürülebilir.

Burada; f : zaman farkının uygulandığı frekans, $\theta(f)$: her bileşen için iki jeofon arasındaki spektral faz farkı, $\Delta t(f)$: jeofonlar arasındaki frekans bağımlı zaman farkı, $\lambda_R(f)$: dalga boyu, L_1 ve L_2 ise kaynak ve jeofon arası uzaklıklardır (Keçeli, 2009).

$$\Delta t(f) = \theta(f)/2\pi f \quad (4.20)$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 \quad (4.21)$$

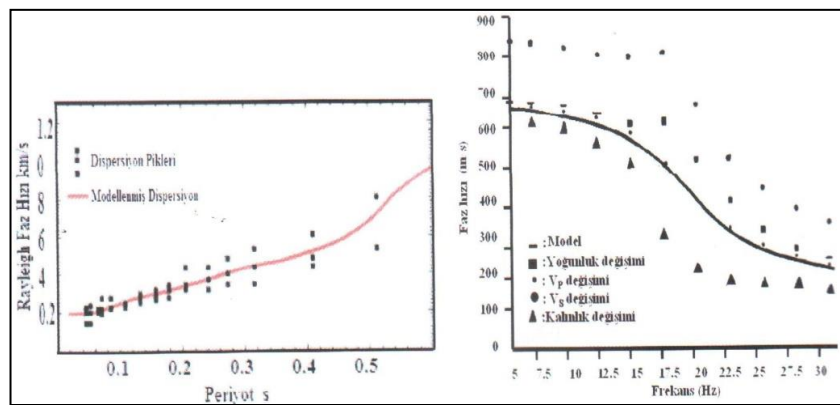
$$V_R(f) = \Delta L/\Delta t(f) \quad (4.22)$$

$$\lambda_R(f) = V_R(f)/f \quad (4.23)$$

Bu işlem bütün frekanslar için tekrarlanarak uygulanır ve $V_R(f)$, $\lambda_R(f)$ 'nin fonksiyonu olarak iki jeofonun orta noktası için dispersiyon eğrileri oluşturulur. Dispersiyon eğrisi elde edilince inversiyon işlemine geçilebilir. Dalga boyu (λ) tabaka kalınlığına (h), deneysel olarak aşağıdaki gibi dönüştürülür (Keçeli, 2009).

$$h \cong \lambda/2 \quad \text{veya} \quad h \cong \lambda/3 \quad (4.24)$$

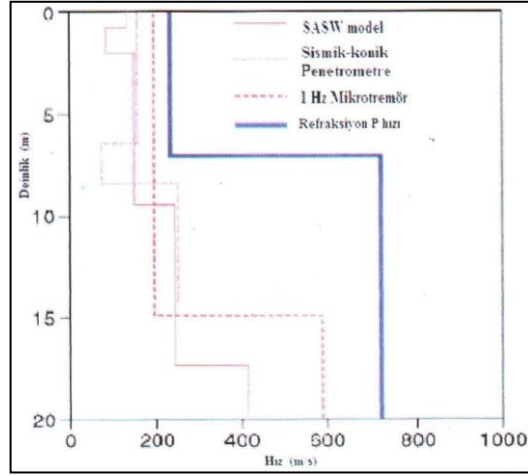
Temel arazi verisi $\lambda_R(f)$ 'ye göre dispersiyon $V_R(f)$ eğrileri oluşturulur. Burada dispersiyon eğrisi daha sonra kayma dalgası hızı düşey profiline iteratif bir yaklaşımla dönüştürülür (Şekil 4.23.). Bu dönüşüm V_P/V_S sığıda 3'den tabanda 1,71'e ve ρ (yoğunluk) = 1,64 olması kabullerine dayanır (Keçeli, 2009). $V_R = 0,92 \times V_S$ ilişkisinden kayma dalgası hızı elde edilir.



Şekil 4.23. Yüzey dalgası frekansı faz hızı ilişkisi dispersiyon eğrileri örneği (Keçeli, 2009).

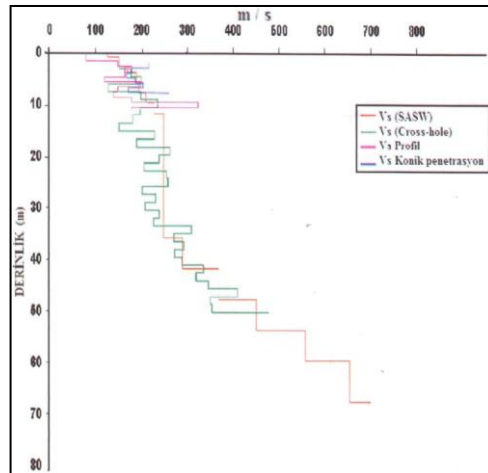
Şekil 4.24. SASW, CPT mikrotremör ve refraksiyondan elde edilen hızların derinlikle değişiminin karşılaştırılmasını göstermektedir. Refraksiyonun V_P hızı

genelde zayıf uyum gösterirken mikrotremör alçak hızlı yeryüzü tabakasının 17,5 metrelik kalınlığında zayıf uyum gösterir fakat 200 m/sn'lik hızlarında iyi uyum göstermektedir.



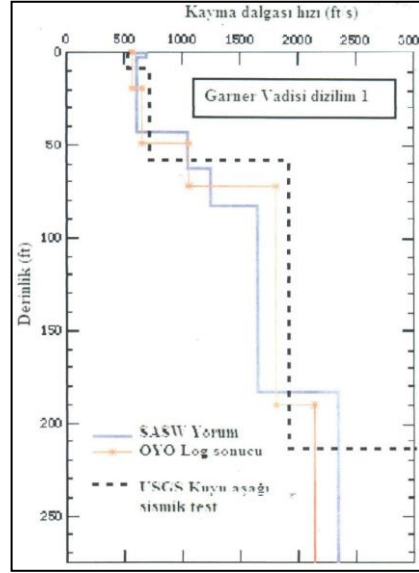
Şekil 4.24. SASW, Mikrotremör ve Refraksiyon'dan elde edilen hızların derinlikle değişiminin karşılaştırılması (Louie, 2001).

Yüzey dalgası (SASW), karşılıklı kuyu (Cross-hole), profil ve konik penetrasyon (CPT)'dan saptanan kayma dalgası V_s hızlarını karşılaştırma örneğinde SASW ile karşılıklı kuyu içi V_s değerlerinin derinlikle değişimi nispeten uyumlu, konik penetrasyon ve profil ölçümleri ile elde edilen V_s ile uyumsuz olduğu görülmektedir (Şekil 4.25). SASW'in bu avantajı yanında 80 metre derinlere kadar V_s ölçme özelliğinin olmasıdır (Keçeli, 2009).



Şekil 4.25. Yüzey dalgası (SASW), karşılıklı kuyu (cross hole), profil ve konik penetrasyon (CPT)'dan saptanan kayma dalgası (V_s) hızlarının karşılaştırma örneği (Anderson ve ark., 2003).

SASW ölçümü sonucu elde edilen derinlikle kayma dalgası hızının değişimi kuyu logu ve kuyu aşağı sismik kayma dalgası hızı ile uyumlu olduğunu görülmüştür (Şekil 4.26.).



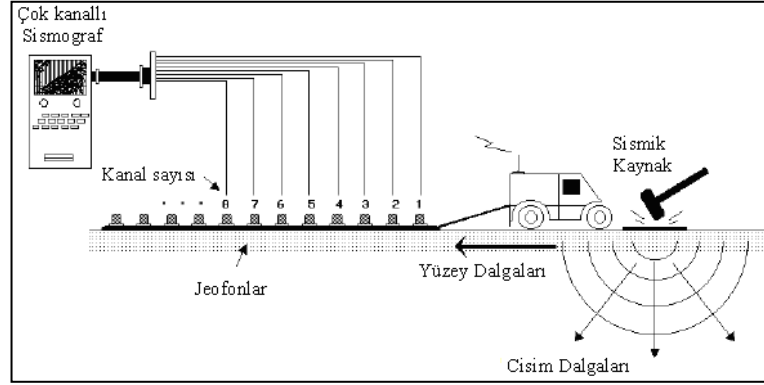
Şekil 4.26. SASW kayma dalgası hızının kuyu logu ve kuyu aşağı sismik kayma dalgası hızı ile karşılaştırılması (Brown, 1999).

4.7. Yüzeysel Dalgaların Çok Kanallı Analiz Yöntemi (MASW)

Yüzeysel dalgaların çok kanallı analiz yöntemi, sığ mühendislik çalışmalarında kullanılan yöntemlerden biri olan yüzeysel dalgaların spektral analiz yöntemi (SASW)'nin eksik kaldığı noktaları gidermek adına geliştirilmiş bir yöntemdir. Yüzeysel dalgaların çok kanallı analizi (Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW), balyoz, ağırlık düşürme, gun vb. gibi yapay oluşturulan ve aktif olarak adlandırılan kaynakların kullanıldığı olduğu yüzeysel dalgası analiz yöntemidir (Şekil 4.27.). MASW yönteminde Rayleigh dalgası, tabakalı yer küre modeli ve S dalga hızının baskın olduğu durumlar etkindir. Bunlardan da faz hızlarının S dalga hız modellerine ulaşılır (Çaylak, 2009).

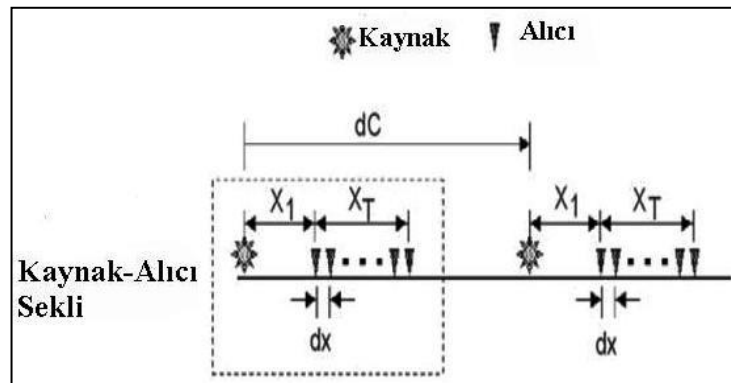
MASW yönteminde veri-işlem akış yolu sırasıyla, araziden elde edilen yani toplanan yüzeysel dalgaları, faz hızı - frekans dönüşümü bir başka deyişle dispersiyon eğrisinin elde edilmesi ve S-dalgasının ters çözüm işlemine tabii tutulmasıdır. Burada

sinyal/gürültü oranı dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır çünkü Vs hızının doğru şekilde bulunabilmesi için, sinyal/gürültü oranının yüksek olduğu, yerleşim yerlerinden uzak olacak alanlarda gürültü olabildiğince minimumlaştırılır.



Şekil 4.27. Çok kanallı yüzey dalgasının veri toplama düzeneği (Park ve ark., 1998).

Yöntemde öncelikle kaynakla aynı doğrultuda bulunan alıcılardan oluşan doğrusal (lineer) dizimlerden yararlanılarak çok kanallı kayıtlar alınır. Yüzeyde etki eden aktif kaynak ve 8 Hz'den küçük alçak tepki frekanslı alıcılar yüzey dalgalarını elde etmek için tercih edilmelidir. Kaynak, alıcı, ofset, alıcı aralığı gibi veri kazanç parametreleri, ground roll sinyallerini güçlendirmek için ayarlanmalıdır (Şekil 4.28.) (Park ve ark., 1999). Sahada veri toplandıktan sonra, atış noktaları için değişik frekanslarda bulunan faz hızları analizlerle hesaplanmaktadır. Bu işlem sonucunda veriye ait dispersiyon eğrileri elde edilmiş olunur.



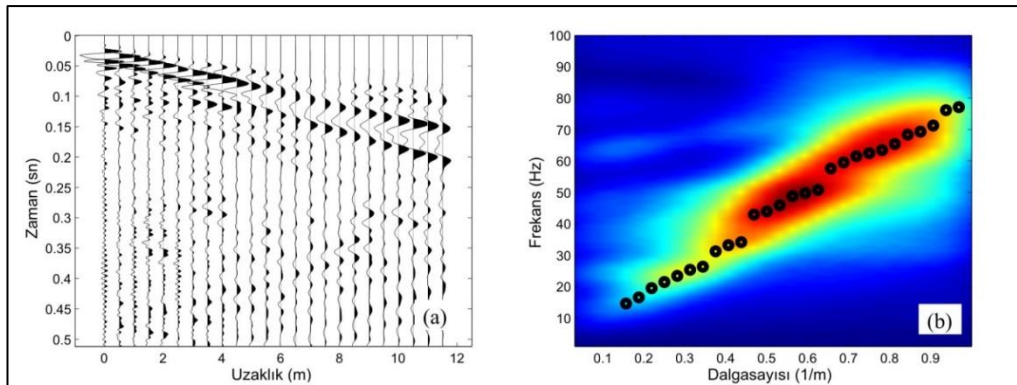
Şekil 4.28. Kaynak-alıcı şeklinin tanımı. d_C : iki kaynak arasındaki mesafe, X_1 : ofset uzaklığı, d_x : alıcılar arasındaki mesafe, X_T : açılan alıcıların toplam uzunluğu (Anonim, 2007).

S-dalgası hızlarından Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisine bir bağlantı oluşturmanın önemli yolu Rayleigh dalgasının dispersiyonunun yerin unsurlarına göre duyarlılığını tanımlamaktır. MASW yönteminde Rayleigh dalgalarının faz hızları ile yerin özellikleri arasındaki ilişki birinci kısmi türevler matrisinin analizinden hesaplanabilir. Tabakalı yer ortamında yüksek frekanslı Rayleigh dalgası dispersiyonundan P-dalgası hızı, S-dalgası hızı, kalınlık ve yoğunluk belirlenir. P-dalgası hızı ve yoğunluk değerlerinin belirlenen bu değerler için %25 veya daha az hata oranı olması durumunda ampirik olarak her tabakaya sabit değer atanabilir. Rayleigh dalgasının dispersiyon eğrisinde temel mod durumunda S dalgası hızı baskın durumda olduğundan hızı değerleri eğriden rahatlıkla bulunabilir (Xia ve ark., 1999; Xia ve ark., 2002).

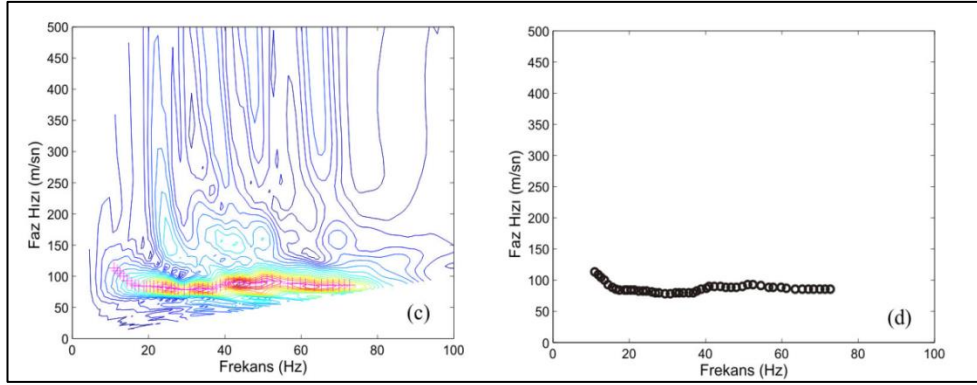
Her dispersiyon eğrisine, hesaplanan derinliğe eşit bir S dalgası hızının elde edilmesi için ters çözüm işlemi (Xia ve ark., 1999). S dalgası hızına dönüşen profil alıcı aralığının ortasına yerleştirilebilir (Miller ve ark., 1999; Çaylak 2009).

4.8. Dispersiyon Eğrilerinin Elde Edilmesi (Faz Hızı – Frekans Dönüşümü)

Rayleigh dalgalarının tatbik edilmesinde öne çıkan durum, dispersiyon eğrisine ulaşmaktır (Şekil 4.29.ve Şekil 4.30.). Dispersiyon eğrisine ulaşmak için türlü yöntemler olgunlaşmaktadır. Bu yöntemler arasında en basit ve yaygın olanı Guo ve Liu (1999)'e göre değişik noktalarda kaydedilen iki izin çapraz ilişkisi ile hesaplanmasıdır.



Şekil 4.29. Dispersiyon eğrisinin çıkarılması (a) atış kaydı, (b) frekans-dalga sayısı (f-k) dönüşümü (Çaylak, 2009).



Şekil 4.30. Dispersiyon eğrisinin çıkarılması (c) faz düzeltmesi ile hız spektrumu ve piklenmiş veri, (d) temel mod dispersiyon eğrisi (Çaylak, 2009).

Aralarındaki uzaklığın 2x kadar olan iki alıcıdan çıkarılan $f(t)$ ve $g(t)$ gibi iki iz, Fourier dönüşümü yardımıyla frekans ortamına geçirilir ve açılal frekans (w) ile $F(w)$ ve $G(w)$ şeklinde yazılır.

$$F(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \exp^{-iwt} dt \quad (4.25)$$

$$G(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp^{-iwt} dt \quad (4.26)$$

iki izin çapraz ilişkisi ($CC_{fg}(w)$),

$$CC_{fg}(w) = F(w) \cdot \overline{G(w)} = A_f(w) A_g(w) \cdot \exp^{i\Delta\phi(w)} \quad (4.27)$$

bağıntısı ile frekans ortamında belirlenebilir. Burada $A_f(w)$ ve $A_g(w)$, $F(w)$ ve $G(w)$ 'nin genliğidir. $\overline{G(w)}$, $G(w)$ 'nin karmaşık eşleniğidir. $\Delta\phi(w)$, çapraz ilişkinin ($CC_{fg}(w)$) faz-spektrumudur ve iki izin faz-farkına eşittir. $\Delta\phi(w)$ ise çapraz ilişkiden ($CC_{fg}(w)$) fg basit bir şekilde hesaplanabilir (Çaylak, 2009).

$$\Delta\phi(w) = \arctan\left(\frac{Re(C C_{fg}(w))}{Im(C C_{fg}(w))}\right) \quad (4.28)$$

Faz-hızı $c(w)$, faz-farkı $\Delta\phi(w)$ ile doğrudan ilişkilidir.

$$c(w) = \frac{w\Delta x}{\Delta\phi(w)} \quad (4.29)$$

Aktarılan bu yöntemde önemli kısıtlamalar mevcuttur. Mesela, faz sarımlarının önüne geçilmesi için alıcılar arası aralık belirlenirken dikkat edilmelidir. Yöntem dispersiyon eğrisinin temel modunu cisim dalgalarından veya diğer modlardan ayırt edemez ve üç izden fazlasına uygulanmaz. McMechan ve Yedlin (1981), $\tau - p$ dönüşümü ve Fourier dönüşümünden yararlanarak çok kanallı ortak atış birliğinden doğrudan faz hızını hesap edebilen bir yöntem ortaya atmışlardır. Bu yöntem, çapraz ilişkiye göre çok daha kullanışlıdır. Bunun nedeni temel modun, cisim dalgaları ve yüksek modlu faz hızı eğrilerinden ayırt edilebilmesidir. Faz hızı, çok kanallı dalga-biçim dadasından tayin edilebilir. Park ve ark., (1999) çok kanallı yüzey dalga analizi (MASW) isminde bir dalga-biçim dönüşümü teklif etmişlerdir. Bu yöntem, McMechan yöntemini andıran çok kanallı ortak atış birliğinden direkt faz hızını hesaplayabilir. McMechan ve Yedlin (1981) ilk önce görünür yavaşlığı (p) bulmuş ve sonrasında frekans ortamına aktarmıştır. Öteki taraftan Park ve ark., (1999) ise ilk olarak atış birliğini frekans ortamına aktarmışlar ve sonrasında faz düzeltmesi yardımıyla faz hızına ulaşmışlardır. Üzerine de iz sayısında sınırlama olmasına karşın faz hızı eğrisini ortaya atmışlardır (Çaylak, 2009).

Park ve ark. (1999) tarafından ortaya atılan çok kanallı yüzey dalgası analizi hesaplama yöntemi genel olarak tercih edilmektedir. Yöntemde tek bir atış birliğinden kayıt altına alınan dalga alanlarından direkt dispersiyon eğrilerine ulaşılır. Değişik modlardaki dispersiyon eğrileri, atış birliği sınırlı ofset dizisi boyunca toplanan küçük sayıda izlerden oluşmuş olsa bile yüksek çözünürlükle ayırt edilebilir. Son derece basit olan üç aşamalı dönüşüm yöntemidir. Zaman-uzaklık

ortamında alınan sinyallere uygulanan basit bir dalga alanı dönüşümü ile dispersiyon eğrisine ulaşmak muhtemeldir. Yöntem şu şekilde ekspozite edilebilir.

Bir atış birliğinin zaman-uzaklık (x-t) ortamı gösterimi $u(x,t)$ 'e göre Fourier dönüşümü, $U(x,w)$ 'yi elde etmek için $u(x,t)$ zaman eksenine uygulanabilir:

$$U(x, w) = \int u(x, t) e^{iwt} dt \quad (4.30)$$

$U(x,w)$, iki ayrı terimin çarpımı olarak da ifade edilebilir:

$$U(x, w) = P(x, w) \cdot A(x, w) \quad (4.31)$$

burada frekans ortamına dönüştürülen $P(x,w)$ ve $A(x,w)$ sinyalleri, faz ve genlik spektrumunu ifade eder. $U(x,w)$ 'deki her bir frekans bileşeni tam olarak diğer frekanslardan ayrılır ve varış zaman bilgisi, faz spektrumunda $P(x,w)$ gösterilmiştir. Faz spektrumuna göre dalga alanı, alıcılara bilinen bir zaman farkı ile gelecektir. Ayrıca $A(x,w)$, atenü ve geometrik yayılma gibi diğer tüm unsurlar hakkında bilgiler sahipken $P(x,w)$, dispersiyon özelliklerinin tüm bilgilere sahiptir. Bu nedenle $U(x,w)$, şu şekilde aktarılabilir (Çaylak, 2009).

$$U(x, w) = e^{-i\phi x} A(x, w) \quad (4.32)$$

burada ϕ ; faz kayması, w ; radyan cinsinden frekans ve cw ; frekansa (w) göre faz hızıdır. Dalga sayısı, $k = w/cw$ olarak ifade edildiğinde (4.28) denkleminde $U(x,w)$ 'ye integral dönüşümünün tatbit edilmesiyle $V(w,\phi)$ 'ye ulaşılır.

$$\begin{aligned} V(w, k) &= \int e^{ikx} [U(x, w) / |U(x, w)|] dx \\ &= \int e^{-e(\phi-k)x} [A(x, w) / |A(x, w)|] dx \end{aligned} \quad (4.33)$$

(4.33) denklemindeki integral dönüşümünde, (4.32) no'lu denklemdeki dalga alanlarına göre bir faz hızı $c_w = (\omega/\phi)$ farz edilir. Faz hızı baz alınarak hesaplanan ofsetle ilişkili faz düzeltmesi yapıldıktan sonra bir frekansın dalga alanları ofset boyunca toplanır. Tek tek alıcılardaki dalga alanından atenuasyonu ve geometrik yayılmanın etkilerini ortadan kaldırmak hedefiyle $U(x,\omega)/U(x,\omega)$ şeklinde bir düzeltme işlemi hayata geçirilir. Bu işlemle, genliğin etkisi yok edilerek faz hızına baskın olacak şekilde ulaşılır. Frekans (ω) için bilinen bir skalada değişen hızlardan yararlanılarak ulaşılan dalga sayısı, faz kaymasıyla eşitlendiğinde,

$$k = \phi = \omega/c_w \quad (4.34)$$

denkleminde ulaşılır. (4.30) denkleminin karşılanması sonucunda, $A(x,\omega)$ gerçek ve pozitifdir. Bu nedenle $V(\omega,k)$ maksimuma ulaşır. $V(\omega,k)$ 'nin tepe noktasında olması bir başka deyişle dalga sayısının faz kaymasıyla eşitlendiği durumda, faz hızı c_w elde edilebilir (Çaylak, 2009).

4.9. S - Dalgası Hız Modeli İçin Ters Çözüm İşlemi

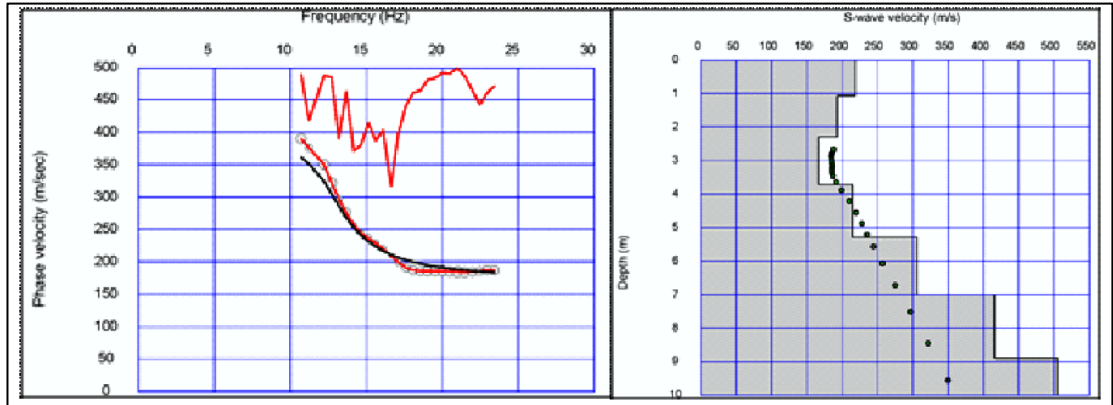
Frekans dalga sayısı analizlerinin sonucunda ulaşılan Rayleigh dalgası dispersiyon eğrilerine ters çözüm işlemi uygulanır ve S dalgası hız modeli sonuçlarına ulaşılır. Bu işlemde, dispersiyon eğrilerinin çoğunlukla temel modu (fundamental mod) işleme alınır. Fakat yeraltının fiziksel durumuna bağlı olarak gözlemlenen yüksek modlardan da yararlanılabilir. Hızın derinlikle arttığı bir başka deyişle normal dispersiyon oluşan ortamlarda yüzey dalgalarının temel modu baskındır ve bu modun işleme alındığı ters çözüm uygulamaları kaliteli sonuçlar vermektedir (Zywicki, 1999).

Ters çözüm işlemi matematiksel modelle bağlantılı olan model parametresinin bir kısım datadan yararlanılması işlemidir. Bu işlem data kalitesi ve matematiksel modelin uygunluğu kadar başarılı olmaktadır. Ters çözüm, içerisinde yetersiz veri ve gürültü yoğunluğu bulunduran datanın model parametrelerinin kestirilmesidir (Jackson, 1972).

Bu anlatılanlar sonucu ters çözümde başlangıç modeline ait önemin öne çıktığı sonucuna varılabilir. Önem arz eden bu modelin seçimine dikkat edilerek jeolojik yapıya en yakın gerçek modele ulaşmak rahat olacaktır. Bilgisayar programları vasıtasıyla bu işlem gerçekleştirilebilir. Bu pratik durum sahada çalışma sırasında da uygulanabilmektedir.

Yüzey dalgalarının analiz yöntemlerinde düşük frekansların hata oranını yukarı çekmesi nedeniyle ters çözüm işlemi sırasında derinliğin artması sonucu çözünürlük düşülebilmektedir. Bu detayda derinlerdeki tabakalara ait parametrelerin çözünebilmesini güçleştirir. Tabakalar arası ani hız değişimleri de ters çözümün sağlıklı sonuç vermesine etki eder (Yiğiter, 2008).

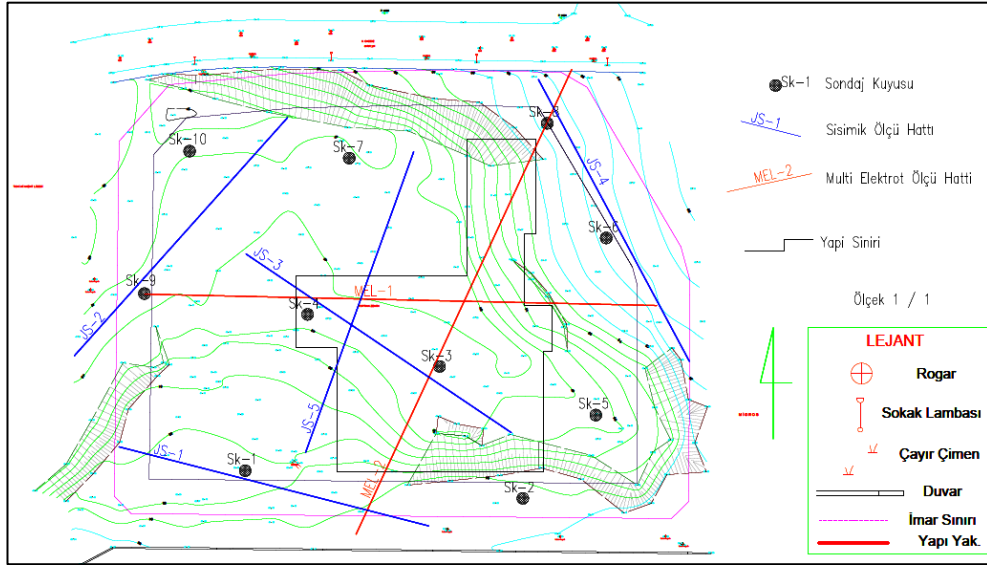
Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrilerinin ters çözüm işleminde çoğunlukla tabakalara ait kalınlıklar ile hızlar bir arada tercih edilmezler. Tabakalara ait kalınlıklar sabitlenerek hızlar ters çözüm işlemine tabii tutulur ya da tercihen bunun tam tersi uygulanır (Şekil 4.31.) (Hermann ve Ammon, 2002).



Şekil 4.31. Faz hızının frekansa bağlı değişimi sonu elde edilen dispersiyon eğrisi (sol) ve elde edilen dispersiyon eğrisine ters çözüm işlemi uygulanarak oluşturulan S dalga hız modeli (sağ).

BÖLÜM 5. ARAZİ UYGULAMALARI

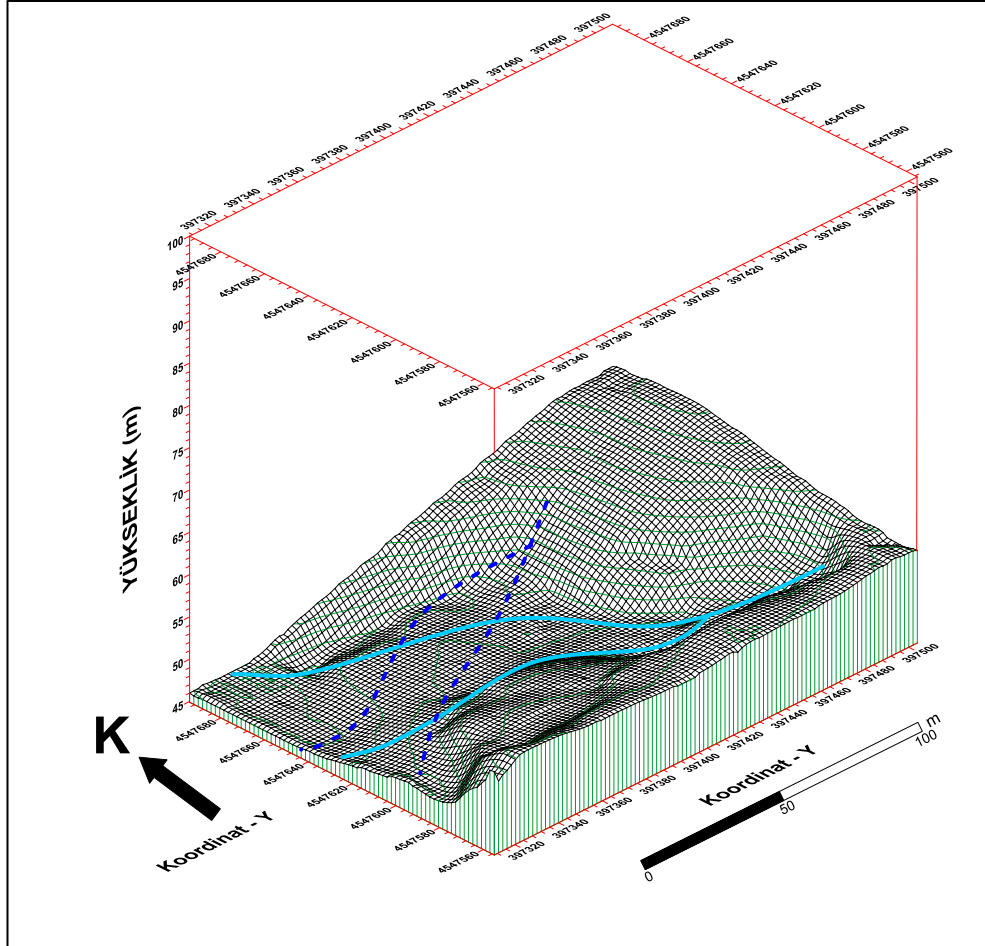
İstanbul ili Küçükçekmece ilçesi Atakent bölgesi batı kısmında bulunan arazi çalışması aşağıda bulunan vaziyet planına işlenmiştir. Çalışma sahasının alanı yaklaşık 19.792,9188 m²'dir. Bu büyüklükteki arazinin zemin durumunu belirlemek, temel kaya ve üstündeki katmanları saptamak için yeterli sayıda sondaj, çoklu elektrot ve sismik uygulaması olmuştur. Bu minvalde Şekil 5.1.'de de görüldüğü üzere arazide 10 adet sondaj kuyusu çalışması, 2 adet çoklu elektrot uygulaması ve 5 adet sismik serim yapılarak sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiş ve arazi hakkında amaçlanan yorumlara gidilmiştir.



Şekil 5.1. Çalışma alanı amaçlanan genel vaziyet planı.

Arazinin kot yüksekliklerinden bahsedecek olursak ölçümlerde en yüksek kot seviyesi deniz seviyesinden yaklaşık 60 m yukarıda bulunurken en düşük kot seviyesi ise deniz seviyesinden yaklaşık 45 m yüksekliğine kadar düşmektedir ve yaklaşık 15 m kadar arazi kendi içinde kot farkına sahiptir. Şekil 5.2.'de de arazinin üç boyutlu kot dağılım grafiği eklerde ise görüntüsü verilmiştir.

Grafik dikkatli olarak incelendiğinde bir tanesi net şekilde görülen KB-GD doğrultulu çevresel etki ve zaman kavramı nedeniyle oluşmuş vadi tipi dere yatağı göze çarpmaktadır. Diğeri ise net olmasa da bu forma uyduğu düşünülen KD-GB doğrultulu bir dere yatağı mevcuttur.



Şekil 5.2. Çalışma alanı genel topografyası.

5.1. Sondaj Çalışmaları

Arazi çalışmalarında öncelikle zeminin durumunu ve karakteristik özelliklerini ve arazide yapılacak jeofizik çalışmalara uyum oluşturacak şekilde litolojik kesitleri elde etmek amacıyla; saha üzerinde vaziyet planında verildiği gibi 10 noktada zemin sondajları yapılmıştır.

Sondaj sayıları, derinlikleri ve lokasyonları sahanın fiziki durumuna ve çalışmanın uyumluluğuna göre belirlenmiş ve sürekli gözetim altında olmuştur. Arazi için sondaj çalışmaları rötary sondaj tekniği ve ekipmanları kullanılarak kamyon üzerine monte edilmiş SİMAK 400 marka hidrolik sondaj makinasıyla yapılmıştır.

Sondaj çalışmaları neticesinde sondaj kuyu logları, BS5930 site investigation şartnamesi uyumlu log programı yardımıyla oluşturulmuştur. Tablo 5.1.'de sondaj numaraları, koordinatları, kotu ve derinlikleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Sondaj noktalarının koordinat ve derinlik tablosu.

Sondaj No.	Koordinatlar (x,y)	Zemin kotu (m)	Derinlik (m)
SK-1	397371 - 4547578	52,40	20,00
SK-2	397451 - 4547570	54,50	20,00
SK-3	397427 - 4547608	48,50	20,00
SK-4	397389 - 4547623	48,90	15,00
SK-5	397472 - 4547594	49,50	20,00
SK-6	397475 - 4547645	57,30	20,00
SK-7	397401 - 4547668	47,20	15,00
SK-8	397458 - 4547678	56,20	20,00
SK-9	397342 - 4547629	47,50	15,00
SK-10	397355 - 4547670	46,90	16,50

Bu bilgiler ışığında yapılan sondajlar sonucunda elde edilen loglar Şekil 5.3., Şekil 5.4., Şekil 5.5., Şekil 5.6., Şekil 5.7., Şekil 5.8., Şekil 5.9., Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de ki gibidir.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI							SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m			SONDAJ NO : SK - 1 1/1				
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI							ZEMİN KOTU : 52,40 m			KUYU ÇAPı : 76 mm				
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi							KOORDİNAT : N: E: UTM (m3204)							
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)							Başlangıç Tarihi : 26/08/2013			Bitiş Tarihi : 27/08/2013				
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00														
3,00														
3,46	SPT-1	1	2	2	N ₆₀ = 4									
4,00														
4,60	SPT-2	3	4	4	N ₆₀ = 8									
4,85														
5,00														
6,00														
6,20	SPT-3	5	8	8	N ₆₀ = 15	M.B.D								
6,46						6,00								
7,00														
7,80	SPT-4	7	5	3	N ₆₀ = 8									
7,98														
8,00														
9,00														
8,20	SPT-5	5	8	7	N ₆₀ = 13									
8,45														
10,00														
10,50	SPT-6	6	7	7	N ₆₀ = 14									
10,36														
12,00														
12,45	SPT-7	8	14	18	N ₆₀ = 33									
13,00														
14,00														
15,00	K-1						60	60	30					
16,00	K-2						40	40	30					
17,00	K-3						33	33	30					
18,00														
19,00	K-4						12	12	12					
20,00														
NOTLAR :											— SONDAJ BITİMİ		LOGU HAZIRLAYAN	
SONDÖR : C.TEKİN													D. ALI KURAL Jeolojik Mühendis	

Şekil 5.3. SK-1'e ait kuyu logu.

Sk-1 sondajı; yüzeyden 4,5 m'ye kadar dolgu içerisinde yer yer çakıllı kil, 4,5 m ve 10,5 m arası yine dolgu malzemesi yer yer silt-kum-çakıl, 10,5 m ve 13,5 m arası katı-çok katı sert ince çakıllı kil, 13,5 m ve kuyu sonu olan 20 m arası ise, zayıf-ince tabakalı-ayrışmış kiltası bulunmaktadır.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI										SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m		SONDAJ NO : SK - 2 1/1		
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI										ZEMİN KOTU : 54,50 m		KUYU ÇAPı : 76 mm		
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi										KOORDİNAT : N: E: UTM (m)				
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)										Başlangıç Tarihi : 27/08/2013		Bitiş Tarihi : 28/08/2013		
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KÖT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00														
3,00	SPT-1	4	7	5	N ₆₀ = 12									
4,00														
5,00	SPT-2	6	7	10	N ₆₀ = 17									
6,00														
7,00	SPT-3	11	13	19	N ₆₀ = 32	M.B.D 6,00								
8,00														
9,00	SPT-4	9	14	18	N ₆₀ = 32		Y.A.S.S 7,20							
10,00	K-1							83	83	37				
11,00	K-2							67	47	33				
12,00	K-3							33	30	10				
13,00	K-4							33	33	23				
14,00	K-5							100	100	90				
15,00	K-6							100	100	83				
16,00	K-7							75	75	56				
17,00														
18,00														
19,00														
20,00														
NOTLAR :										SONDAJ BİTİMİ		LOGU HAZIRLAYAN		
SONDÖR : C.TEKİN												D. ALI KURAL Jeoloji Mühendisi		

Şekil 5.4. SK-2'ye ait kuyu logu.

Sk-2 sondajı; yüzeyden 3m'ye kadar içinde çakıllı kil bulunan ve devamında 9 m'ye kadar ise içinde siltli-çakıllı kil bulunan dolgu malzemesi bulunmaktadır. 9 m ve 16,5 m arası zayıf ince tabakalı ayrıışmış kiltası, 16,5 m ve kuyu sonu arası ise zayıf-orta sağlam ince tabakalı killi kireçtaşı saptanmıştır.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI										SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m		SONDAJ NO : SK - 3 /1/1		
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI										ZEMİN KOTU : 48,50 m		KUYU ÇAPı : 76 mm		
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi										KOORDİNAT : N: E: UTM (WGS84)				
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)										Başlangıç Tarihi : 30/08/2013		Bitiş Tarihi : 30/08/2013		
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00											DOLGU (Siltli-çakıllı KİL)			
3,00														
3,46	SPT-1	10	10	8	N ₆₀ = 18									
4,00										4,00				
4,89	SPT-2	12	18	19	N ₆₀ = 37									
4,86											DOLGU (Siltli KİL)			
5,00														
6,00	SPT-3	30	27	27	N ₆₀ = 54 Refüsu	M.B.D 6,00								
6,46														
7,00	K-1						73	67	60					
8,00	K-2						53	53	53					
9,00														
10,00	K-3						100	93	70					
11,00	K-4						0	0	0					
12,00														
13,00	K-5						13	13	13					
14,00	K-6						87	83	67					
15,00														
16,00	K-7						100	100	87					
17,00	K-8						20	17	7					
18,00														
19,00	K-9						75	70	65					
20,00										20,00				
NOTLAR :										SONDAJ BİTİMİ		LOGU HAZIRLAYAN		
SONDÖR : C.TEKİN												D. ALİ KURAL Jeolojik Mühendisi		

Şekil 5.5. SK-3'e ait kuyu logu.

Sk-3 sondajı; yüzeyden 6m'ye kadar içinde siltli kil bulunan dolgu malzemesi, 6 m ile 13,5 m arası zayıf ince tabakalı ayrıışmış kıltaşı ve devamında ise kuyu sonuna kadar zayıf-orta sağlam ince tabakalı killi kireçtaşı tespit edilmiştir.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI										SONDAJ DERİNLİĞİ : 15.00 m		SONDAJ NO : SK - 4 /1/1		
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI										ZEMİN KOTU : 48,90 m		KUYU ÇAPı : 76 mm		
EKİPMAN : SIMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi										KOORDİNAT : N: E: UTM 603560				
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)										Başlangıç Tarihi : 31/08/2013		Bitiş Tarihi : 31/08/2013		
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00														
3,00														
3,56	SPT-1	3	4	5	N ₆₀ = 9									
4,00														
4,26	SPT-2	6	8	10	N ₆₀ = 18					4,50		-4,50		
5,00														
6,00														
6,40	SPT-3	7	8	11	N ₆₀ = 19	M.B.D	6,00	Y.A.S.S	6,50					
7,00										7,00		-7,00		
8,00	K-1													
8,00	SPT-4	8	9	12	N ₆₀ = 21									
9,00	K-2													
9,00	SPT-5	7	11	17	N ₆₀ = 26									
10,00	K-3													
11,00	K-4													
12,00	SPT-6	11	16	33	N ₆₀ = 51 Refüsal									
13,00	K-5							53	53	37				
14,00	K-6													
15,00								80	80	80				
15,00														
16,00														
17,00														
18,00														
19,00														
20,00														
NOTLAR :											LOGU HAZIRLAYAN			
SONDÖR : C.TEKİN											D.ALİ KURAL Jeoloji Mühendisi			

Şekil 5.6. SK-4'e ait kuyu logu.

Sk-4 sondajı; yüzeyden 7 m'lere kadar içinde silt-çakıl ihtiva eden dolgu malzemesi ve devamında ise kuyu sonuna kadar zayıf ince tabakalı ayrışmış kıltaşı belirlenmiştir.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI										SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m		SONDAJ NO : SK-5 1/1		
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI										ZEMİN KOTU : 49.50 m		KUYU ÇAPı : 76 mm		
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi										KOORDİNAT : N: E: UTM (H0840)				
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)										Başlangıç Tarihi : 28/08/2013		Bitiş Tarihi : 28/08/2013		
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00														
3,00														
4,00														
4,90	SPT-1	10	12	13	N ₆₀ = 25									
4,96														
5,00														
6,00														
6,46	SPT-2	10	14	17	N ₆₀ = 31	M.B.D								
6,46						6,00								
7,00														
7,50														
7,90	SPT-3	50/12			N ₆₀ = Retesal									
7,96														
8,00	K-1						100	100	83					
9,00														
10,00	K-2						80	77	83					
11,00														
12,00	K-3						50	50	3					
13,00														
14,00	K-4						50	50	43					
15,00														
16,00	K-5						50	50	49					
17,00														
18,00	K-6						70	70	70					
19,00														
19,00	K-7						45	45	32					
20,00														
20,00														
NOTLAR :										SONDAJ BİTİMİ		LOGU HAZIRLAYAN		
SONDÖR : C.TEKİN												D.ALİ KURAL Jeoloji Mühendisi		

Şekil 5.7. SK-5'e ait kuyu logu.

Sk-5 sondajı; yüzeyden 7,5 m'ye kadar siltli-çakıllı kil barındıran dolgu malzemesi, 7,5 m ve 12 m arası zayıf ince tabakalı ayrıışmış kıltaşı, 12 m'den kuyu sonuna kadar ise zayıf orta sağlam ince tabakalı killi kireçtaşı tespit edilmiştir.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI										SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m		SONDAJ NO : SK - 7 1/1		
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI										ZEMİN KOTU : 47,20 m		KUYU ÇAPİ : 76 mm		
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi										KOORDİNAT : N: E: UTM (y0284)				
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)										Başlangıç Tarihi : 04/09/2013		Bitiş Tarihi : 04/09/2013		
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00														
3,00														
3,00	SPT-1	2	3	4	N ₆₀ = 7									
3,60														
4,00														
5,00														
6,00														
6,00	SPT-2	6	7	8	N ₆₀ = 15	M.B.D 6,00				6,00		-6,00		
6,40														
7,00	K-1						80	80	80	7,00		-7,00		
8,00	K-2						67	53	53					
9,00														
10,00	K-3						83	90	47					
11,00														
12,00	K-4						73	73	60					
13,00														
14,00	K-5						87	87	83					
15,00														
15,00	K-6						60	60	57	15,00		-15,00		
16,00														
17,00														
18,00														
19,00														
20,00														
NOTLAR :										SONDAJ BİTİMİ		LOGU HAZIRLAYAN		
SONDÖR : C.TEKİN												D.A.L. KURAL Jeoloji Mühendisi		

Şekil 5.9. SK-7'ye ait kuyu logu.

Sk-7 sondajı; yüzeyden 6 m'ye kadar içerisinde yer yer siltli kilde bulunan dolgu malzemesi, 6 m-7 m arası katı çakıllı kil ve devamında kuyu sonuna kadar zayıf-orta sağlam ince tabakalı killi kireçtaşı saptanmıştır.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI										SONDAJ DERİNLİĞİ : 20.00 m		SONDAJ NO : SK - 8 1/1		
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI										ZEMİN KOTU : 56,20 m		KUYU ÇAPı : 76 mm		
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi										KOORDİNAT : N: E: UTM (WGS84)				
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)										Başlangıç Tarihi : 06/09/2013		Bitiş Tarihi : 06/09/2013		
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KÖT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00											DOLGU			
2,00														
3,00														
4,00														
5,00														
6,00						M.B.D 6,00				6,00		-6,00		
7,00	K-1							80	50	0	Sert, sarı-bej renkli KİL.	-7,00		
8,00	K-2							63	47	23				
9,00	K-3							33	30	27	Zayıf-orta sağlam, sarı-bej renkli, ince-orta tabakalı killi KİREÇTAŞI, orta ayrılmış.			
11,00	K-4							67	63	57				
12,00	K-5							47	40	40		-12,00		
13,00	K-6							67	67	60				
14,00	K-7							93	80	87	Zayıf-orta sağlam, mavi-gri renkli, ince-orta tabakalı killi KİREÇTAŞI (MARN), orta ayrılmış.			
15,00	K-8							100	97	97				
16,00	K-9							75	52	50				
17,00														
18,00														
19,00														
20,00										20,00		-20,00		
NOTLAR :										— SONDAJ BİTİMİ		LOGU HAZIRLAYAN		
SONDÖR : C.TEKİN												Jeoloji Mühendisi		

Şekil 5.10. SK-8'e ait kuyu logu.

Sk-8 sondajı; bu sondajda ise 6m'ye kadar dolgu malzemesi dolgu malzemesi, 7 m'ye kadar sert kil, 7 m ve 12 m arası zayıf-orta sağlam ince tabakalı ayrılmış killi kireçtaşı, 12 m'den kuyu sonuna kadar ise yine orta sağlam ince tabakalı az ayrılmış kireçtaşı olarak belirlenmiştir.

PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI						SONDAJ DERİNLİĞİ : 16.50 m		SONDAJ NO : SK - 9 1/1						
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI						ZEMİN KOTU : 47,50 m		KUYU ÇAPı : 76 mm						
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi						KOORDİNAT : N: E: UTM (PROSA)								
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)						Başlangıç Tarihi : 03/09/2013		Bitiş Tarihi : 03/09/2013						
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı				Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀									
1,00														
2,00														
3,00	SPT-1	4	3	3	N ₆₀ = 6									
4,00														
5,00	SPT-2	8	4	5	N ₆₀ = 9									
6,00														
7,00														
8,00	SPT-3	5	7	9	N ₆₀ = 16	M.B.D 6,00					6,00		-6,00	
9,00														
10,00	SPT-4	15	11	9	N ₆₀ = 20									
11,00	SPT-5	8	11	15	N ₆₀ = 28									
12,00														
13,00	SPT-6	13	21	50	N ₆₀ = 71 Refüsal			80	67	67				
14,00	K-1													
15,00	K-2							53	53	53				
16,00	K-3							67	63	40				
17,00														
18,00														
19,00														
20,00														
NOTLAR :											LOGU HAZIRLAYAN			
SONDÖR : C.TEKİN											D.ALİ KURAL Jeoloji Mühendisi			

Şekil 5.11. SK-9'a ait kuyu logu.

Sk-9 sondajı; yüzeyden başlayarak 6m'ye kadar dolgu, 6 m ile 10,5 m arası çok katı-sert çakıllı kil, 10,5 m sonrasında ise kuyu sonuna kadar orta sağlam ince tabakalı killi kireçtaşı bulunmuştur.

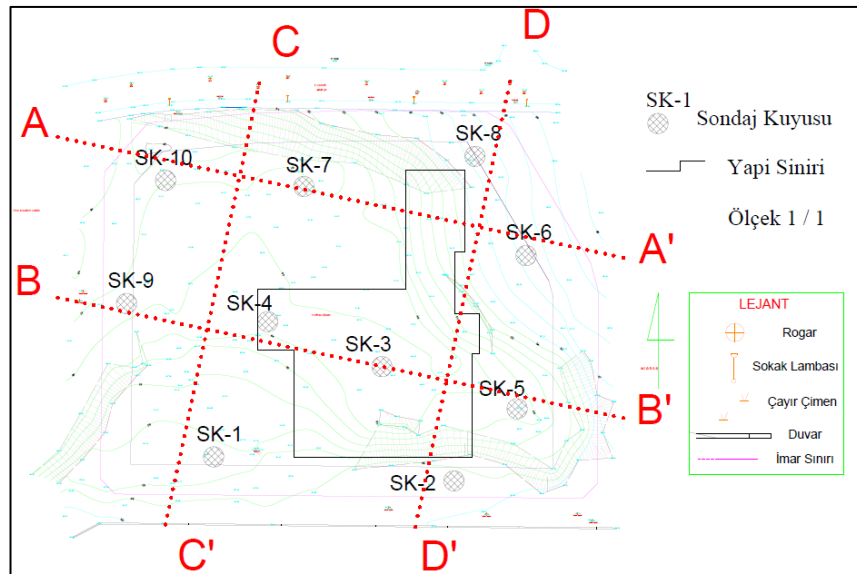
PROJE BİLGİLERİ : İ.E.M. KRİMİNAL LABORATUVARI							SONDAJ DERİNLİĞİ : 16.50 m		SONDAJ NO : SK - 10 1/1				
SONDAJ YERİ : İSTANBUL-HALKALI							ZEMİN KOTU : 46,90 m		KUYU ÇAPı : 76 mm				
EKİPMAN : SİMAK SMK-400 Hidrolik Sondaj Makinesi							KOORDİNAT : N: E: UTM (PROJE)						
SONDAJ YÖNTEMİ : Rotary (Çamurlu)							Başlangıç Tarihi : 03/09/2013		Bitiş Tarihi : 03/09/2013				
NUMUNE VE YERİNDE DENEYLER		SPT Darbe Sayısı			Muhafaza Derinliği (m)	Y.A.S.S (m)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Derinlik (m)	ZEMİN CİNSİ	KOT (m)	LEJAND
Derinlik (m)	Tip	15	15	15	N ₆₀								
1,00													
2,00													
3,00	SPT-1	2	3	2	N ₆₀ = 5								
4,00													
5,00													
6,00	SPT-2	11	14	15	N ₆₀ = 29	M.B.D 6,00							
7,00													
8,00	SPT-3	2	6	8	N ₆₀ = 14	Y.A.S.S 6,50							
9,00	SPT-4	4	5	5	N ₆₀ = 10					9,00	-9,00		
10,00													
11,00	SPT-5	7	8	8	N ₆₀ = 17								
12,00													
13,00	K-1						47	47	27				
14,00	K-2						73	57	40				
15,00													
16,00	K-3						20	20	17				
17,00													
18,00													
19,00													
20,00													
NOTLAR :											LOGU HAZIRLAYAN		
SONDÖR : C.TEKİN											D.ALİ KURAL Jeoloji Mühendisi		

Şekil 5.12. SK-10'a ait kuyu logu.

Sk-10 sondajı; bu son sondajda ise 9 m'ye kadar dolgu malzemesi, 9 m ile 12 m arası sert çakıllı kil, 12 m'den kuyu sonuna kadar ise orta sağlam ince tabakalı killi kireçtaşı tespit edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında arazide yapılan sondajları incelediğimizde çalışma sahası hakkında bilgiler edinmekteyiz. İnceleme alanında yüzeyden başlayarak ortalama 7-7,5 m'lere kadar, içerisinde silt-kil-çakıl bulunan dolgu malzemesi göze çarpmaktadır. Dolgu malzemesinin altında ise daha çok zemin özellikleri gösteren 12,5 m-15 m arasına kadar uzanan çok katı-sert ince çakıllı kil ve ince-orta tabakalı ayrıışmış kilaşı varlığını göstermektedir. Yapılan sondaj deneyleri neticesinde arazide bu anlatılan seviyelerin altında, arazinin kendi lokal yapısı içerisinde temel kaya özelliklerini gösterebilecek ince tabakalı az ayrıışmış kireçtaşı tespit edilerek bu genel yorumlara varılmıştır.

Aşağıda görülen sondaj lokasyon haritasında belirlenen kesitler (Şekil 5.13.) arazinin model yapısı için uygun görülmüş ve çalışma sahası için farklı açılardan litolojik kesitler elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.13. Çalışma sahası kullanılacak litolojik kesit doğrultuları.

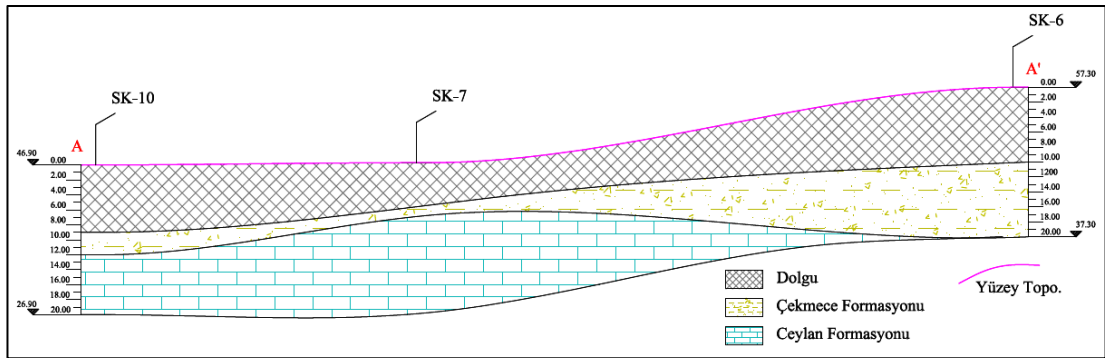
Bu doğrultuda sahadan toplam 4 adet kesit çıkarılmış ve değerlendirmelere ışık tutması amacıyla diğer jeofizik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sırasıyla A - A', B - B', C - C' ve D -D' kesitleri aşağıdaki gibidir.

Şekil 5.14.'de arazinin kuzey yönünde batı-doğu hattını temsil eden A-A' kesiti incelendiği vakit, üstte yüzey topografyasından başlayarak ortalama 7-7,5 m'lere

kadar içerisinde silt-çakıl bulunan genellikle kil oranı daha fazla yapay dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Genellikle çevrede alüvyon düzlüklerin doldurulması ve inşaat vb. imalatlar sırasında açığa çıkan kaynağı bilinmeyen dolgu malzemesi tüm sondaj kuyuları ve kesitlerde olduğu gibi 3-10 m arasında kendisini açığa çıkarmaktadır. Dolgular uzun zamanın vermiş olduğu etki ve düzensiz yapısı nedeniyle doğal zeminle iç içe girmiştir. İçerisindeki beton, tuğla, moloz vb. parçalar sayesinde ayıt edilebilmektedir.

Dolgu malzemesinin altında ise yaklaşık 7,5-8 m kalınlığında Çekmece Formasyonunun Güngören Üyesi'ne ait Üst Miyosen yaşlı sarı-haki-yeşil renkli katı çok katı sert, ince çakıllı kil bulunmaktadır. Güngören Üyesi, Ceylan Formasyonunu açsal uyumsuz, Gürpınar Üyesini ise açısız uyumsuzlukla üstlemektedir.

Kesitte en altta ise, yaklaşık deniz seviyesi kotu 34,90 m'dan itibaren ki bu yaklaşık 12 m derinliğine tekabül eden seviyeden sonra Ceylan Formasyonu'na ait kireçtaşı başlamaktadır. Ceylan Formasyonu'nun bu kireçtaşı örnekleri Üst Eosen-Alt/Orta Miyosen yaşlı olup mavi-gri-kül rengine sahiptirler. İçerisinde kil yoğunluğu bulunan bu kireçtaşları orta-sağlam, ince-orta tabakalı ve az ayrılmış nitliğe sahiptirler.

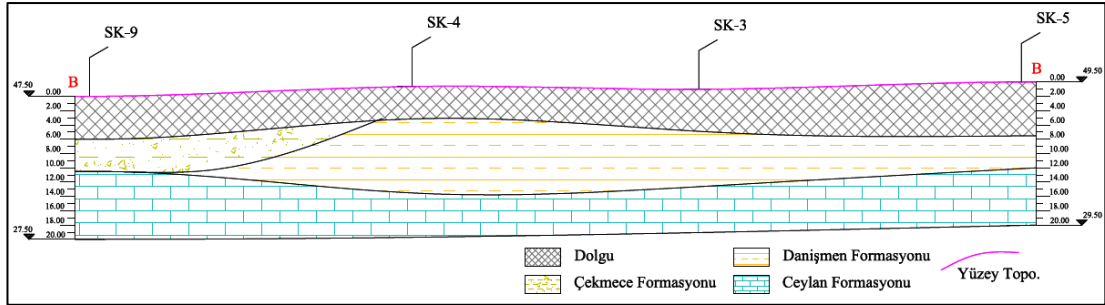


Şekil 5.14. A - A' doğrultusuna ait litolojik kesiti.

Arazinin güney kısmında batı-doğu doğrultulu kesitimiz olan B-B' (Şekil 5.15.) kesiti yüzey topografyasından başlayarak 6 m'ye kadar içerisinde silt-çakıl bulunan kil oranı yüksek dolgu biriminden oluştuğu görülmektedir. Bu kesitte Çekmece Formasyonu'nun Güngören Üyesi'ne ait olan kil ile Danişmen Formasyonu'nun

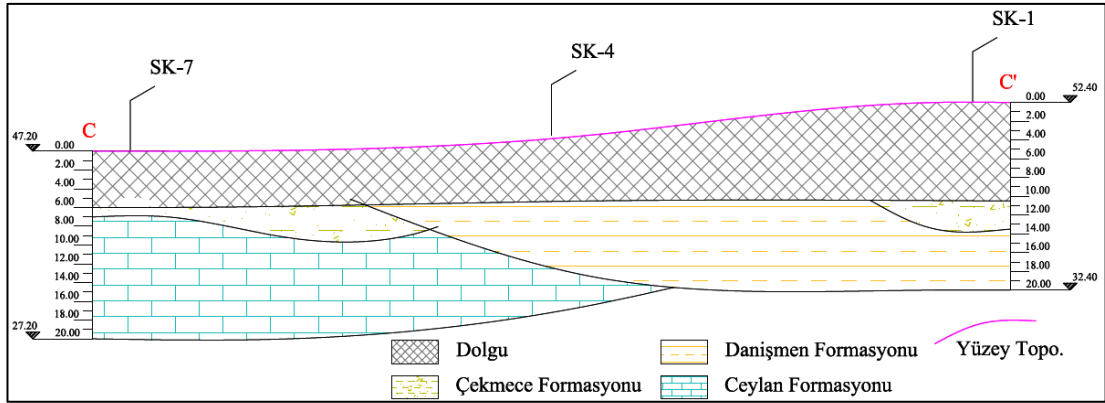
Gürpınar Üyesine ait olan kiltası, yanal olarak yüzeylenmekte ve SK-9 ile SK-4 arasında görülmektedir.

Dolgunun altında bulunan bu iki birim yaklaşık 7-8 m kalınlığına sahiptir. Gürpınar Üyesi'nin özelliklerinden bahsedecek olursak; sarı-yeşil-haki renklidir ve Orta Oligosen- Erken Miyosen yaşlıdır. Zayıf dayanıma sahiptir ve ince tabakalı, ayrıışmış özelliktedir. Deniz seviyesinden 32,50 m kotundan itibaren (~14 m) temel kaya olarak nitelendirdiğimiz Ceylan Formasyonu'nun kireçtaşı seviyeleriyle kesitimiz devam etmektedir.



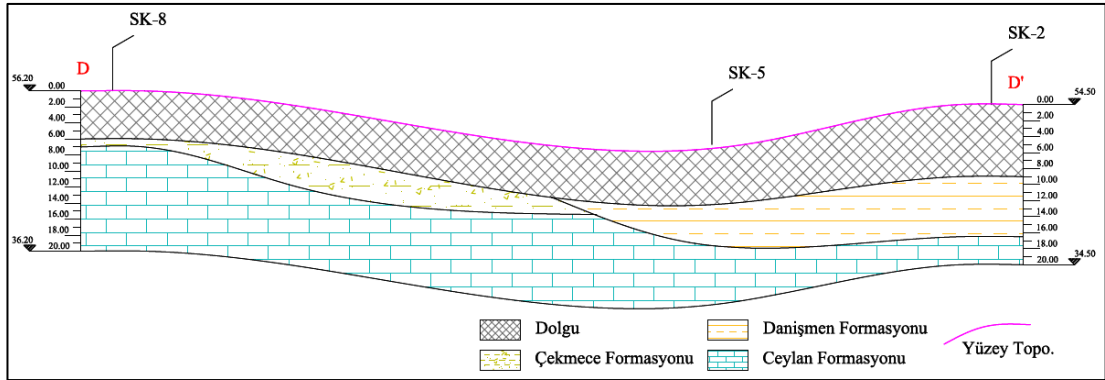
Şekil 5.15. B - B' doğrultusuna ait litolojik kesiti.

Arazinin batı kısmında kalan kuzey-güney doğrultulu C-C' kesitinin (Şekil 5.16.) yüzey topografyasından başlayarak 6-7 m'lere kadar olan bölümü, içinde silt-çakıl bulunduran kil oranı yüksek dolgu biriminden oluşmaktadır. Bu birimin altında kalınlığı daha az olan (2,5-3 m) Çekmece Formasyonu'nun Güngören Üyesi'ne ait kil ile kalınlığı daha fazla olan (10 m.) Danişmen Formasyonu'nun Gürpınar Üyesi kiltası birbirlerine göre yanal olarak konumlanmaktadır. Temel kaya olan Ceylan Formasyonu'nun kireçtaşı, deniz seviyesi kotu ise 36,20 m (~11 m)'den başlayarak derinlere doğru devam etmektedir. Şekil 5.16.'da da görüldüğü gibi kireçtaşı seviyeleri, kesitin batı kısmında (C) net ve belirgin şekilde gözükmemektedir. Fakat topografyanın yükseldiği doğu kısmına (C') doğru sondaj kuyusunda tespit edilmemiştir. Doğru kısmı kiltası seviyeleri ile son bulmuştur, lakin topografyanın etkisi nedeniyle olduğu düşünülen bu durumun, eğer kuyu derinliği devam ettirilmiş olsaydı daha derinlerde kireçtaşı seviyeleri ile karşılaşılacağı olasılığı düşünülmektedir.



Şekil 5.16. C - C' doğrultusuna ait litolojik kesit.

Son kesit olan D-D' kesiti arazinin doğu kısmında kuzey-güney doğrultuludur. Bu kesitte de diğer kesitlerde olduğu gibi yüzey topografyasından itibaren silt-çakıl muhtevalı kil oranı yüksek dolgu birimi yaklaşık 6 m. kalınlığıyla Şekil 5.17.'de görülmektedir. B-B' ve C-C' kesitlerinde benzer şekilde karşımıza çıkan kil ve kiltaşının yanal durumu bu kesitte de mevcuttur. Güngören Üyesi ile Gürpınar Üyesi'nin bu durumu yaklaşık 4-5 m kalınlığa sahiptir. Altında temel kaya olarak tanımladığımız Ceylan Formasyonu'nun kireçtaşı seviyeleri deniz seviyesinden yaklaşık 42,20 m kotundan başlayarak derinlere doğru devam etmektedir.



Şekil 5.17. D - D' doğrultusuna ait litolojik kesit.

5.2. Çoklu Elektrot Sisteminde Dipol – Dipol Çalışması

Çalışma alanı içerisinde öz dirence bağlı değişimleri modellemek amacıyla iki profil boyunca öz direnç ölçüleri alınmıştır. Ölçümler sırasında detay bilgi edinebilmek için

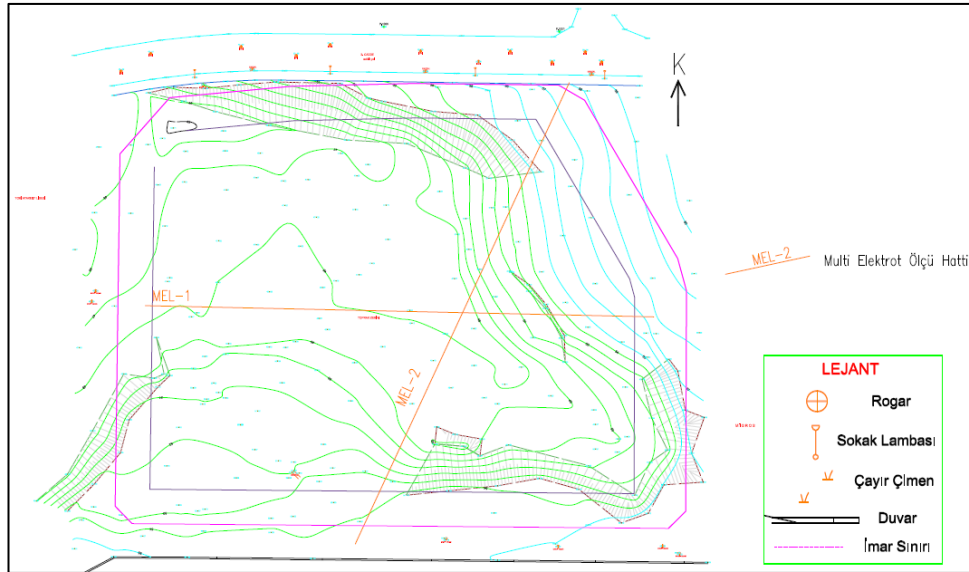
60 elektrottan oluşan düzenek yardımıyla çoklu elektrot profilleri boyunca dipol-dipol dizilim tekniği uygulanmıştır. Bu ölçüler sayesinde arazi sınırları içerisinde hatlar altına denk gelen doğrular boyunca derinlere doğru oldukça detaylı kesitler çıkarılabilmektedir (Şekil 5.18.).



Şekil 5.18. Çoklu elektrot sistemi ölçüm takımı (www.guidelinegeo.com/abem-mala).

Ölçülerin alınması sırasında ABEM markasının SAS 1000 modeli olan öz direnç ölçü cihazı kullanılmıştır. Cihaz tek kanallıdır ve gerektiğinde yardımcı kartlar sayesinde 4 kanala kadar çıkarılabilmektedir. Elektrot ayırıcı olarak ise 60 yol ayırabilen ABEM Lund ayırıcı kullanılmıştır. Elektrot özelliği olarak da 40 cm uzunluğunda ve 12 mm çapında özel bakır alaşımlı çelik elektrotlardan yararlanılmıştır. Cihazın çalışması ve yere göndereceği akımı elde etmek amacıyla 45 amper 12 V değerlerine sahip kuru tip akü, kablo olarak da 5,00 m elektrot açıklığı uzunluğunda, her birinde 21 istasyon bulunan 4 x 100 m uzunluğuna sahip kablolar kullanılmıştır.

Çalışma sahasında, arazinin genelini yansıtabilmesi amacıyla uygun sayıda ölçü ve lokasyonlar tercih edilerek 60 adet elektrot kullanılmıştır, 2,5 m elektrot aralığı ile çalışılmış ve toplam uzunluğu 147,5 m olan iki adet hat oluşturulmuştur. Arazideki ölçü planı ve gps yardımıyla elde edilen hatların koordinatları Şekil 5.19'da ve Tablo 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.19. Çalışma sahası çoklu elektrot sistemi vaziyet planı.

Tablo 5.2. Çoklu elektrot hatlarının başlangıç ve bitiş koordinatları.

Serim No.	Koordinatlar	
	Hat başlangıç	Hat sonu
MEL-1	397342 – 4547628	397489 – 4547625
MEL-2	397402 – 4547559	397465 – 4547693

Çoklu elektrot hatlarında elektrotların kaydırma aralığı 2,5 m olarak seçilmiş, etki derinliği "n" altıncı seviye olarak belirlenmiştir ve bu amaçla yaklaşık 20 m derinliğine kadar penetrasyon hedeflenmiştir. Çözüm aşamasında, SAS 1000 model cihazımızın içerisinde "txt" formatında alınan dataları önce "sheet" dosyasına dönüştürmüş ve bu dosya yardımıyla excel formatı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu datalar yardımcı filtre yazılımları ile filtre edilmiş ve ters çözüm işlemlerine tabi tutularak elde edilen sonuçlar Surfer programı yardımıyla kesitler haline getirilmiştir.

Başlangıçta 147,5 m. uzunluğundaki hatların araziden 663 noktada alınan dataların ham işlenmemiş durumları aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'de 1 no'lu ve 2 no'lu çoklu elektrot hatlarına ait ham data tablosu verilmiştir.

Tablo 5.3. MEL - 1 hattına ait ham data tablosu.

No.	Zaman	A(x)	B(x)	M(x)	N(x)	I(mA)	Volt(V)	Görünür Özdirenç(ohmm)
1	373	0	17,5	70	52,5	100	0,000753	9,931606
2	383	0	10	60	50	100	0,000302	11,369451
3	394	0	25	75	50	100	0,002338	11,019214
4	404	0	22,5	67,5	45	100	0,002495	10,581194
5	415	0	15	60	45	100	0,000866	9,796153
6	426	0	10	50	40	100	0,000516	9,722119
7	436	0	20	60	40	100	0,002646	9,976360
8	447	0	12,5	50	37,5	100	0,000957	9,019860
9	457	0	17,5	52,5	35	100	0,002584	8,524767
10	469	0	12,5	37,5	25	100	0,003766	8,872564
.
.
.
662	7263	137,5	140	145	142,5	100	0,072081	33,967483
663	7273	140	142,5	147,5	145	100	0,173494	81,756944

MEL-1 ölçü hattında yukarıda ki tabloda da görüldüğü gibi yere verilen akım sabit tutulmuş olup 100 mA olarak belirlenmiştir. Ölçü tablosu kabaca incelendiğinde elde edilen görünür özdirenç değerlerinin minimum 0,84 ohm.m maksimum 862,52 ohm.m değerleri arasında değiştiği ve ortalama ~18,50 ohm.m değerine sahip olduğu ilk incelemelerde göze çarpmaktadır.

Tablo 5.4. MEL - 2 hattına ait ham data tablosu.

No.	Zaman	A(x)	B(x)	M(x)	N(x)	I(mA)	Volt(V)	Görünür Özdirenç(ohmm)
1	573	0	17,5	70	52,5	100	0,000757	9,987430
2	584	0	10	60	50	100	0,000235	8,860364
3	594	0	25	75	50	100	0,002049	9,654273
4	604	0	22,5	67,5	45	100	0,002181	9,249909
5	614	0	15	60	45	100	0,001297	14,668163
6	625	0	10	50	40	100	0,000141	2,654300
7	635	0	20	60	40	100	0,002053	7,738416
8	646	0	12,5	50	37,5	100	0,001855	17,4832700
9	657	0	17,5	52,5	35	100	0,002609	8,6055860
10	668	0	12,5	37,5	25	100	0,005769	13,5918320
.
.
.
662	8030	137,5	140	145	142,5	100	0,045366	21,377988
663	8040	140	142,5	147,5	145	100	0,021255	10,016136

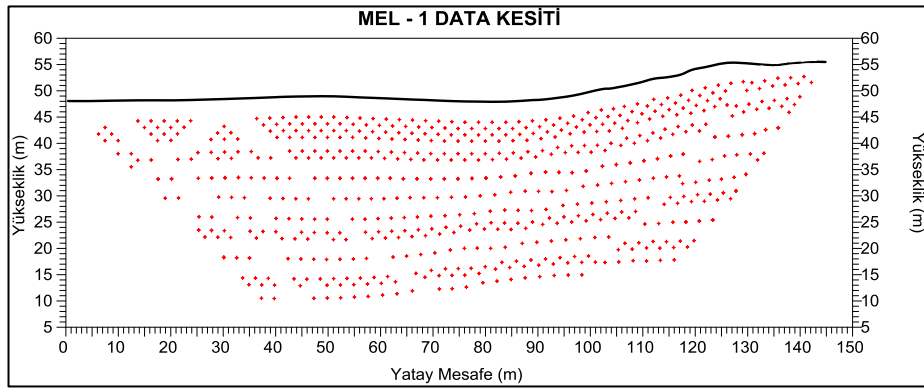
$$Hip = \sqrt{2} \times \text{Elektrot uzaklığı (m)}/2 \quad (5.2)$$

$$\alpha' = 90^\circ - (45^\circ + \alpha) \quad (5.3)$$

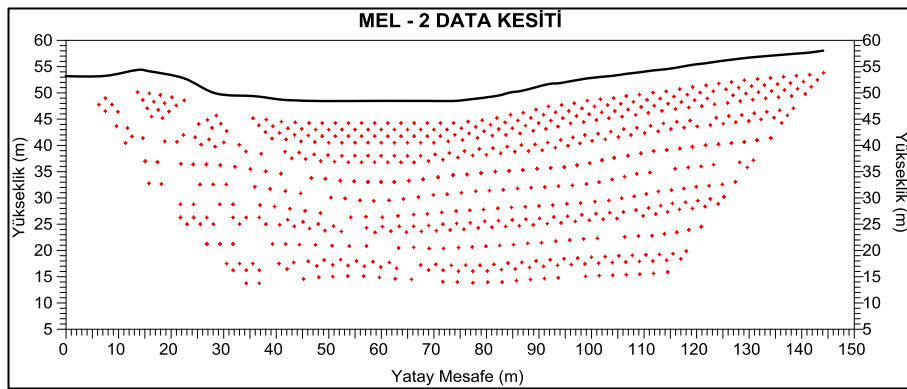
$$\sin \alpha' = \text{Grç } X \text{ (m)}/Hip \text{ (m)} \quad \text{Grç } X \text{ (m)} = \sin \alpha' / Hip \text{ (m)} \quad (5.4)$$

$$\cos \alpha' = \text{Grç } Y \text{ (m)}/Hip \text{ (m)} \quad \text{Grç } Y \text{ (m)} = \cos \alpha' / Hip \text{ (m)} \quad (5.5)$$

elde edilir. Bu minvalde her iki hatta ait elektrotların, mevcut arazide kot okumaları yapılarak işlenen dataların derinlik-özdirenç değişimleri hesaplanmış ve gerçek yerleri Şekil 5.21. ve Şekil 5.22. kesitlerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.21. MEL-1 hattı topografya düzeltmesi yapılmış dataların gerçek derinlik kesitleri.

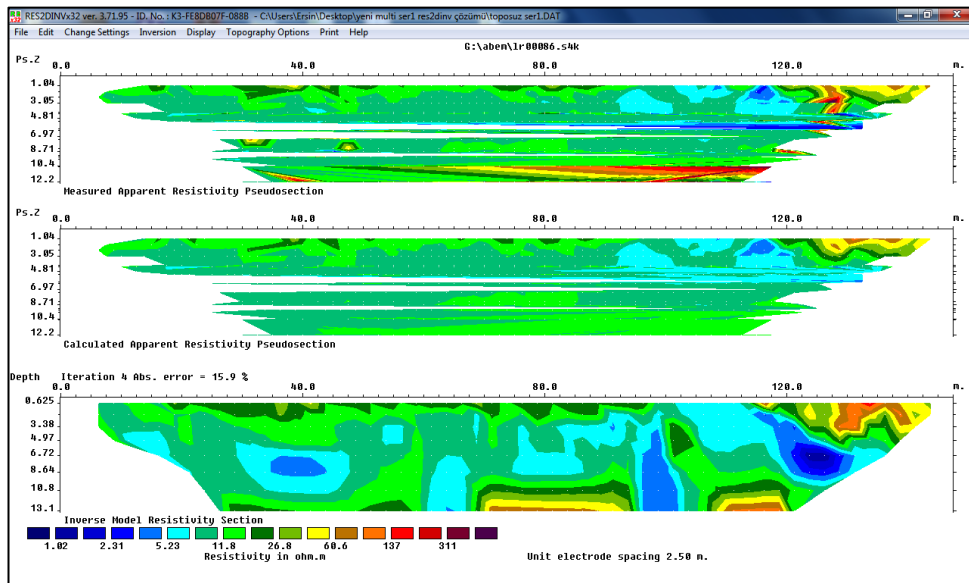


Şekil 5.22. MEL-2 hattı topografya düzeltmesi yapılmış dataların gerçek derinlik kesitleri.

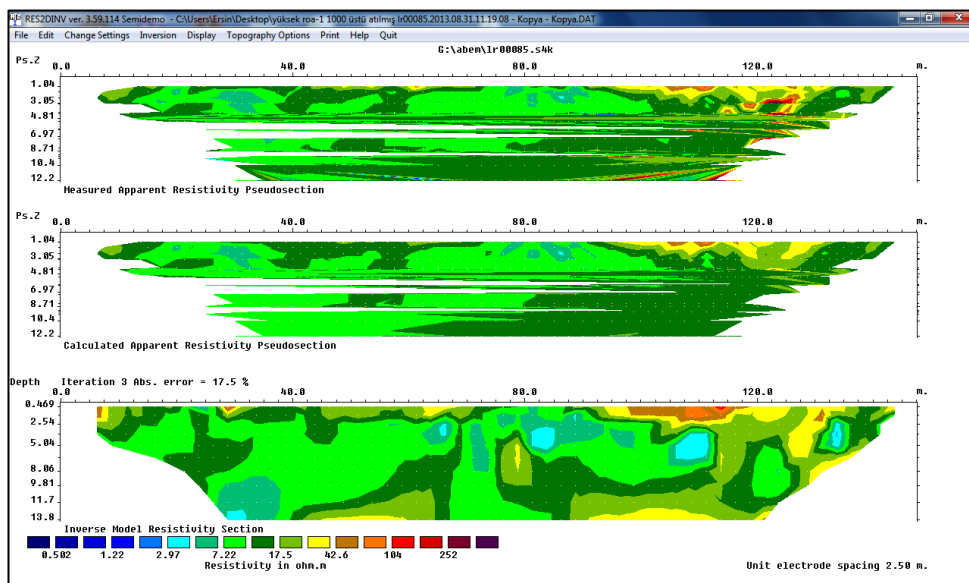
Topografya düzeltmesi yapılmış olan şekildeki datalar yer altı modelleri geometrisine uygun yerleştirilerek iki boyutlu yükseklik (kot) yatay mesafe kesitleri

oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kesitlerin görünür öz direnç değerleri hesaplanarak herhangi bir işleme tabii tutulmadan doğal data işlemesine devam edilmiştir.

ABEM SAS 1000 multielektrot cihazından alınan serimlerin “DAT” dosyalarına gerekli düzeltme ve düzenlemeler yapıldıktan sonra Res2Dinv programı aracılığıyla birlikte çözüm işlemine geçilmiştir. Topografya değerleri sonradan girilecek olan serimlere ait ilk çözümler Şekil 5.23. ve Şekil 5.24’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.23 MEL-1 hattı ölçülen, hesaplanan ve ters çözüm uygulaması yapılmış öz direnç kesitleri



Şekil 5.24. MEL-2 hattı ölçülen, hesaplanan ve ters çözüm uygulaması yapılmış öz direnç kesitleri

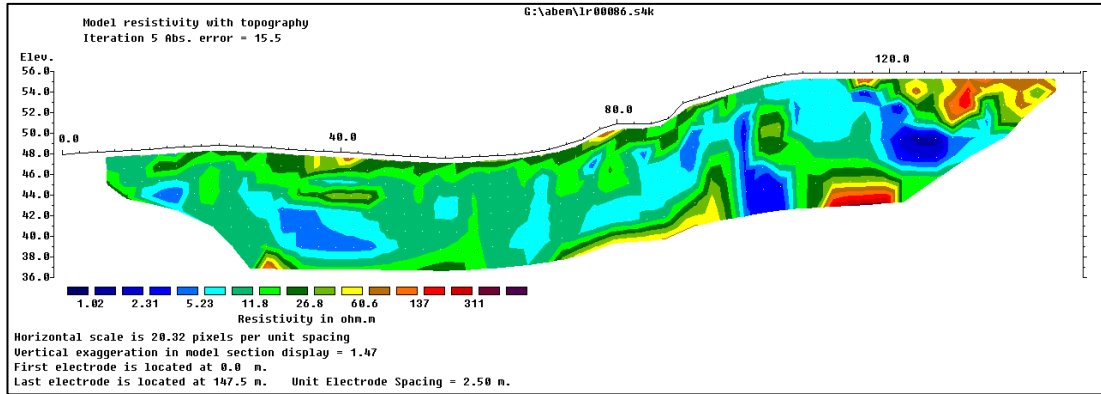
Elde edilen görüntülerde ilk önce karşımıza çıkan farklılık derinlik olmuştur. Çalışmanın başında 20 m olarak hedeflenen nüfuz derinliği çözümler sonrası yaklaşık 14 m olarak bulunmuştur. Bunda çevresel ve mevsimsel etkilerle birlikte arazinin yapısı da etkili bir faktördür.

Gerçek özdirenç değerleri MEL-1 hattında en düşük 1,02 ohm.m, en yüksek değer 311 ohm.m olarak bulunmuştur. MEL-2 hattında ise bu değerler 0,5 - 252 ohm.m aralığında değişmektedir.

Özdirenç kesitlerine topografik değerler girildikten sonra iterasyon işlemi 5'e kadar devam ettirilmiştir. 5'in üzerinde iterasyona gerek görülmemiştir. Bunun nedeni gerçek veriden uzaklaşıp model verisine gereğinden fazla yaklaşıcağı düşünülerek nihai kesitlere bu aşamada karar verilmiştir.

Şekil 5.25.'de MEL-1 hattı nihai kesiti incelendiğinde, yüzeyden 45,00 m kotuna kadar olan kısım koyu yeşil-açık yeşil renk hattı içerisinde kil oranı yüksek dolgu malzemesini göstermektedir. Bu birimin özdirenç değerleri 10-30 ohm.m aralığındadır. Kil oranı, bu değerlerin aşağı çekilmesini sağlamıştır. Yatay ekseninde yaklaşık 110'ncu metrelerden sonra yüksek kapanımlarla görünen sarı-kahverengi-turuncu bölgeler ise boşluklu yapısından ötürü yüksek özdirenç değerleri vermiştir. Yine yatay ekseninde 120'nci metrenin altına gelen mavi renkli düşük özdirençli bölge, mevsimsel yağışlar nedeniyle boşluklu yapıdan süzülen su belirtilerine ait izlerdir.

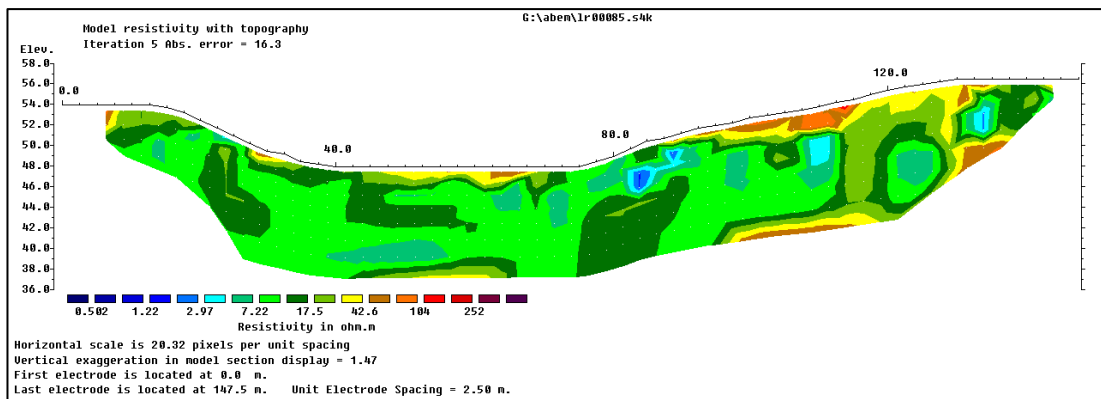
Yatay ekseninde yaklaşık 80 ve 120'nci metrelerde, 38,00 m ve 42,00 m kotlarında sarı-kahverengi-turuncu-kırmızı renkli, yüksek özdirenç kapanımları görülmektedir. Bu kapanımlarında Üst Eosen-Alt/Orta Miyosen yaşlı Ceylan Formasyonu'na ait kireçtaşları olduğu düşünülmektedir. Kesitlerimizde daha derin noktalardan veriler elde edebilseydi Ceylan Formasyonu'nun kireçtaşlarını daha net görülebilirdi. Bu iki birim arasında kalan orta bölge ise Orta Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Danişmen Formasyonu'nun Gürpınar Üyesi'ne ait kilaşları ile Üst Miyosen yaşlı Çekmece Formasyonu'nun Güngören Üyesi'nin killerinden oluşmuştur.



Şekil 5.25. MEL-1 hattı topografya değerleri girilmiş nihai özdirenç kesiti

Şekil 5.26.'da MEL-2 hattı nihai kesitindeki sonuçlara bakacak olursak, yüzeyden koyu yeşil bölgeye kadar olan kısım kil oranı yüksek dolgu malzemesidir. Bu hattaki dolgu özellikleri MEL-1 hattına benzemektedir. Ceylan Formasyonu'nun kireçtaşı seviyeleri yine bu serimde de fazla belirgin olmasa da yatay ekseninde 40 m ve 80 m arası ile 80 m ve 120 m arasında en alt seviyelerde sarı-kahverengi-turuncu renklerle ve yüksek özdirenç değerleriyle ayırt edilebilmektedir.

Bu iki birim arasında kalan bölge, kesitte de açık yeşil-koyu yeşil renkli seviyelerdir ve Gürpınar Üyesinin kiltaşları ile Güngören Üyesinin killeri ifade etmektedir.



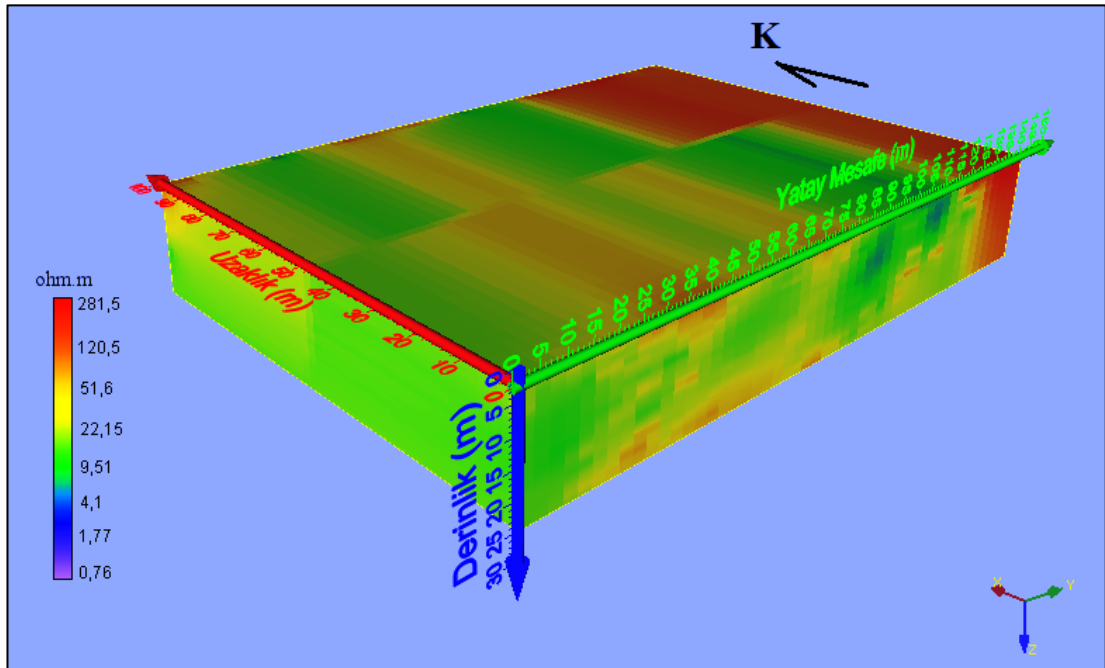
Şekil 5.26. MEL-2 hattı topografya değerleri girilmiş nihai özdirenç kesiti

Her iki kesit birlikte değerlendirildiğinde arazinin boşluklu yapısı özdirenç değerlerinin dolgu seviyelerinde yüksek çıkmasına neden olmuştur. Yine dolgu içerisindeki yüksek kil oranı bu birimin özdirenç değerlerinde farklılığa neden

olmuştur. Arazinin boşluklu yapısı ve bahar aylarında alınan ölçülere mevsimsel yağışlar etki etmiştir. Yüzeiden daha derinlerde karşımıza çıkan ve ufak kapanımlarla görünen düşük öz dirençli değerler, geçirimsiz özelliği olan kil-kiltaşı seviyelerinin üzerinde bulunan su birikintisi izleridir.

Yüzeiden topografik yapı içerisinde görünen dere yatakları öz direnç kesitlerimizde de fark edilmektedir. Mevcut dere yatağının derinlerdeki izleri kesitlerimizde işaretlenmiştir. Bu dere yatakları zamanla dolduğu için yüzey etkileri topografik yapı içinde rahatlıkla görülmektedir.

İki boyutlu kesitler daha önce elde edilen sondaj kesitleri ile de benzerlik taşımakta ve uyum sağlamaktadır. Elde edilen iki boyutlu kesitler arazi nokta-elektrot koordinatları kullanılarak ve araziyi dikdörtgenler prizması olarak kabul ederek, üç boyutlu hale getirildiğinde karşımıza Şekil 5.27’de görülen grafik çıkmaktadır. Mevcut dere yatağının içerisindeki su izleri grafikten de teyit edilebilmektedir



Şekil 5.27. Çalışma sahasının birleştirilmiş üç boyutlu öz direnç-derinlik grafiği

5.3. Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Çözümleri

Cisim dalgaları ile yapılan çalışmalara nazaran yüzey dalgalarında saha parametrelerini belirlemek daha basittir. Bunda enerjilerinin büyüklüğü etkindir. Kaynaktan çıkan yüzey dalgaları belirli bir uzaklıktan sonra düzlem dalgalarına dönüşür. Bahsedilen uzaklık dalga boyuyla ilintilidir. Kaynak ile alıcılar arası uzaklık ayarlanırken elde edilmek istenilen en uzun dalga boyunun yarısından az olmayacak şekilde olmasına önem gösterilir. Dalga boyu bilindiği gibi araştırma derinliğinin ortaya çıkmasında etkindir. (Park ve ark., 1999)'na göre elde edilmek istenen derinlik en uzun dalga boyunun yarısıdır. Yüzey dalgalarında yüksek frekanslar kaynaktan uzaklaştıkça atenuasyon olmaktadır. Bu durum cisim dalgaları için tam tersi yavaştır. Sonuç olarak yüksek modlar ve cisim dalgaları elde edilmek istenen temel modu gölgeler. Yani uzaklığın artması demek yüksek modların temel moda baskın olması sonucunu doğurur (Park ve ark., 1999; Yiğiter, 2008).

Çok kanallı yüzey dalgalarının analizi yönteminde aktif kaynak ile çalışırken kaynağın enerjisi önem arz etmektedir. Düşük frekansların çözünürlüğünü arttırmak için kaynağın enerjisini yukarı çekmek gerekir. Bu da çalışmada ki maliyet hesaplarının tekrar gözden geçirilmesi anlamına gelmektedir.

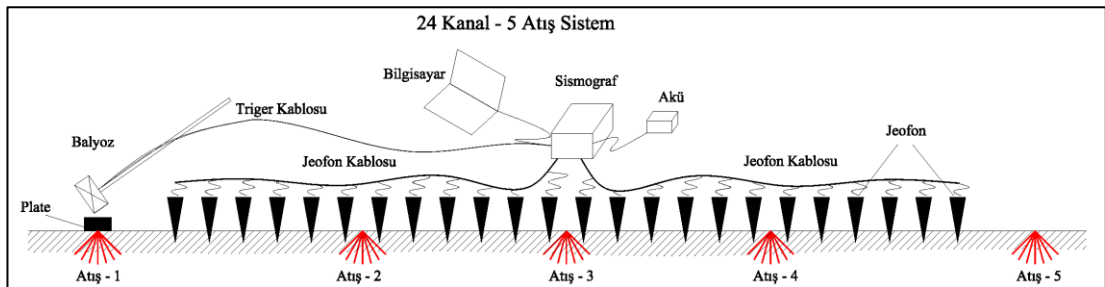
5.3.1. Çok kanallı yüzey dalgası analizi arazi uygulamaları

İnceleme sahasında sismik ölçümler yapılan değerlendirmeler sonucunda arazinin tümünü yansıtmaya amacıyla 5 profil olarak belirlenmiştir. Profiller arazinin uygun yerlerine dağıtılmış ve hedeflenen kayıtları toplamak için çalışmalara başlanmıştır. Çalışmanın sismik vaziyet planı ve ölçü koordinatları Şekil 5.28. ve Tablo 5.5.'de verildiği gibidir.



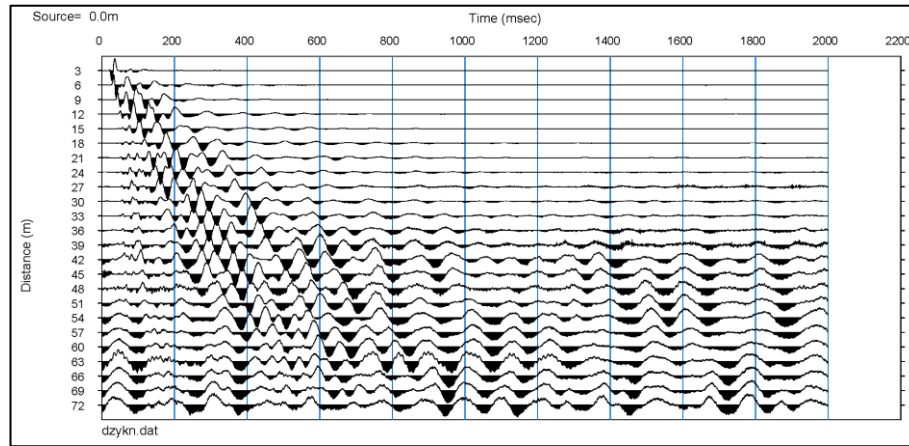
Şekil 5.29. Sismik kayıt ekipmanları (www.seismicsource.com).

Sismik ölçülerin alınması sırasında oldukça küçük frekanslarında tespit edilmesi için 4,5 Hz'lik düşey jeofonlar kullanılmıştır. Düşük frekanslı dalgaların daha derinden bize bilgi aktardığı düşünüldüğünde düşük frekanslı alıcılarla çalışılması uygun olacaktır. Ölçülerimizde örnekleme aralığı 0,25 msn olup kayıt uzunluğu ise 2 sn'dir. Aktif enerji kaynağı kullanılan sistemimizde 3,00 m grup aralığı ve 3,00 m ofset mesafesi kullanılmıştır. Toplamda 24 kanallı çalışılan sistemde 69,00 m grup mesafesi ve 72,00 m sistem mesafesi oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem içerisinde 3 m mesafeli ofset uzaklıklarından düz ve ters atışlar yapılmasının yanı sıra ayrıca 6-7, 12-13 ve 18-19 no'lu jeofonların aralarına girilerek bu noktalardan da atışlar yapılmıştır (Şekil 5.30.). Böylece her bir sistem için 5 atış yapılarak steak sayısı 2'de tutulmuştur. Bu sayede derinlik tespitinde üst taraflardan data alınmakta güçlük çekilen noktalardan da bilgi aktarımı yapılarak daha aydınlatıcı bir çalışma elde edilmeye olanak sağlanmıştır.

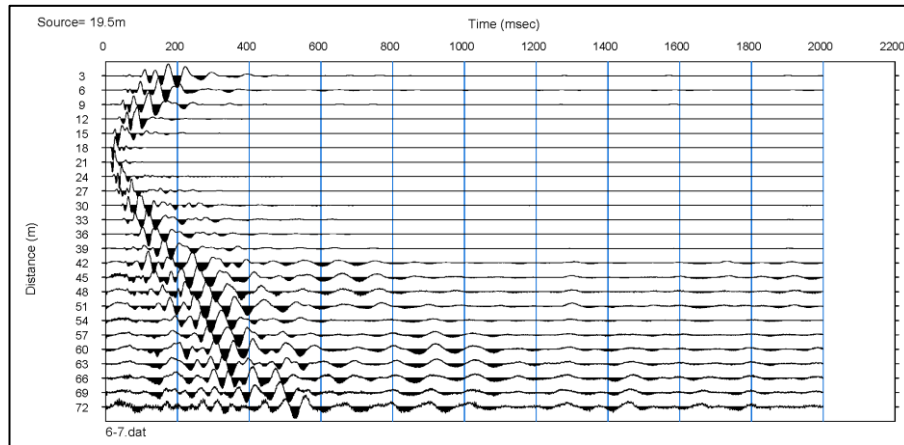


Şekil 5.30. Sismik hatlara ait ölçüm geometrisi.

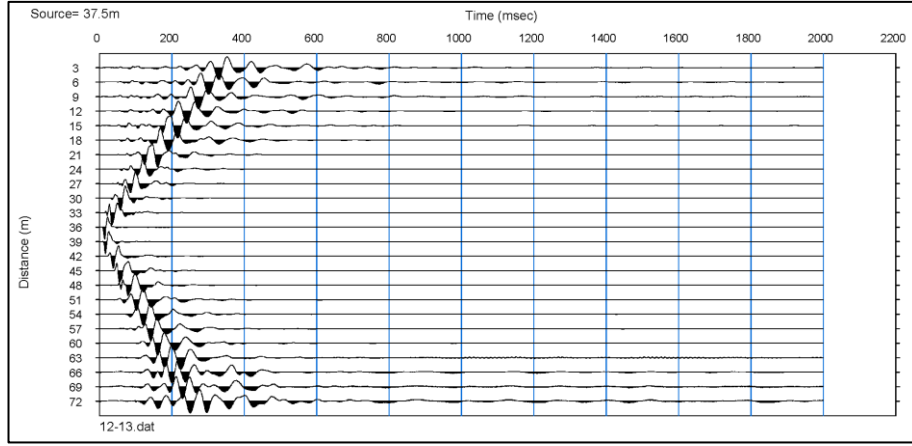
Bu şekilde 5 adet profilden elde edilen veriler daha sonrasında, SeisImager Pickwin ve Surfacewaves Analysis programları yardımıyla değerlendirilerek her bir noktaya ait dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen dipersiyon eğrilerine ters çözüm işlemi uygulanarak verilere ait S dalgı hızlarına ulaşılmıştır. Burada belirtmemiz gereken bir diğer husus ise 5 adet serimde, yukardaki Şekil 5.30'da da görüldüğü gibi her bir serimden 5 atış olacak şekilde toplam 25 noktada sahadan MASW kayıtları alınmıştır. Her birinin işlem aşamalarının uzunluğu nedeniyle çözüm aşamasını anlatırken sonucu yansıması açısından sadece bir profilin değerlendirme kısımları burada anlatılmıştır, devamında bu 25 noktanın birleştirilmesiyle oluşturulan hedefimiz olan tüm sahanın derinlik-hız kesitleri elde edilmiştir. Şekil 5.31., Şekil 5.32., Şekil 5.33., Şekil 5.34. ve Şekil 5.35.'de de Js-2 hattının düz, ters ve ara atışları sonucu elde edilen sismik kayıtlar gösterilmiştir.



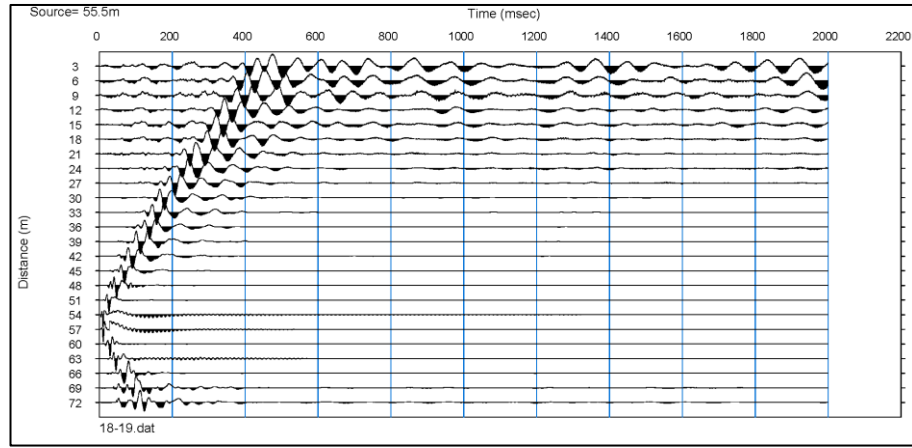
Şekil 5.31. Js-2 hattı düz atışının sismik kaydı.



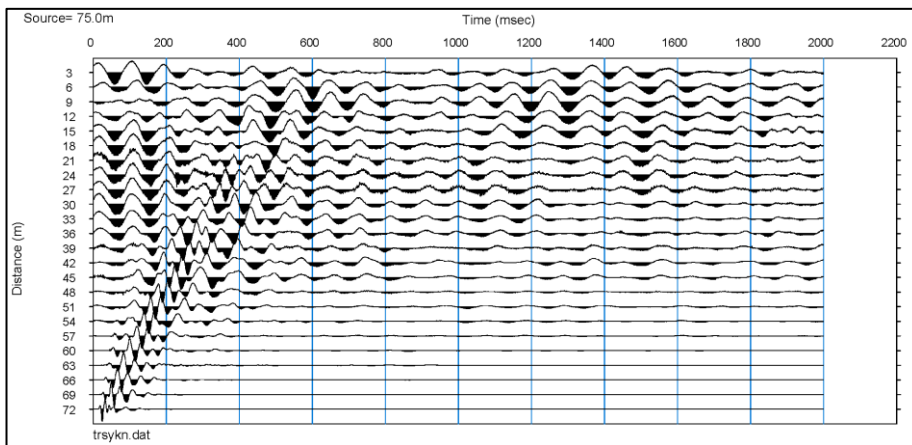
Şekil 5.32. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atışın sismik kaydı.



Şekil 5.33. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atışın sismik kaydı.



Şekil 5.34. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atışın sismik kaydı.

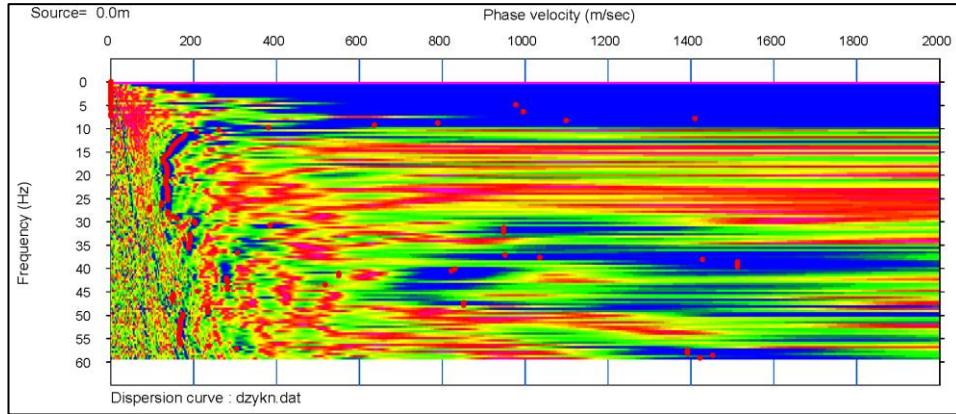


Şekil 5.35. Js-2 hattı ters atışın sismik kaydı.

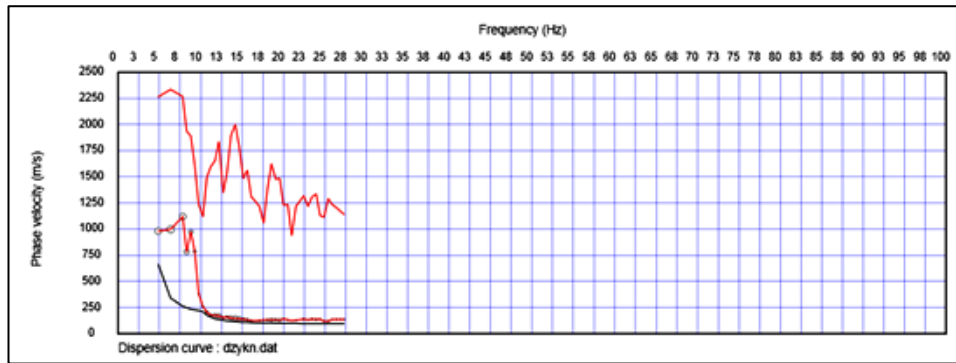
Bu şekilde 5 profile ait her atışın sismik kayıtları elde edilmiş ve ekte sunulmuştur.

5.3.1.1. Dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi

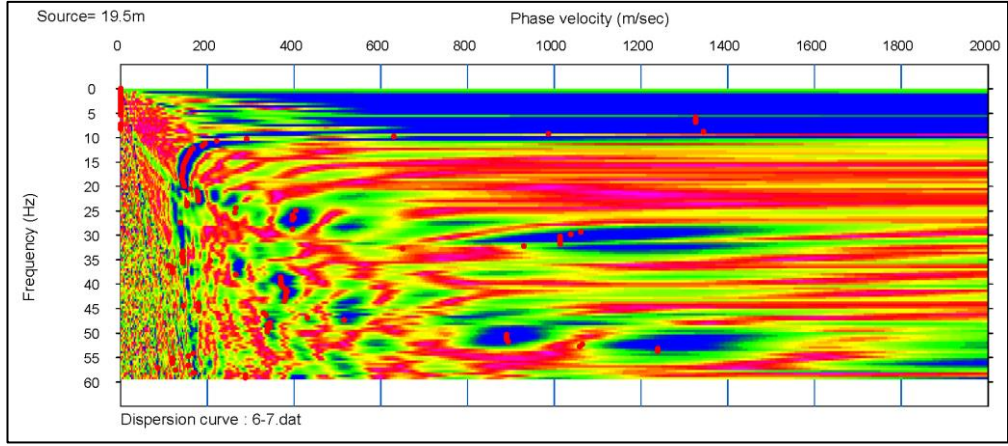
Arazi içerisinde toplam 5 profilde 25 atış kaydı elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler nokta bazındadır yani bir başka deyişle bir boyutlu çözüm aşamasındadır. Bu noktada verilerin çözüm aşamasında Pickwin-Surfacewaves Analysis programı kullanılarak dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Faz hızının frekansa bağlı olarak değişimini ifade eden dispersiyon eğrileri nokta bazında bir boyutlu olarak ortamın derinlik parametrelerini hesaplamamıza yardımcı olmuştur. Yüzey dalgası yönteminde elde edilen dispersiyon eğrilerinin ters çözümünden sismik ortamların S dalga hızlarının modellenmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.36., Şekil 5.38., Şekil 5.40., Şekil 5.42. ve Şekil 5.44.'de Js-2 hattının düz, ters ve ara atışlarından elde edilen frekansa bağlı faz hızı grafikleri elde edilmiştir. Şekil 5.37., Şekil 5.39., Şekil 5.41., Şekil 5.43 ve Şekil 5.45.'de ise elde edilen dispersiyon eğrilerinin iterasyon edilmiş grafikleri görülmektedir.



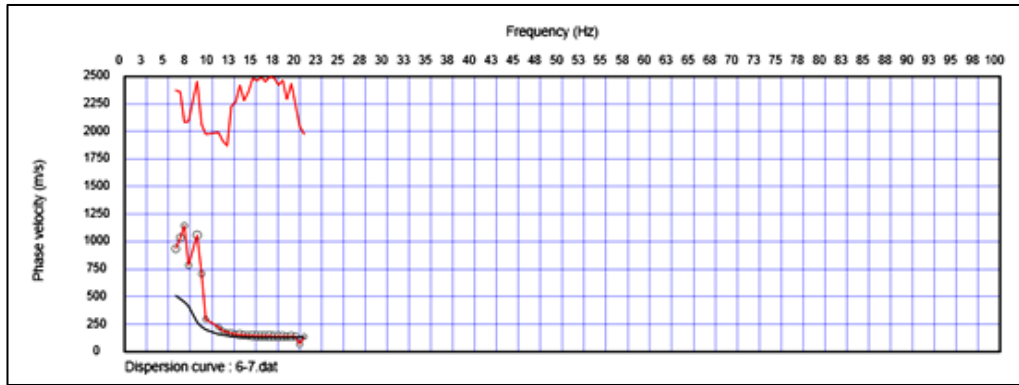
Şekil 5.36. Js-2 hattı düz atış kaydının faz hızı-frekans dönüşümü.



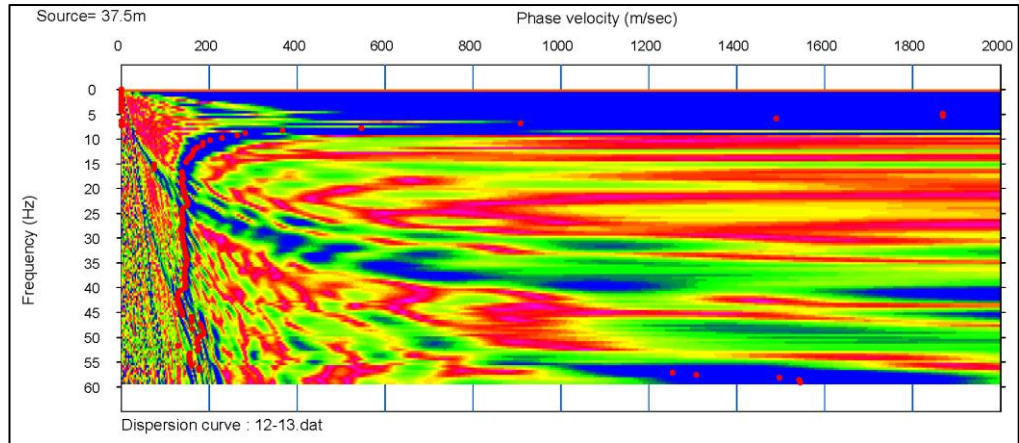
Şekil 5.37. Js-2 hattı düz atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi.



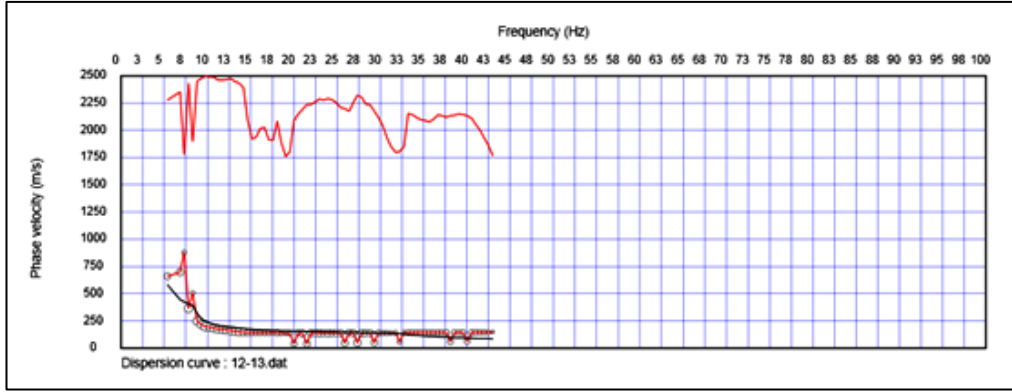
Şekil 5.38. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış kaydının faz-hızı- frekans dönüşümü.



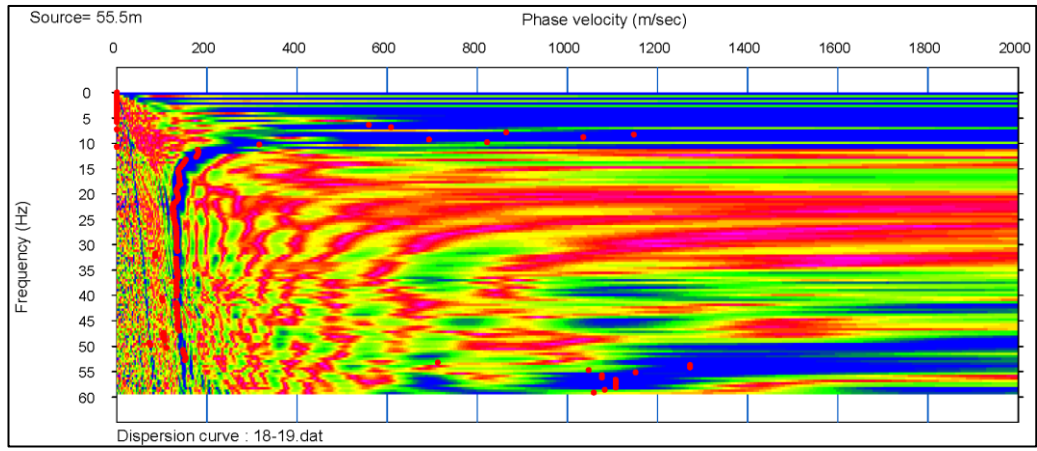
Şekil 5.39. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi.



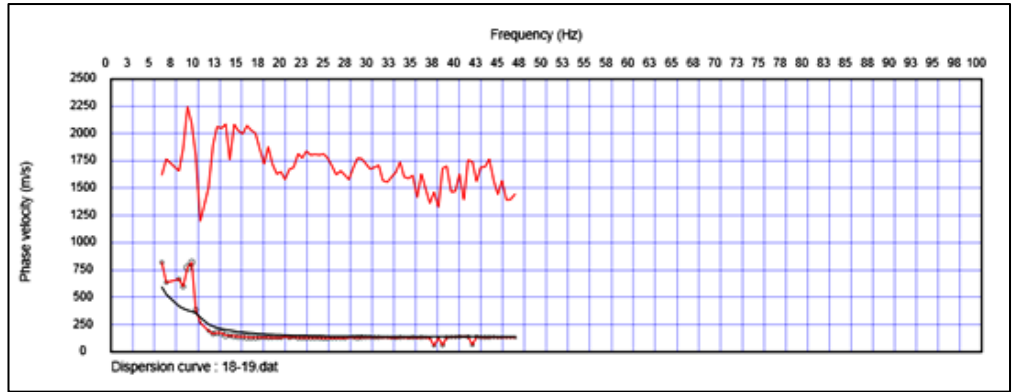
Şekil 5.40. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış kaydının faz-hızı frekans dönüşümü.



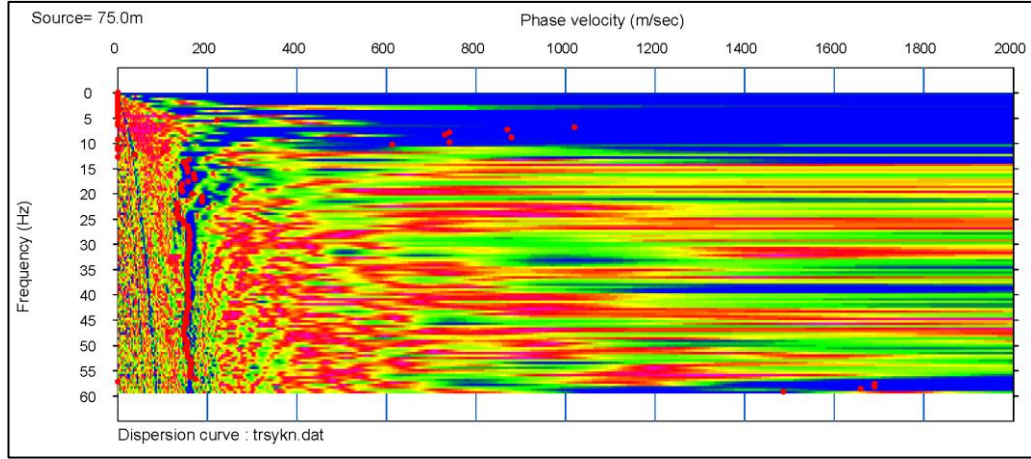
Şekil 5.41. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış kaydının iterastona uğramış dispersiyon eğrisi.



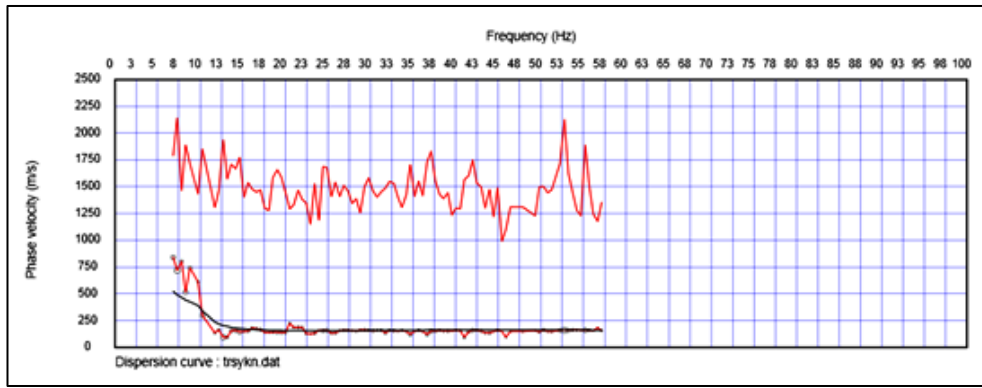
Şekil 5.42. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış kaydının faz hızı-frekans dönüşünü.



Şekil 5.43. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi.



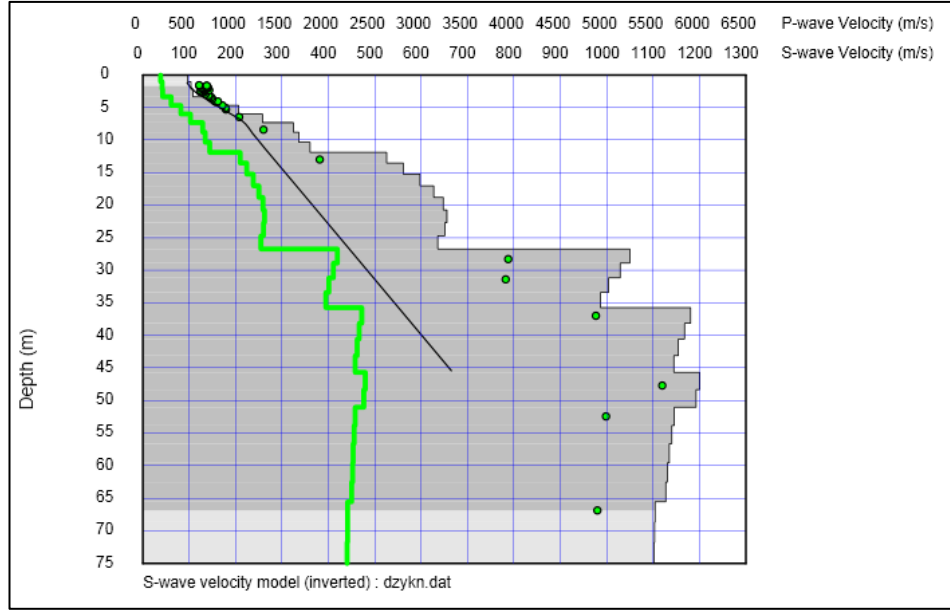
Şekil 5.44. Js-2 hattı ters atış kaydının faz hızı-frekans dönüşümü.



Şekil 5.45. Js-2 hattı ters taşı kaydının iterasyona uğramış dispersiyon eğrisi.

5.3.1.2. Dispersiyon eğrilerine ters çözüm işleminin uygulanması

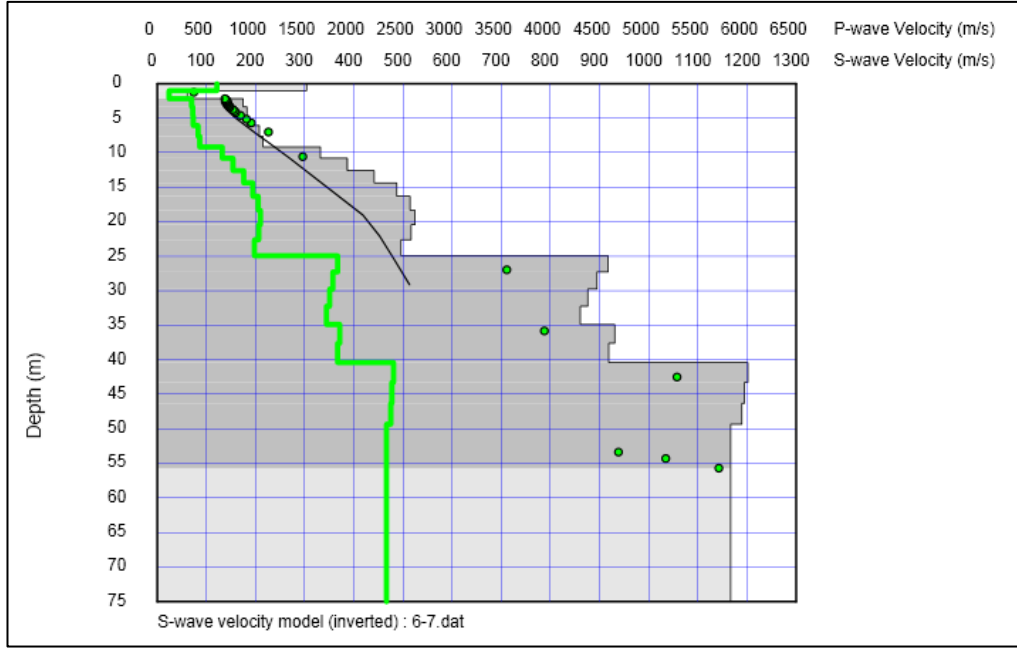
Elde edilen dispersiyon eğrileri faz hızı frekans dönüşümleri yardımıyla ortaya çıkmıştır. Bu eğrilere bir başlangıç modeli oluşturularak ters çözüm işlemine geçilir. Normal dispersiyonun şartları gereği derinlere doğru sismik hızın artması beklenmektedir. Bu aşamada yüzey dalgalarının genellikle temel modu kullanılır. Bizim ters çözüm modellerimizde de Rayleigh dalgalarından elde ettiğimiz S hızları derinlere doğru hızlanmakta ve farklı derinliklerde farklı hızlarla karşılaşmaktayız. Js-2 hattının atışlarına ait elde edilen S dalgası hız modeli ve derinlik-hız-yoğunluk tablosu Şekil 5.46., Şekil 5.47., Şekil 5.48., Şekil 5.49., Şekil 5.50. ve Tablo 5.6., Tablo 5.7., Tablo 5.8., Tablo 5.9., Tablo 5.10'da ki gibidir.



Şekil 5.46. Js-2 hattı düz atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik - S dalgası hız modeli.

Tablo 5.6. Js-2 hattı düz atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu.

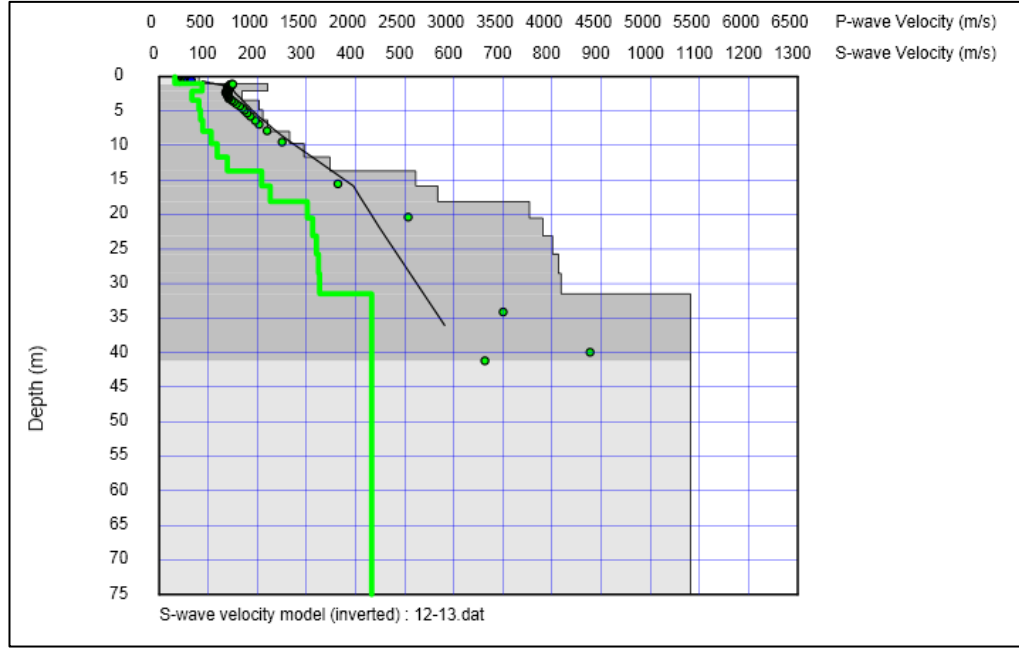
Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (g/cm ³)
0,00	96,8656	1,3238
1,07	104,3458	1,3296
2,20	108,1032	1,3325
3,40	154,2494	1,3681
4,66	206,5055	1,4079
5,98	258,0631	1,4466
7,37	324,6860	1,4957
8,82	337,3003	1,5049
10,33	361,0514	1,5222
11,91	525,2258	1,6381
13,55	561,9349	1,6633
15,25	597,6985	1,6875
17,01	627,6957	1,7076
18,84	647,8443	1,7210
20,73	655,7609	1,7263
22,68	651,4316	1,7234
24,70	636,0333	1,7132
26,78	1049,9830	1,9711
28,92	1028,7950	1,9588
31,13	1003,7070	1,9440



Şekil 5.47. Js-2 hattı 6-7 no'lu atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik-S dalgası hız modeli.

Tablo 5.7. Js-2 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu.

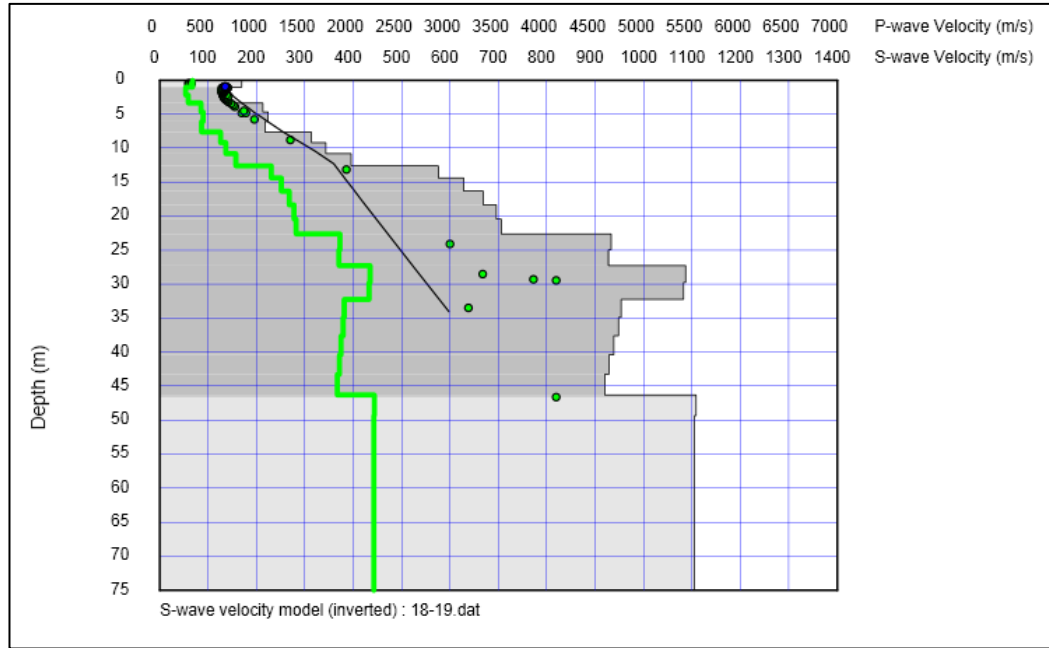
Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (g/cm ³)
0,00	303,5657	1,4802
1,05	62,1785	1,2967
2,18	175,1110	1,3841
3,41	182,5360	1,3897
4,72	184,0316	1,3909
6,12	208,0332	1,4090
7,61	215,7902	1,4149
9,18	332,4158	1,5014
10,85	386,8725	1,5408
12,60	442,0563	1,5801
14,43	486,9385	1,6116
16,36	514,9633	1,6310
18,37	524,3917	1,6375
20,47	516,6670	1,6322
22,66	495,8024	1,6177
24,93	917,2170	1,8923
27,30	894,7097	1,8785
29,75	876,1444	1,8671
32,28	860,5415	1,8575



Şekil 5.48. Js-2 hattı 12-13 no'lu atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik-S hızı dalgası modeli.

Tablo 5.8. Js-2 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu.

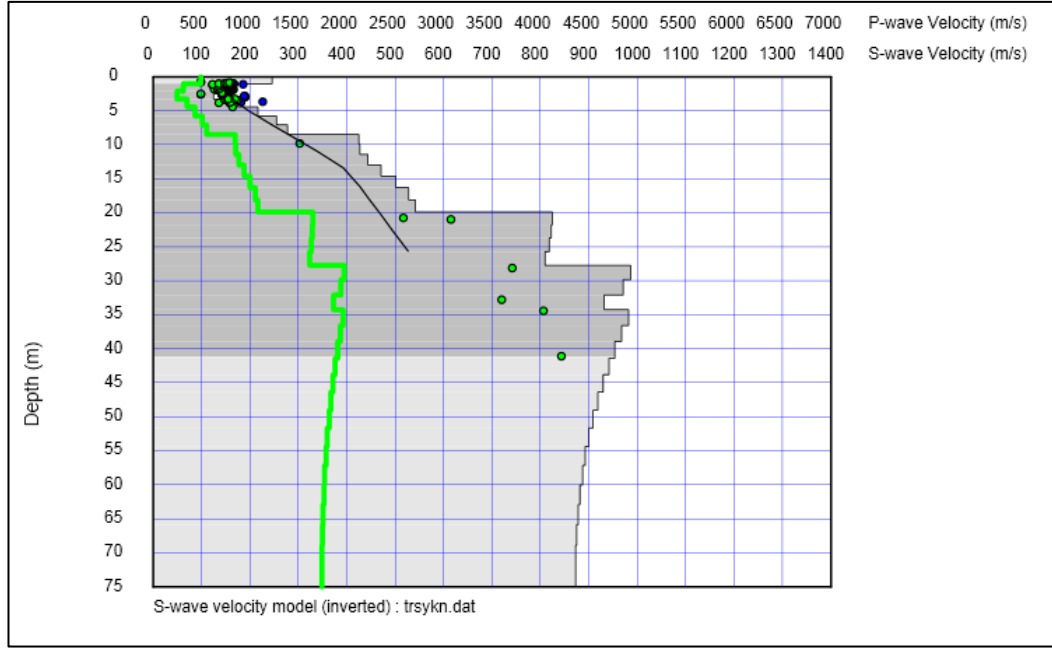
Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (g/cm ³)
0,00	205,7508	1,4073
1,01	164,3030	1,3758
2,15	122,4565	1,3437
3,42	194,3628	1,3987
4,81	248,6445	1,4395
6,34	249,6984	1,4403
7,99	283,3506	1,4653
9,76	337,9586	1,5054
11,66	420,9542	1,5651
13,69	525,0302	1,6380
15,85	622,5988	1,7042
18,13	697,8940	1,7540
20,54	744,0700	1,7839
23,08	762,9696	1,7961
25,74	759,3166	1,7937
28,53	742,1562	1,7827
31,45	1368,5172	2,1453



Şekil 5.49. Js-2 hattı 18-19 no'lu atış kaydının ters çözüm sonucu elde edilen derinlik-S dalgası hız modeli.

Tablo 5.9. Js-2 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (g/cm ³)
0,00	169,2493	1,3796
1,05	136,1732	1,3542
2,18	148,1589	1,3635
3,41	212,9066	1,4127
4,72	224,2857	1,4213
6,12	217,2546	1,4160
7,61	313,9552	1,4879
9,18	343,0015	1,5091
10,85	395,4835	1,5469
12,60	576,1294	1,6729
14,43	627,7408	1,7077
16,36	668,9086	1,7350
18,37	695,4738	1,7524
20,47	705,5770	1,7590
22,66	932,3223	1,9014
24,93	927,3041	1,8984
27,30	1086,6483	1,9922
29,75	1082,1365	1,9896
32,28	953,8885	1,9144



Şekil 5.50. Js-2 hattı ters atış kaydının ters çözüm sonu elde edilen derinlik-S dalga hızı modeli.

Tablo 5.10. Js-2 hattı ters atış noktasının derinlik-S dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (g/ m ³)
0,00	246,3821	1,4378
1,02	156,2103	1,3696
2,11	124,9052	1,3456
3,26	175,6168	1,3845
4,47	216,3711	1,4153
5,74	254,5647	1,4440
7,07	277,9358	1,4613
8,47	425,3299	1,5682
9,92	427,4508	1,5697
11,43	443,4614	1,5811
13,00	470,5860	1,6001
14,64	501,6701	1,6218
16,33	527,6086	1,6397
18,09	541,5203	1,6493
19,90	824,5714	1,8351
21,78	823,1371	1,8342
23,71	818,2796	1,8311
25,71	809,1684	1,8254
27,77	986,1347	1,9336
29,88	971,4807	1,9249
32,06	932,1979	1,9013

Bu şekilde toplam 25 noktada alınan kayıtlar dispersiyon eğrileri oluşturulduktan sonra ters çözüm işlemine tabii tutulmuş ve bir boyutlu S hızı derinlik kesitleri elde edilmiştir. Bütün kesitler incelendiğinde derinlik bazındaki bütün değişimler birbirlerine yakın doğrultuda seyretmektedir. Sismik ortamlar bütün çözümlerde benzer nitelikte ve çeşitliliktedir.

Hızlar yüzeye yakın seviyelerde oldukça düşük seyretmiştir, buna neden içerisinde boşluk (gevşek) ve su muhtevası bulunan dolgu yapısı etken olmaktadır. Bu seviyelerin altında çok katı-sert kil ve kıltaşı, hızlarda belirgin artış nedeniyle kendisini dolgu birimlerden ayırarak kolaylıkla tespit edilmiştir. En altta bulunan kireçtaşı seviyeleri ise üstünde bulunan düşük hızlar ve kendi jeolojik yapısının özelliklerini yansıtarak çok belirgin bir şekilde yüksek hızlarla göze çarpmaktadır.

5.3.1.3. İki boyutlu kesitlerin elde edilmesi ve kat haritaları

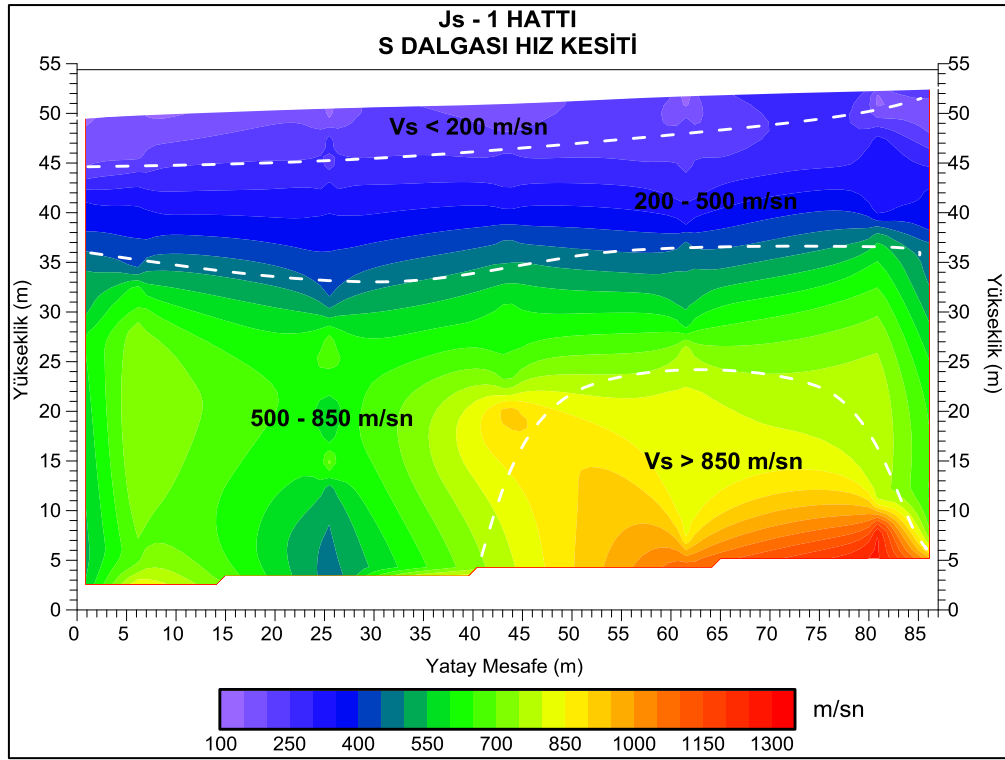
Arazide 5 profilde 25 noktada alınan kayıtların bir boyutlu MASW çözümlerinin ardından her profile ait beşer adet ters çözüme tabii tutulmuş olan hız modelleri birleştirilerek her profilin kendisine ait iki boyutlu hız kesitleri elde edilmiştir. Bu kesitler elde edilirken atışların ve alıcıların gps yardımıyla koordinatları bulunarak Surfer programı vasıtasıyla iki boyutlu kesitlere ulaşılmıştır (Şekil 5.51., Şekil 5.52., Şekil 5.53., Şekil 5.54. ve Şekil 5.55.).

Modellenen kesitler incelendiğinde, elde edilen sonuçlar daha önceki saha çalışmaları olan sondaj logları ve litolojik kesitleri ile çoklu elektrot sonuçlarıyla uyum içerisinde. Elde edilen sismik hız kesitlerinde belirlenen sismik ortamlarla, litolojik kesitlerinde ki tabaka ayrımlarının birebir benzeşmesi beklenemez. Sismik ortamların birçok faktöre bağlı olması nedeniyle litolojik kesitlerde ki gibi keskin ayrımlar yerine bu kesitler ile olan sismik hız faktörüne dayalı benzerliğinin üzerinde durulmalıdır.

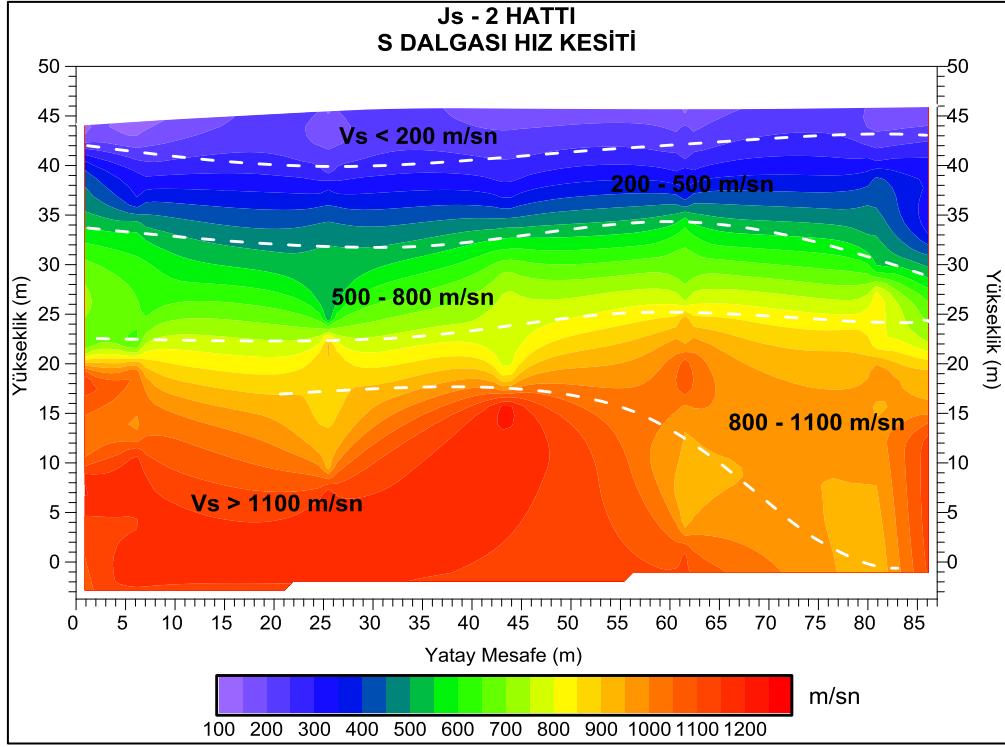
Tüm sismik hız kesitleri incelendiğinde, hepsinde karşımıza çıkan ortak sonuç S dalga hızının yüzeye yakın dolgu biriminin seviyelerinde çok düşük olduğu ve 200

m/sn'den küçük seyrettiği görülmüştür. En altta kireçtaşı seviyeleri ise S dalga hızının 850 m/sn ve 1000 m/sn üstü gibi çok yüksek hızlarıyla göze çarpmaktadır. Bu iki belirgin sismik ortamlar arasında ise kimi zaman bir, kimi zaman ise iki sismik ortam olarak karşımıza çıkan 200-500 m/sn ve 500-800 m/sn aralığında seyreden ortamlar tespit edilmiştir.

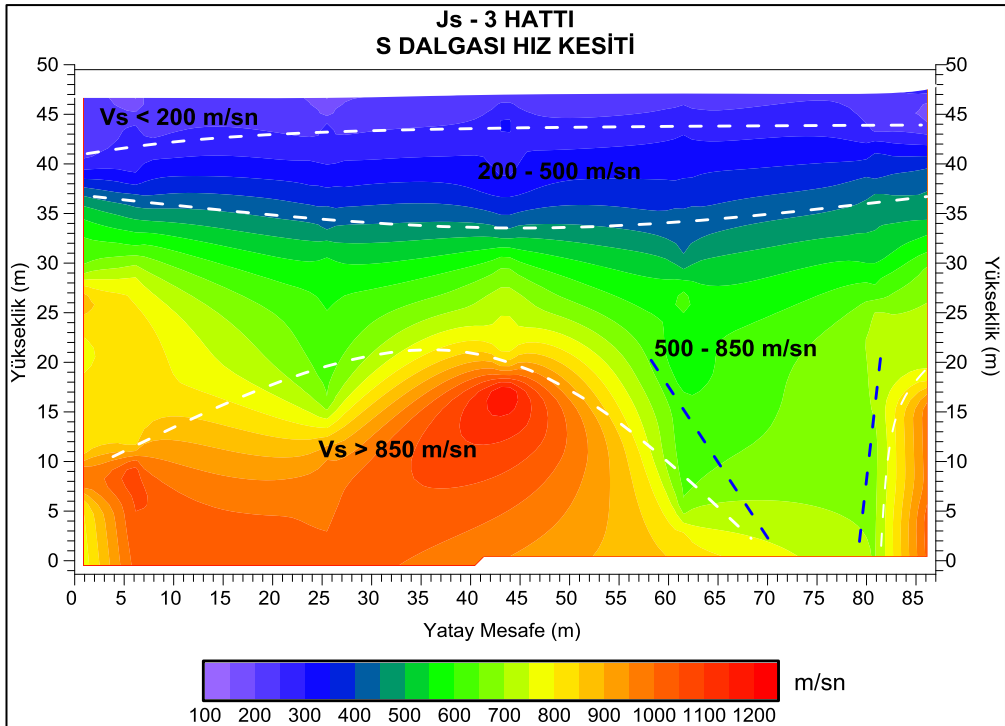
Ayrıca Şekil 5.53. ve Şekil 5.55.'de yüzey topografyasında varlığı mevcut olan dere yataklarının, kesitlerdeki yüksek hız zonunun içinde daha düşük hızlarla dalım yapmış olduğu konumları mavi kesik çizgi ile işaretlenmiştir.



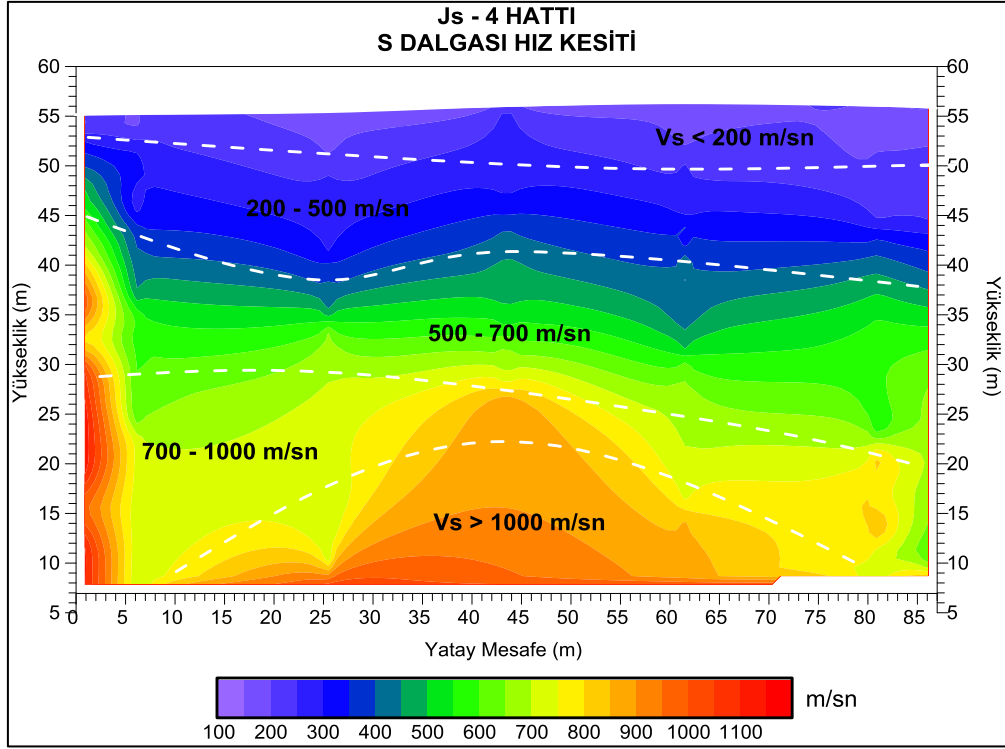
Şekil 5.51. Js-1 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli



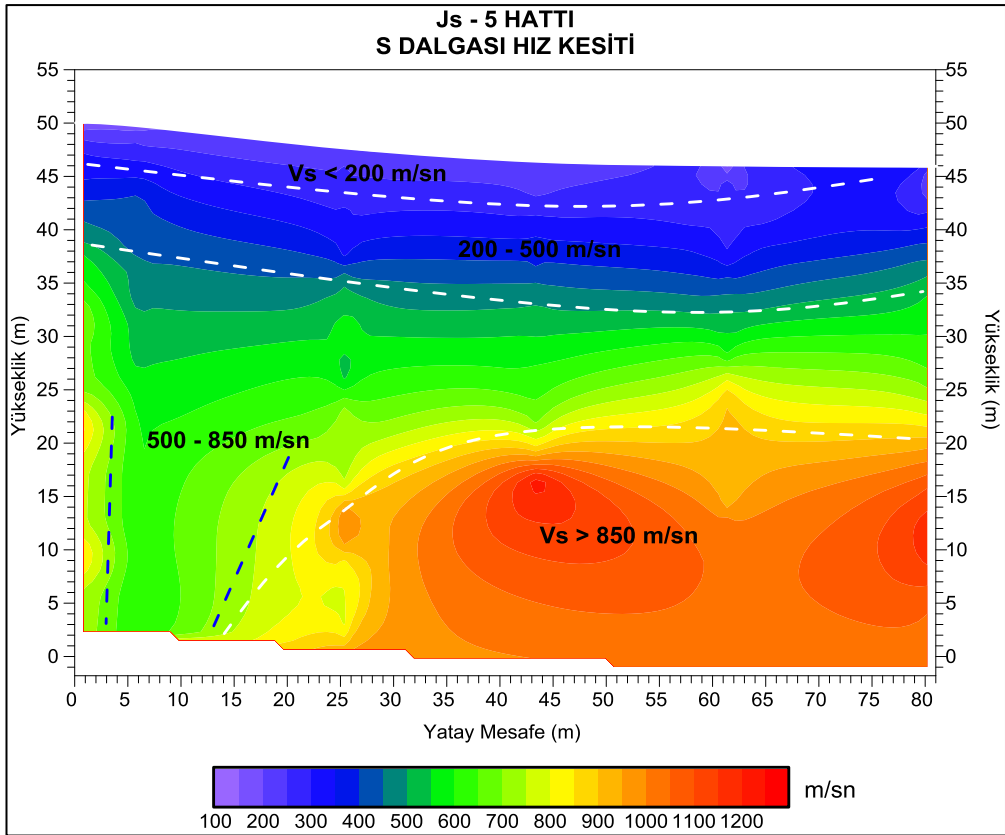
Şekil 5.52. Js-2 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli



Şekil 5.53. Js-3 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli

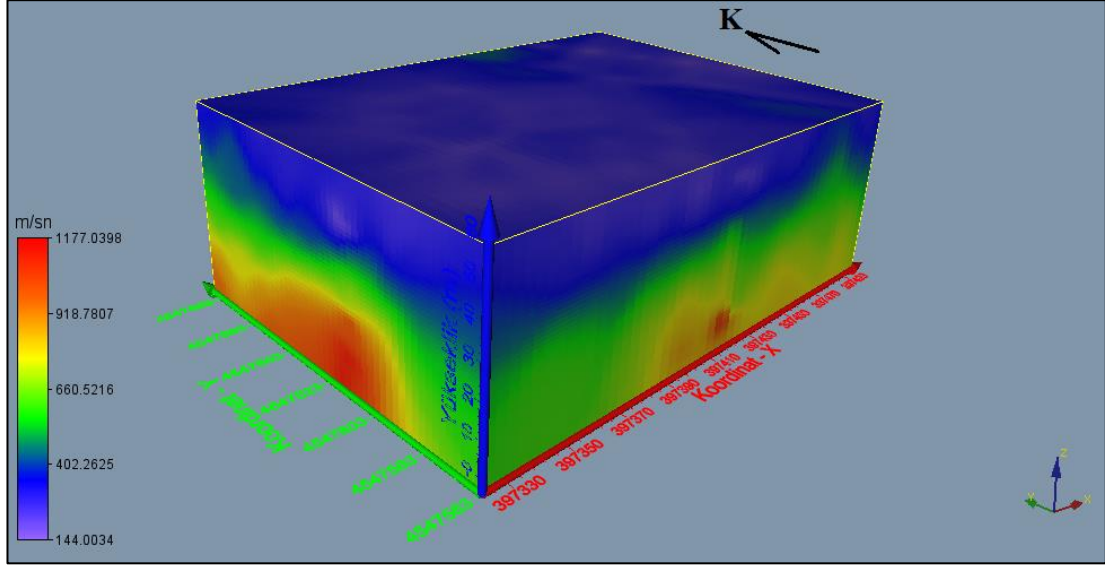


Şekil 5.54. Js-4 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli

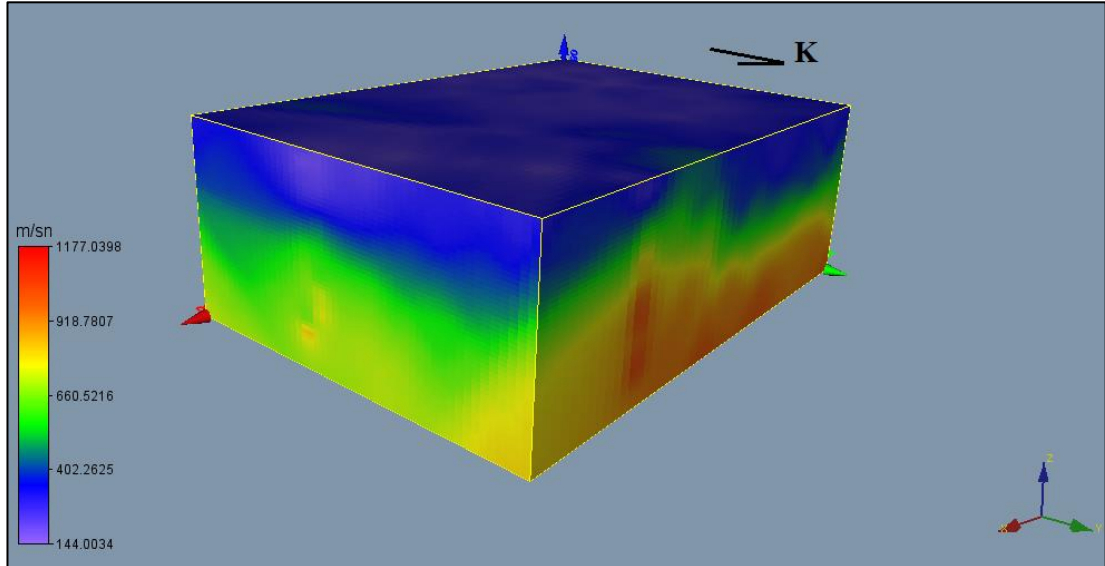


Şekil 5.55. Js-5 hattı iki boyutlu S dalgası hız modeli

Sismik hızlar yardımıyla modellenen iki boyutlu yer altı kesitleri, kaynak alıcı mesafeleri ve bunların koordinatları kullanılarak yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yardımıyla S dalga hızının tüm sahaya yayılan üç boyutlu farklı açılardan oluşturulan grafikleri Şekil 5.56. ve Şekil 5.57. ile kat haritaları Şekil 5.58.'de ki gibidir.

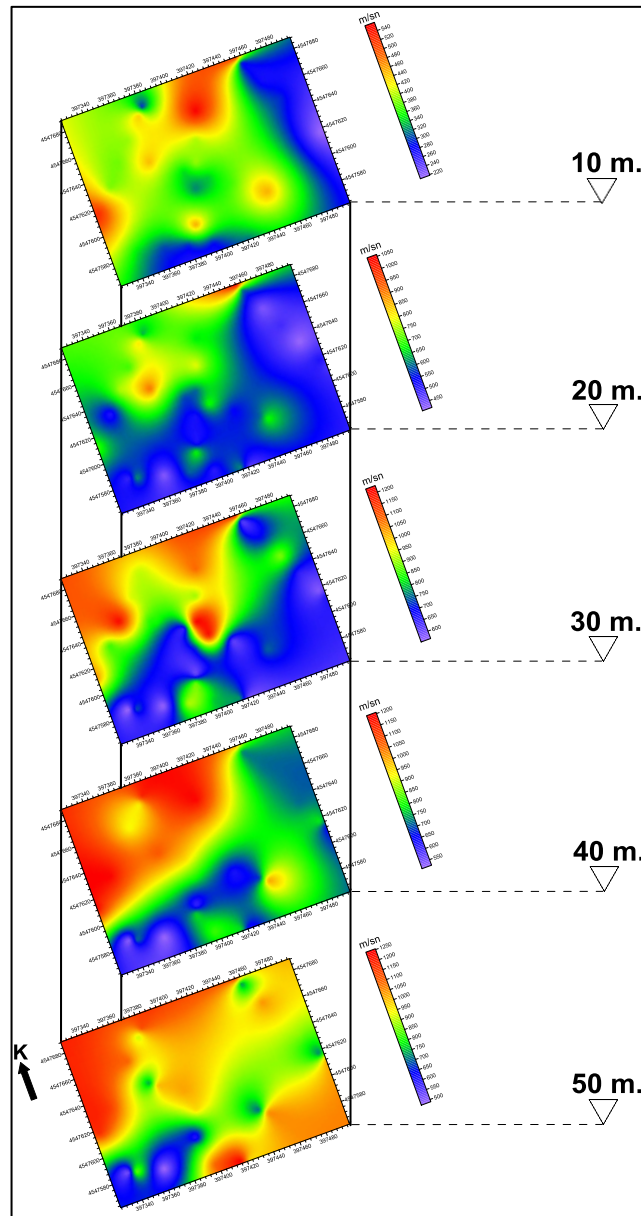


Şekil 5.56. Sismik çözümler sonrası elde edilen üç boyutlu S dalgası hız modeli-1



Şekil 5.57. Sismik çözümler sonrası elde edilen üç boyutlu S dalgası hız modeli-2

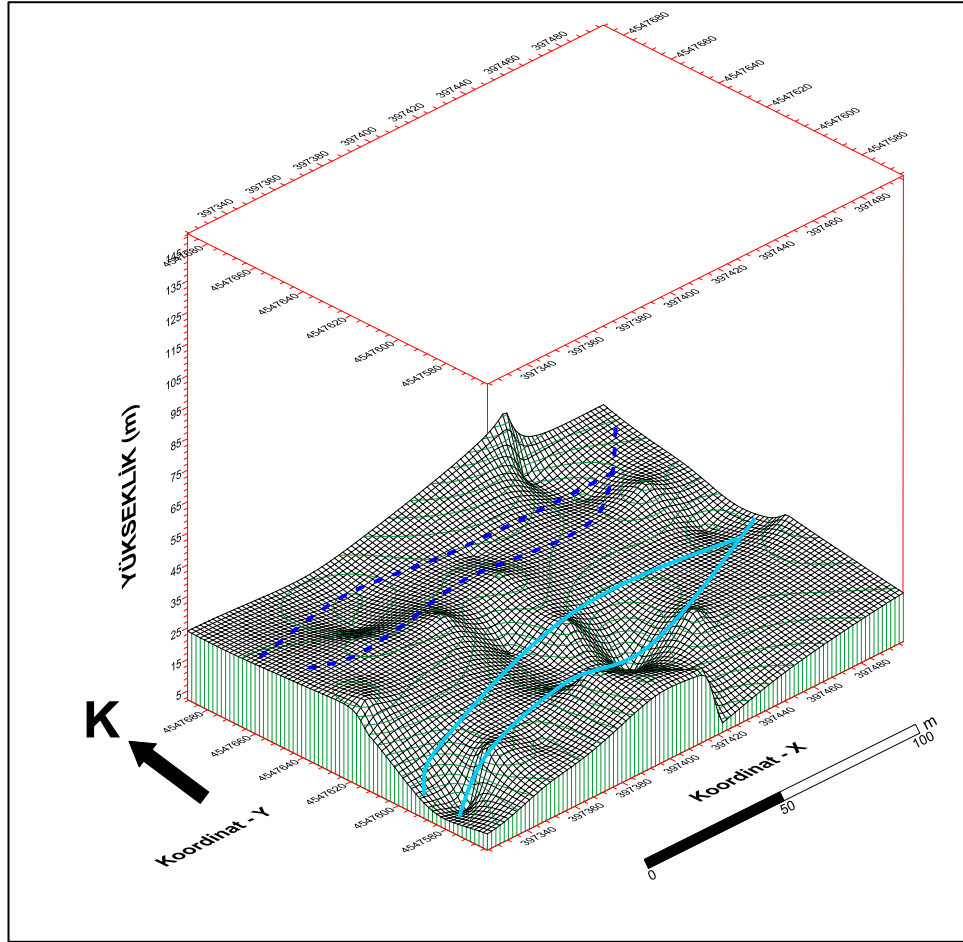
Kat haritaları daha net anlaşılabilir diye yüzeyden itibaren 10 metrede bir 50 metreye kadar 5 adet çıkarılmıştır. (Şekil 5.58.) Tüm sahayı yani 19.972,9188 m²'lik alanı yansıtabilecek şekilde modellenerek elde edilen haritalar incelendiğinde araziyi KD-GB ekseninde ayırarak olursak KB kısmının, GD kısmına nazaran daha yüksek hız değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 30 metreden itibaren bu belirginlik çok daha net olarak ortaya çıkmaktadır. 30 metreden sonra yüksek hız değerleri arasındaki düşük hız zonlarının nedenleri, ölçümler sırasında mevsimsel yağışlardan kaynaklanan yüzey sularının bu seviyelerde ortaya çıkması olarak değerlendirilebilir.



Şekil 5.58. Çalışma sahasının 50 m derinliğine kadar S dalga hızı kat haritaları

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tüm saha çalışmalarının sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve uyum içinde oldukları saptanmıştır. Sondaj kuyularından elde edilen malzeme bilgisi ve kesitleri ile özdirenç değerlerine ait kesitler ile sismik kayıtların yüzey dalgası analizi sonucu birleştirilen S dalgası hız kesitleri ve kat haritaları sonucu çalışma sahasına ait mühendislik taban kayasının mevcut durumu Şekil 6.1.'de ki grafikte ifade edilmiştir.



Şekil 6.1. Mühendislik ana kayasının tüm yöntemler sonucu elde edilen görüntüsü

Mühendislik taban kayasının deniz seviyesi kotları ve seyri Şekil 6.1.'de görülmektedir. Özellikle öz direnç ve sismik çalışmalarda tespit edilen mevcut dere yatağının ana kaya üzerindeki konumu da grafikte işaretlenmiştir.

Jeofizik mühendisliğinde elde edilen sonuçların devamında oluşturulmaya çalışılan yer altı yapısına ait olan modelleme, seçilen yöntemde ve geometride ölçülen değerlerin yerin fiziksel tepkisinin sayısal değerleri olarak anlatılabilir. Kullanılan yöntemlerin ölçümlerine ait yer altı modelinin belirlenmeye çalışılması modellemenin ana unsurudur.

İstanbul ili Atakent bölgesinin batı kısmında yer alan mühendislik ana kayası ve üzerindeki tabakaların yer altı modelinin çıkarılmasına yönelik yapılan bu çalışmada sondaj kuyuları, öz direnç çalışmaları ve sismik çalışmalardan yararlanılmıştır. Şehir içinde ve dar alanlarda mühendislik taban kayası ve üzerindeki tabaka yapılarının araştırılmasında kullanılan bu yöntemler sonucu mühendislik problemlerine çözümler, zemin analizleri, deprem durumu, afet durumu ve diğer geoteknik uygulamaların öncesinde yararlı sonuçlar vermektedir.

Elde edilen yer altı modeli ve model oluşturulurken kullanılan jeofizik yöntemlerin sonuçları başka birçok çalışmada yol gösterici olmaktadır. Model oluşturulurken tercih edilen yöntem ve geometriler çalıştığımız arazi büyüklüğündeki alanlarda hızlı, güvenilir ve ekonomik sonuçlar vermektedir.

Yer altının kompleks yapısının ifadesi sırasında sondaj kuyuları vb. yöntemler bu karmaşıklığın açıklanmasında tek başına yeterli olamamakta ve maliyetleri yukarı çıkarmaktadır. Aynı zamanda tek boyutta çözümler üreten bu gibi yöntemler yer altı yapısını olduğu gibi tam anlamıyla yansıtamamaktadır. Jeofizik yöntemlerin devreye girmesiyle birlikte yer altı yapısının temel fiziksel özellikleri, gerçeğe en yakın biçimde sondaj kuyuları ile de doğrulanarak tercih edilen boyutlarda saptanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akça, İ. 2012. JFM 312 Uygulamalı Jeofizik ders notları. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Aki, K., Richards, P.G. 2002. Quantitative Seismology. University Science Boks, Sausalito, California, 685s.
- Alsan, E., Tezuçan, L., Bath, M. 1975. An Earthquake Catalogue for Turkey for the Interval 1913-1970. Report No 7-75, Kandilli Observatory Seismological Department Çengelköy-İstanbul, Turkey, 166 p.
- Ambraseys, N. N. 2001. The earthquake of 10 July 1894 in the Gulf of İzmit (Turkey) and its relation to the earthquake of 17 August 1999, Journal of Seismic Exploration, 5, 117-128.
- Ambraseys, N. N., Finkel, C. 1991. Long-term seismicity of Istanbul and of the Sea of Marmara region, Terra Nova, 3, 527-539.
- Ambraseys, N.N., Finkel, C.F. 1990. Marmara Sea Earthquake of 1509. Terra Motae, 167-174.
- Anderson, N., Chen, G., Kociu, S., Luna, R, Thitimakorn, T. 2003. Vertical shear-wave velocity properties generated from spectral analysis of surface waves. Fiel Examples. University of Missouri-Rolla, Final Rapor, RDT 03-006.
- Anonim, 2007. Mutlichannel Analysis of Surface Waves Method. Federal Highway Program, 5pp.,
- Arı, B. 2005. Sismik kırılma verileri ile Burdur ili merkezi yer altı yapısının iki boyutlu modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Armijo, R., Meyer, B., Barka, A.A., Hubert, A. 1999. Propagation of the North Anatolian Fault into the Northern Aegean. Timing and kinematics, Geology, 27, 267-270.
- Arpat, E. 1999. Büyükçekmece ile Küçükçekmece (İstanbul) Heyelenlerinin Genel Özellikleri ve Yarattıkları Başlıca Sorunlar. 52. Türk.Jeol. Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara, 17-23.
- Arpat, E., Şentürk, K. 2000. Marmara Denizi'nin gelişimi. Marmara Denizi 2000. Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı, İstanbul, 231-237
- Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N. 2000 Türkiye'de hasar yapan depremler. Jeofizik Bülteni, Sayı 37, 91-93 s, Ankara.

- Bargu, S., Yüksel, F.A. 1993, İzmit Körfezi'nin Kuvaterner deniz dibi çökellerinin dağılımı ve özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 169-187.
- Barka, A. 1997. Neotectonics of the Marmara region. In Active Tectonics of NW Anatolia-The Marmara Poly-project, Schindler and Pfister (eds.), VDF, ETH Zurich, 55-87.
- Barka, A., Cadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663-684.
- Bath, M.. 1973. Introduction to Seismology. Birkhauser Verlag, Basel and Stuttgart.
- Bedford, A., Drumheller, D.S. 1994. Introduction to Elastic Wave Propagation, J Wiley and Sons Ltd, Chichester, England.
- Bernard, J., Orlando, L., Vermeersch, F. 2004. Electrical resistivity imaging for environmental applications. 16 th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Abstracts Book, 376-379.
- Bolt, B.A. 1976. Nuclear Explosions and Earthquakes, W.H. Freeman and Company
- Brown, L. 1999. Spectral analysis of surface waves (SASW) method. Blackhawk Geometrics.
- Çakır, Z., Barka, A. ve Akyüz, S. 2003. Coulomb gerilme etkileşimleri ve 1999 Marmara depremleri, itüdergisi/d mühendislik Cilt:2, Sayı:4, 99-111 Ağustos 2003 Ayazağa-İstanbul.
- Çaylak, Ç. 2009. Çok kanallı yüzey dalgası verisinin ters çözüm teknikleri ile çok sığ yapıların araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Çeken, U. 2007. Marmara bölgesinin kuvvetli yer hareketi azalım ilişkisi modeli. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C. 1986. Shortening of continental lithosphere. The neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision, in Collision Tectonics, eds. Coward, M.P.&Ries A.C., Geol. Soc. Spec. Publ., 19, pp, 3-36
- Dobrin, M.B., Savit, C.H. 1988. Introduction to Geophysical Prospecting. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Erdik, M., Eren, K. 1983. Attenuation of Intensities for Earthquake Associated with the North Anatolian Fault. Middle East Technical University Earthquake Engineering Research Center, Ankara.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., Değirmenci, E. 1988. Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik Rehberi (1900-1988), İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 198 s., İstanbul.
- Gülen, L. 2010. JFM 204 Tektonik lisans ders notları. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü.

- Guo, T., Liu, L. 1999. Non-intrusive evaluation of submarine tunnel foundation using dynamic high-frequency surface wave prospecting Proc. Symp. on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (Environmental and Engineering Geophysics Society), Oakland, 67–74.
- Hermann, R.B., Ammon, C.J. 2002. Computer Programs in Seismology. Surface Waves, Receiver Functions, and Crustal Structure, Version 3.15.
- İ.B.B., 2007. Mikrobölgeleme Rapor ve Haritalarının Hazırlanması Avrupa Yakası Güney, Yerleşim Amaçlı Mikrobölgeleme Çalışmaları Sonucu Hazırlanan İmar Planlarına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüd Raporu. Deprem Risk Yönetim ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, Nihai Rapor.
- Jackson, D. D. 1972. Interpretation of Inaccurate, Insufficient and Inconsistent Data, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 28, 97-109.
- Jackson, J., McKenzie, D. P. 1984. Active tectonics of the Alp-Himalayan belt between western Turkey&Pakistan, Geophys, J.R. astr. Soc., 77, 185-264
- Kara, V. 1992. Sismik Prospeksiyon. Karadeniz Teknik Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Yayın No:34, Trabzon, 112s.
- Karaoğlu, G. 2013. İstanbul Küçükçekmece ilçesinin mühendislik jeolojisi ve yerleşime uygunluk değerlendirmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Keçeli, A. 2009. Uygulamalı Jeofizik. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, JFMO Eğitim Yayınları No.9, Ankara.
- Keilis-Borok, V.I. 1989. Seismic Surface Waves in a Laterally Inhomogeneous Earth, Kluwer Academic Publishers, 1989, 289 pp.
- Koral, H., Eryılmaz, M. 1995, İzmit Körfezi'nin tektoniği. İzmit Körfezi'nin Kuvaterner istifi, E. Meriç (ed.), 277-283.
- Kovach, R.L. 1978. Seismic Surface Waves and Crustal and Upper Mantle Structure, Rev. Geophysics and Space Phys. 16, 1-14
- Kurtuluş, C. 2002. Sismik Arama Teori ve Uygulama, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, KOCAELİ.
- Lay, T., and Wallace, T. C. 1995. Modern Global Seismology. U.S.A, 517s.
- Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rang_N, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R., Tok, B., (2001). The active Main Marmara Fault. Earth and Planetary Science Letters, 192, 595-616.
- Louie, J.N. 2001. Faster, Better. Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. The Bulletin of the Seismological Society of America, vol.91, no.2, p.347-364.
- McMechan, G.A., Yedlin, M.J. 1981. Analysis of dispersive waves by wave field transformation. Geophysics, 46, 869–874.

- Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., Ivanov, J.M. 1999. Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. *The Leading Edge*, 1392–1396.
- Nazarian, S., K.H. Stokoe II, W.R. Hudson. 1983. Use of spectral analysis of surface waves method for determination of moduli and thicknesses of pavement systems. *Transportation research Record No. 930*, 38-45.
- Okay, A., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N., Kuşçu, İ. 1999. An active, deep marine strike-slip basin along the North Anatolian Fault in Turkey. *Tectonics*, 18, 129-148.
- Okay, A.I., Demirbağ, E., Özcan, A.K., Güney, A.B., Kurt, H., Okay, N., Kuşçu, İ. 1999. North Anatolian Fault System under the Marmara Sea, ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999 (Ed.Karaca, M., Ural, D.N.), İstanbul Technical University.
- Okay, A.I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ. 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study, *Tectonophysics* 321, 198-218
- Osmanşahin, İ. 1989. Yüzey dalgası ortam tepki fonksiyonlarından yararlanarak Anadolu ve civarında kabuk ve Üst-Manto yapısının belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 113s, İstanbul.
- Özdemir, A. 2008. Çok elektrotlu jeofizik rezistivite ölçümlerinin yer altı suyu ve jeotermal arama alanlarındaki uygulamalarının değerlendirilmesi. *Sondaj Dünyası Dergisi*, 6,7-13.
- Özgül, N., Üner, K., Bilgin, İ., Korkmaz, R., Özcan, İ., Akmeşe, İ., Yıldız, Z., Yıldırım, Ü., Akdağ, Ö., Tekin, M. 2005. İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü.
- Özmen, B. 2000. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), Türkiye Deprem Vakfı, 132 sayfa, İstanbul.
- Özmen, B. 2002. İstanbul ili için deprem senaryosu. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı 417.
- Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H., 1997. Coğrafi Bilgi Sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, 89 sayfa, Ankara.
- Öztiñ, F., 1994. 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi Raporu. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, 291 sayfa, Ankara.
- Öztiñ, F., Bayülke, N. 1990. Historical Earthquakes of İstanbul, Kayseri and Elazığ, Proceedings of the Workshop on Historical Seismicity and Seismotectonics of the Mediterranean Region, sayfa 150-172, 10-12 October İstanbul, Turkish Atomic Energy Authority, Ankara.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. 1998. Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record. *The Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts*, 1377–1380.

- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. 1999. Multi-channel analysis of surface waves (MASW). *Geophysics*, 64, 800–808.
- Park, H.C., Kim, D.C., Bang, E.S., Kim, J.T. 2007. Seismic site characterization using HVAW (harmonic wavelet analysis of waves) method. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 1352, Greece.
- Puech, A., France, F., Rjvoallan, X., Cherel, L. 2004. Institut Francajs Du Petrole, The use of surface waves in the characterisation of seabed sediment: Development of a MASW system for offshore applications, Seatech Week, Brest, France.
- Rayleigh, J.W.S. 1885. On wave propagating along the plane surface of an elastic solid. *Proc. London Math. Soc.*, 17, 4-11.
- Richart, F.E., Jr., Woods, R.D., & Hall, J.R. Jr. 1970. *Vibrations of Soils and Foundations*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 414.
- Robinson, E. S., Coruh, C. 1988. *Basic exploration geophysics*, Wiley.
- Rückert-Ülkümen, N. 1960. Trakya ve Çanakkale mntıklarında bulunan Neojen balıklı formasyonları hakkında. *İÜ Fen Fak. Monog.*, 16, 80 s.
- Sayar, C. 1977. Haliç ve Civarının Jeolojisi. B.Ü., İstanbul. Haliç Sorunları ve Çözüm Yolları Ulusal Sempozyumu, İstanbul.
- Sayar, C.1989. İstanbul ve Çevresi Neojen Çökelleri ve Paratetis İçindeki Konumu. *Maden Fakültesi 40.Yıl Bült.*, pp. 250-266.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu. TUBİTAK Proje No:TBAG 341, 124 s.
- Stein, R. S., Barka, A., Dieterich, J. H. 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128, 594-604.
- Stoke, K.H., Wright, G.W., James, A.B., Jose, M.R. 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method, in *Geophysical Characterization of sites ISSMFE Technical committee #10*, edited by R.D. Woods. Oxford Publishers, New Delhi.
- Strobbia, C., 2005. *Surface Wave Methods Acquisition Processing and Inversion*, Politecnico Di Torino, Phd Thesis, 260pp.
- Supranata, Y.E. 2006. Improving the uniqueness of shear wave velocity profiles derived from the inversion of multiple-mode surface wave dispersion data. *Ph.D.Dissertation*, The University of Kentucky, 147.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape. Turkey as a case study, in *Strike-slip faulting and basin formation*, eds. Biddle, K.T.&Christie-Blick, N., *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral*, 37, 227-264
- Toksöz, M. N., Shakal, A. F., Michael, A. J. 1979. Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian Fault zone and seismic gaps. *Pageoph*, 117, 1258-1270.

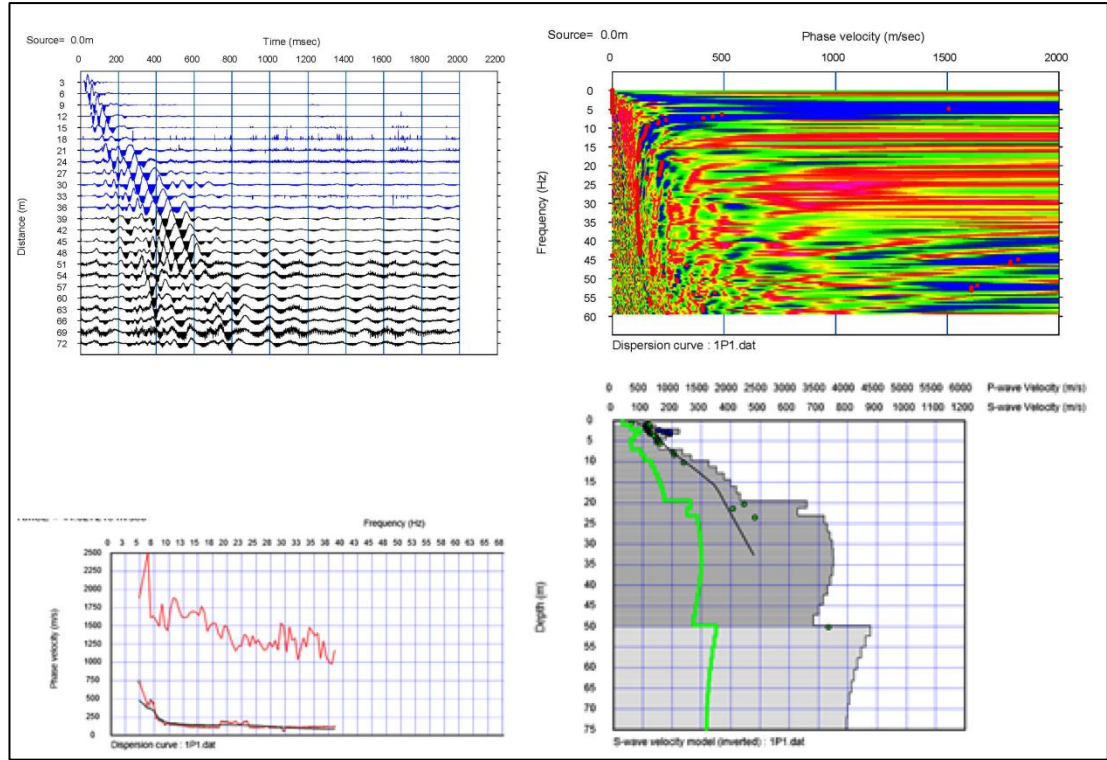
- Utkucu, M. 2011. JFM 306 Sismotektonik lisans ders notları. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Üçer, B., Eyidogan, H., Gürbüz, C., Barka, A., and Barış, S. 1997. Seismic investigations of the Marmara region. In Active Tectonics of NW Anatolia-The Marmara Poly-project, Schindler and Pfister (eds.), VDF, ETH Zurich, 89-99.
- Waters, K. H. 1978. Reflection seismology. John Wiley and Sons.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B. 1999. Estimation of near-surface shear wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64, 691-700.
- Xia, Y., Tong, H., Li, W. K. 2002. Single-index volatility models and estimation. *Statistica Sinica*, 12, 785-799.
- Yiğiter, N. 2008. Isparta Çünür bölgesinde yüzey dalgası yöntemi ile zemin özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yılmaz, S. 2005. Dipol-Dipol görünür öz direnç verilerinin 2-b ters çözümü için pratik bir yaklaşım. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, C. 18, S. 1, SS. 113-122.
- Yoon, S. 2005. Array-based measurements of surface wave dispersion and attenuation using frequency-wavenumber analysis. Ph.D.Dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Yüksel, F.A., 1995. İzmit Körfezi ve yakın çevresinin sismik aktivitesi. İzmit Körfezi'nin Kuvaterner istifı, E.Meriç (ed.), 259-267.
- Zywicki, D.J. 1999. Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- <http://www.csb.gov.tr/iller/istanbulakdm/index.php> Erişim Tarihi: 06.09.2016.
- <https://www.google.com.tr/maps?source=tldso> Erişim Tarihi: 06.09.2016.
- <https://sehirharitasi.ibb.gov.tr/> Erişim Tarihi: 06.09.2016.
- <http://web.itu.edu.tr/~caglari/jeotermal/jeoelek.html> Erişim Tarihi: 06.09.2016.

EKLER

EK 1: Çalışma sahasından görüntüler.



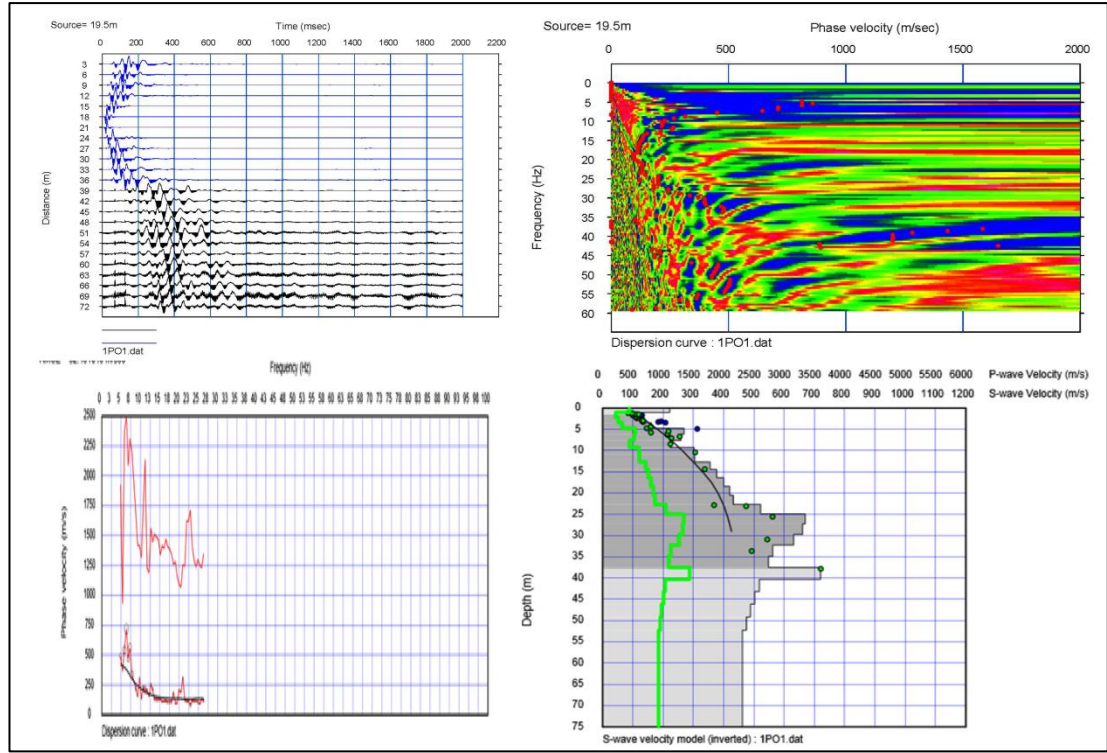
EK 2: Js-1 hattı düz atış işlem aşamaları.



EK 3: Js-1 hattı düz atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	78,6986	1,3097	28,99	747,2034	1,7860
1,03	144,9148	1,3610	31,07	750,9764	1,7884
2,11	225,2731	1,4221	33,20	751,4134	1,7887
3,25	181,8703	1,3893	35,39	748,1955	1,7866
4,44	143,3343	1,3598	37,64	741,2126	1,7821
5,69	155,9985	1,3695	39,94	730,5725	1,7753
6,99	236,1569	1,4302	42,30	717,1927	1,7666
8,35	265,5097	1,4522	44,71	701,0629	1,7561
9,76	325,8935	1,4966	47,18	683,2095	1,7444
11,23	351,7996	1,5155	49,71	876,9571	1,8677
12,76	377,1014	1,5338	52,29	860,6114	1,8576
14,34	400,3986	1,5505	54,92	846,0580	1,8485
15,98	419,5009	1,5641	57,61	832,7146	1,8402
17,67	432,3990	1,5733	60,36	821,4419	1,8332
19,42	660,4161	1,7294	63,16	812,2395	1,8274
21,22	628,9428	1,7085	66,02	804,7415	1,8227
23,08	719,5849	1,7682	68,93	799,1740	1,8191
24,99	730,1148	1,7750	71,90	795,3141	1,8167
26,96	739,7498	1,7812	74,92	793,0077	1,8152

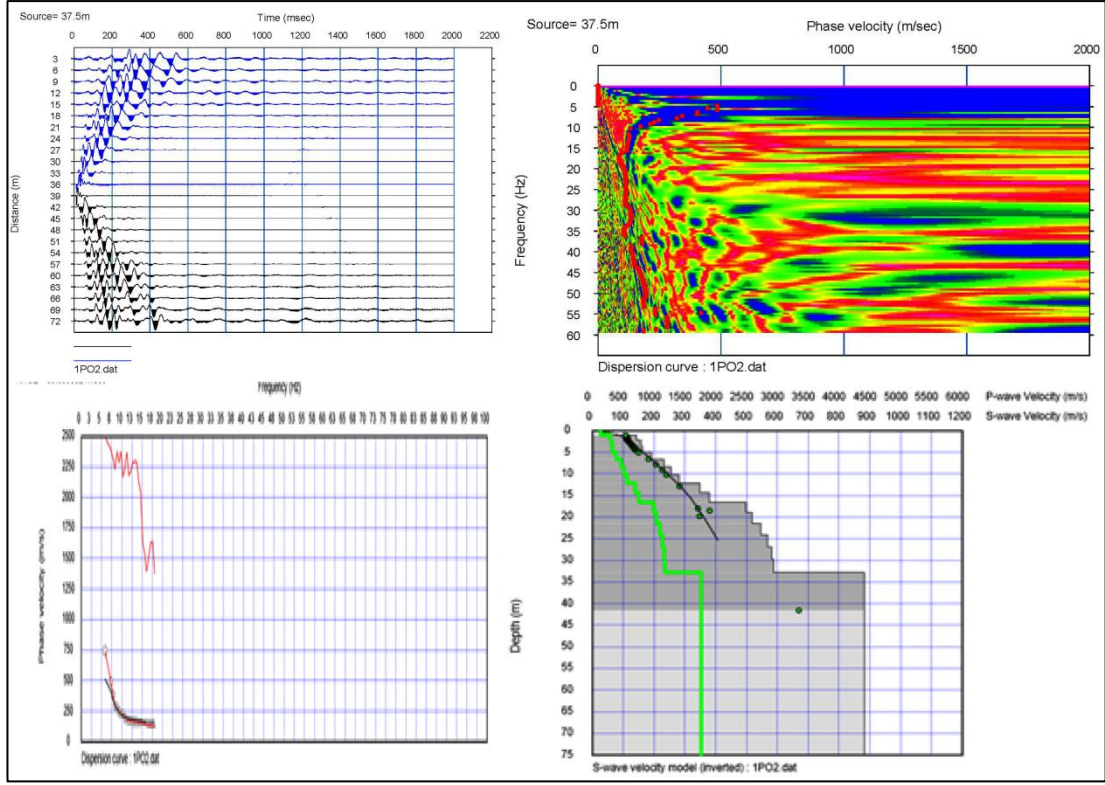
EK 4: Js-1 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 5: Js-1 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalgası hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	222,0767	1,4197	22,71	522,8599	1,6365
1,07	108,1212	1,3326	24,98	669,7016	1,7355
2,22	128,9860	1,3488	27,32	661,2322	1,7300
3,46	161,3273	1,3736	29,76	631,1602	1,7100
4,78	269,1157	1,4548	32,28	562,8681	1,6639
6,19	259,6766	1,4478	34,88	548,3619	1,6540
7,68	223,7295	1,4209	37,57	720,4416	1,7687
9,26	302,6227	1,4796	40,34	517,7822	1,6330
10,93	304,4808	1,4810	43,20	503,0096	1,6228
12,68	355,4160	1,5181	46,15	488,4230	1,6126
14,52	377,6049	1,5342	49,18	475,1923	1,6034
16,44	400,3531	1,5505	52,30	462,8745	1,5948
18,44	419,8199	1,5644	61,90	720,4416	1,9682
20,54	431,8952	1,5729			

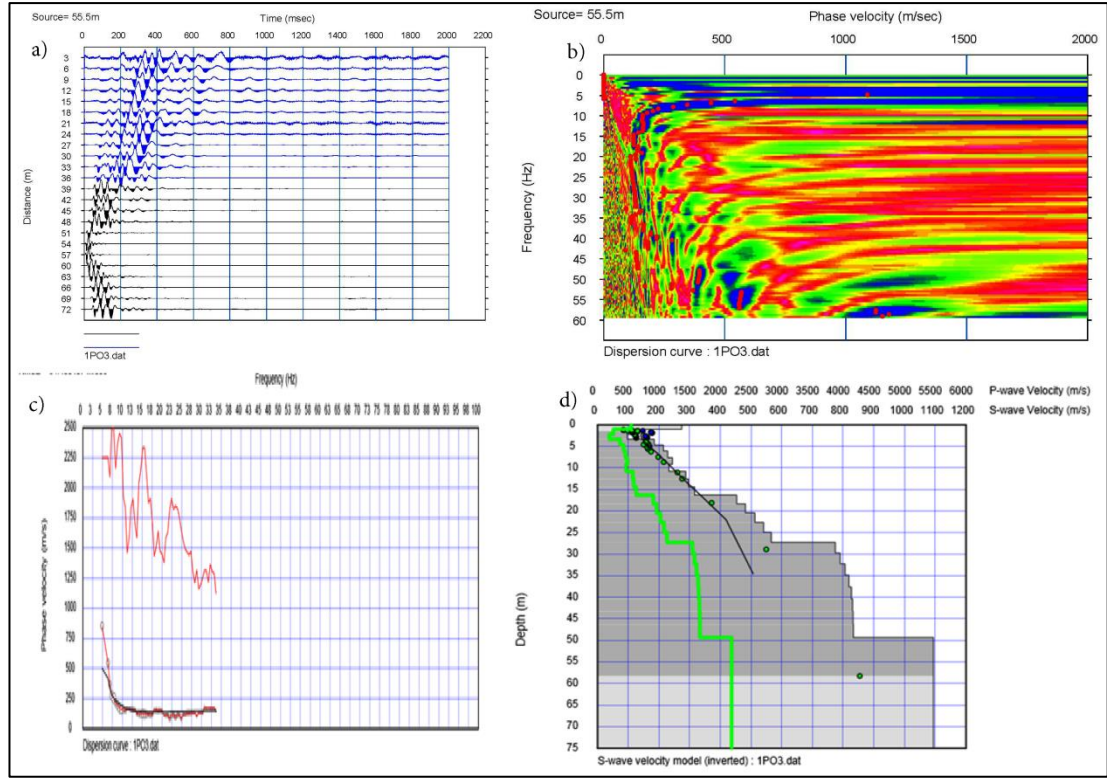
EK 6: Js-1 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 7: Js-1 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	285,6948	1,4671
1,06	206,0402	1,4076
2,25	117,7911	1,3401
3,57	158,5115	1,3714
5,03	217,0625	1,4159
6,62	275,1491	1,4593
8,34	280,3826	1,4632
10,19	308,6523	1,4840
12,18	309,0743	1,4843
14,29	433,7323	1,5742
16,54	462,9115	1,5948
18,93	497,9256	1,6193
21,44	650,1703	1,7226
24,09	684,4088	1,7452
26,87	714,6262	1,7649
29,78	739,7821	1,7812
32,82	974,2220	1,9266

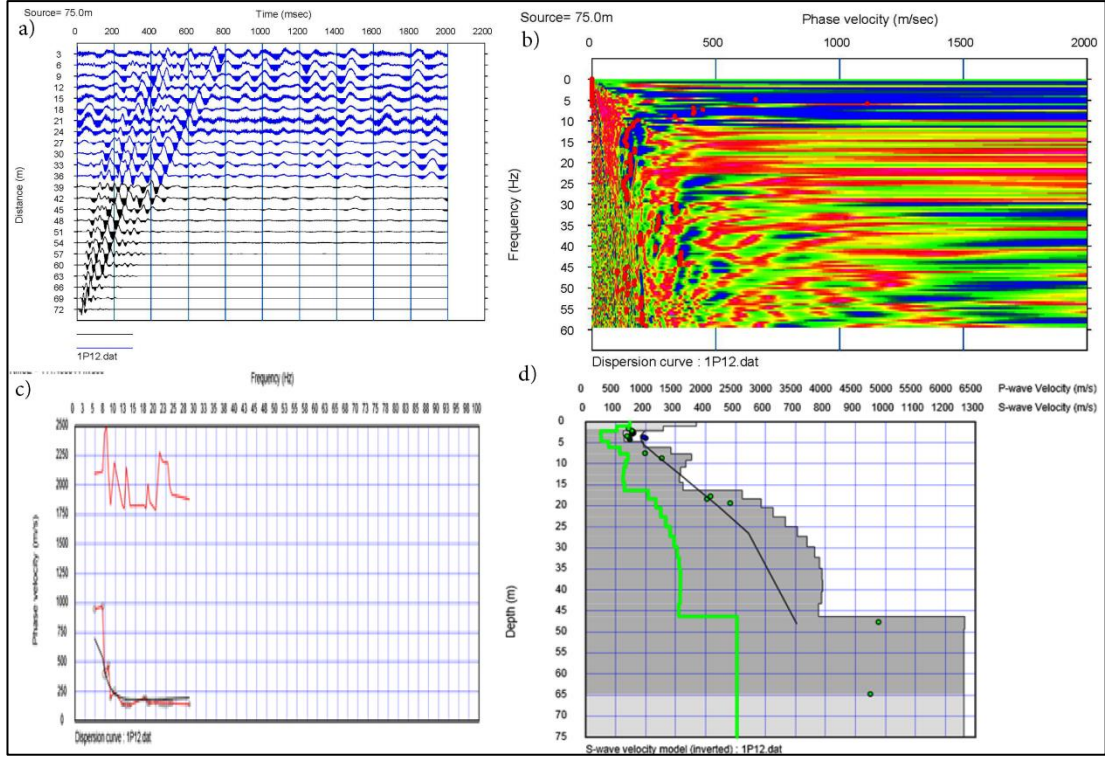
EK 8: Js-1 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 9: Js-1 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalgası hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	274,1905	1,4586	20,48	512,4350	1,6293
1,05	128,6711	1,3485	22,66	541,4581	1,6493
2,19	98,0010	1,3247	24,94	565,5621	1,6658
3,41	184,5953	1,3913	27,30	774,6207	1,8036
4,73	214,8047	1,4142	29,75	791,4511	1,8143
6,13	228,3862	1,4244	32,29	806,6290	1,8238
7,61	243,8605	1,4360	34,91	818,8446	1,8315
9,19	232,8765	1,4278	37,63	826,5374	1,8364
10,85	288,1464	1,4689	40,42	830,8410	1,8391
12,60	296,8369	1,4753	43,31	832,8325	1,8403
14,44	316,4069	1,4897	46,29	833,5283	1,8407
16,36	453,2870	1,5880	49,35	1093,9877	1,9965
18,38	481,7739	1,6080			

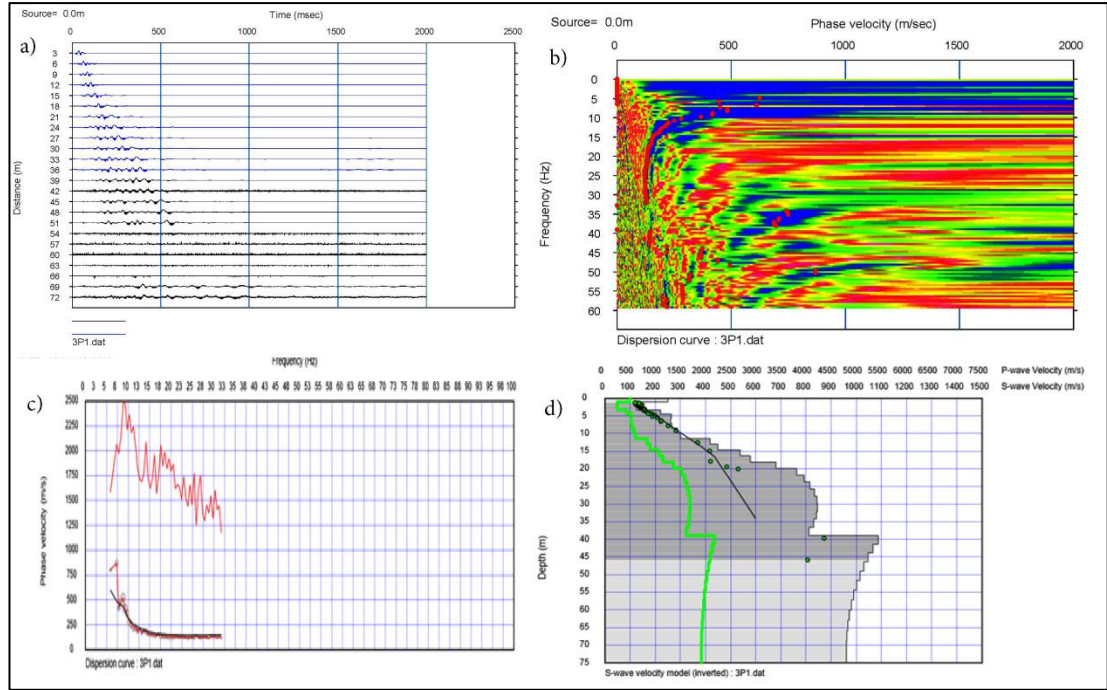
EK 10: Js-1 hattı ters atış noktası işlem aşamaları.



EK 11: Js-1 hattı ters atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	369,2968	1,5282	20,48	625,4162	1,7062
1,05	259,7874	1,4479	22,66	666,5964	1,7335
2,19	126,5034	1,3468	24,94	705,8544	1,7592
3,41	129,4863	1,3491	27,30	738,6950	1,7805
4,73	193,4131	1,3980	29,75	763,2048	1,7963
6,13	283,8772	1,4658	32,29	779,9439	1,8069
7,61	353,0970	1,5164	34,91	788,8648	1,8126
9,19	334,7952	1,5031	37,63	790,0868	1,8134
10,85	317,4262	1,4905	40,42	786,1925	1,8109
12,60	312,7813	1,4871	43,31	777,2343	1,8052
14,44	324,3906	1,4956	46,29	1263,1403	2,0901
16,36	522,8663	1,6365	49,35	1261,6081	2,0892
18,38	585,6245	1,6794			

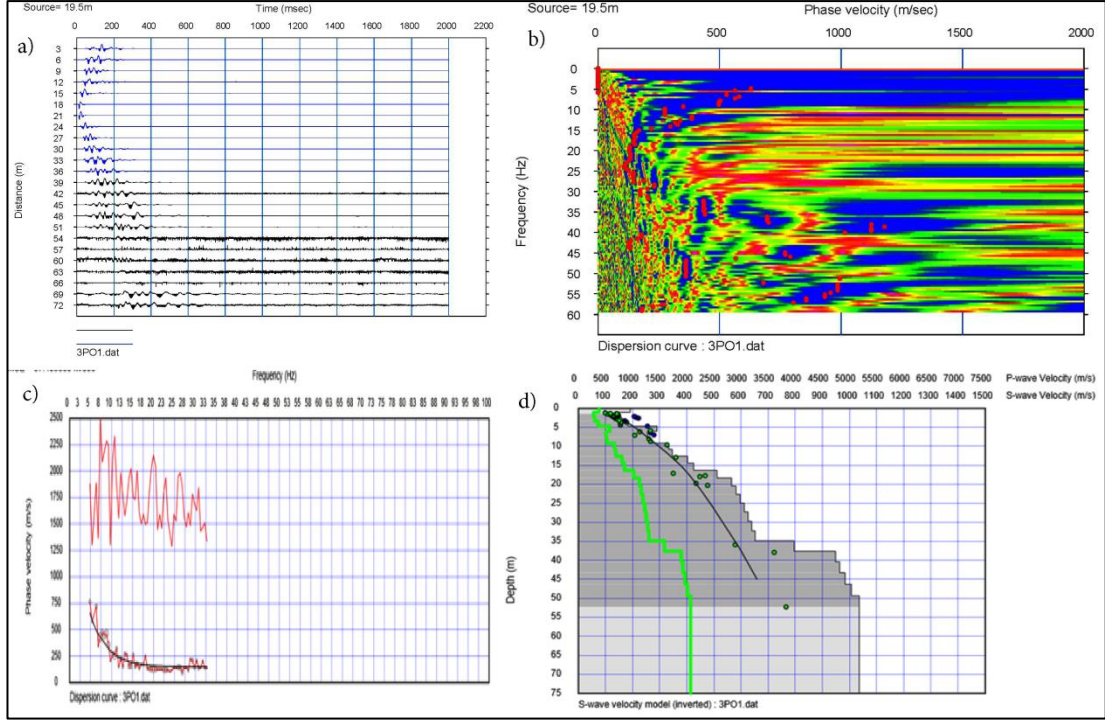
EK 12: Js-3 hattı düz atış noktası işlem aşamaları.



EK 13: Js-3 hattı düz atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	250,3605	1,4409	27,77	843,3517	1,8469
1,03	120,6200	1,3423	29,89	846,0512	1,8485
2,12	124,5116	1,3453	32,07	841,3575	1,8456
3,27	220,7370	1,4187	34,31	829,9649	1,8385
4,48	263,5224	1,4507	36,61	811,5079	1,8269
5,75	261,5146	1,4492	38,96	1087,0519	1,9925
7,08	266,0773	1,4526	41,38	1066,1365	1,9805
8,47	289,1278	1,4696	43,87	1046,8526	1,9693
9,92	300,6233	1,4781	46,41	1029,8864	1,9595
11,44	418,4831	1,5634	49,01	1014,9204	1,9507
13,01	449,6337	1,5855	51,67	1001,3558	1,9427
14,64	537,3250	1,6465	54,39	990,1078	1,9360
16,34	578,4929	1,6746	57,18	980,7264	1,9305
18,09	681,2170	1,7431	60,02	972,6449	1,9257
19,91	762,4540	1,7958	62,92	966,4741	1,9220
21,78	791,7339	1,8144	65,89	961,9670	1,9193
23,72	815,4325	1,8294	68,91	960,0749	1,9182
25,71	833,2443	1,8406			

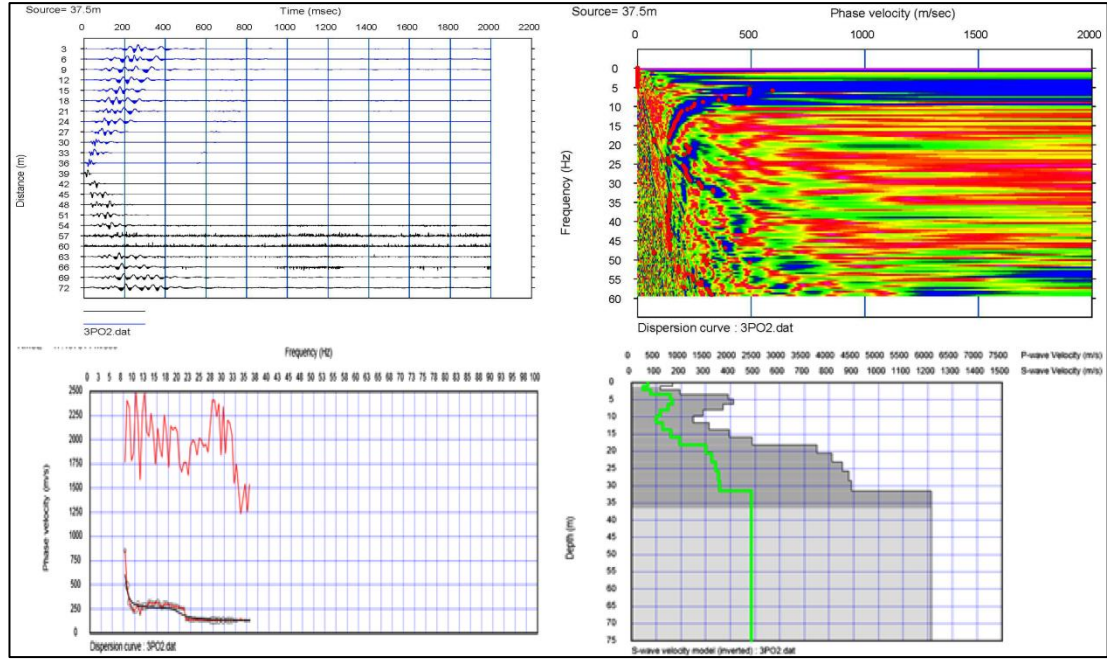
EK 14: Js-3 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 15: Js-3 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalgası hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	191,4105	1,3965	20,48	581,0834	1,6763
1,05	140,7697	1,3578	22,66	596,5078	1,6867
2,19	151,8929	1,3664	24,94	611,4554	1,6968
3,41	184,0099	1,3909	27,30	626,0185	1,7066
4,73	291,2372	1,4712	29,75	639,5871	1,7156
6,13	254,8302	1,4442	32,29	651,9000	1,7238
7,61	262,5678	1,4500	34,91	795,1515	1,8166
9,19	333,7569	1,5024	37,63	947,7955	1,9108
10,85	346,5198	1,5117	40,42	963,6500	1,9203
12,60	403,1592	1,5525	43,31	982,9824	1,9318
14,44	425,0921	1,5681	46,29	1006,6499	1,9458
16,36	512,0066	1,6290	49,35	1035,0741	1,9625
18,38	564,7087	1,6652			

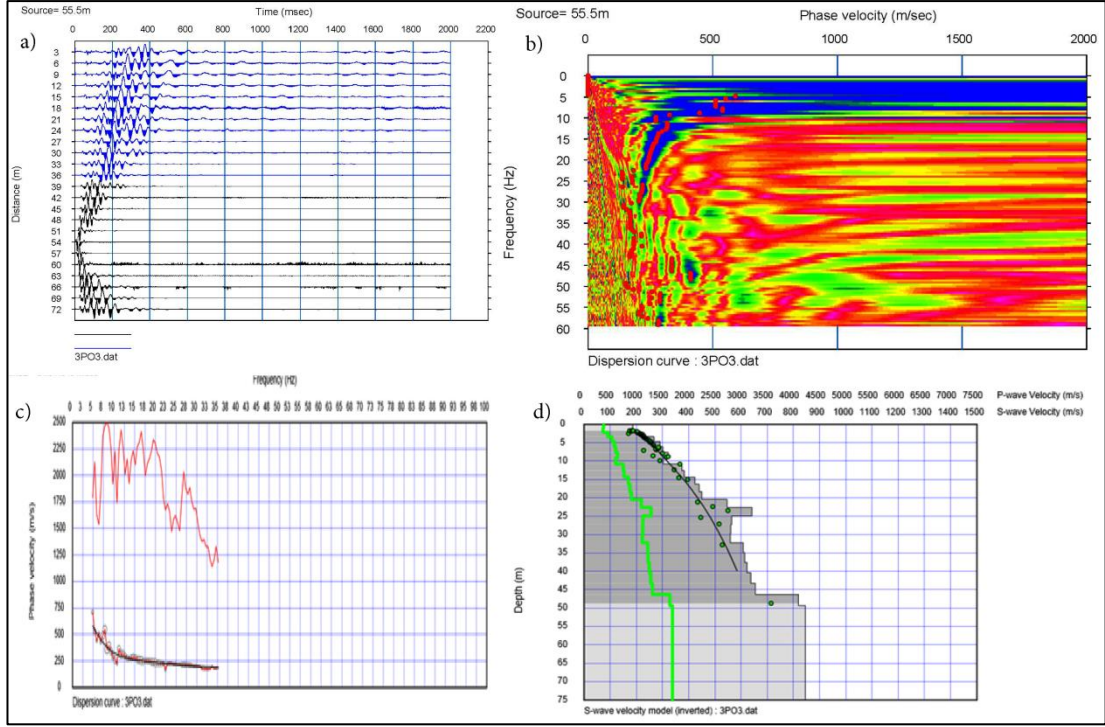
EK 16: Js-3 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 17: Js-3 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	166,4820	1,3775
1,01	116,1095	1,3388
2,16	195,7247	1,3998
3,42	391,3608	1,5440
4,82	413,3554	1,5598
6,34	371,1202	1,5295
7,99	290,2156	1,4704
9,77	248,9743	1,4398
11,67	314,3757	1,4882
13,70	396,0132	1,5474
15,85	488,7474	1,6129
18,14	751,0751	1,7885
20,55	811,3220	1,8268
23,08	853,7017	1,8533
25,75	878,8285	1,8688
28,54	890,3455	1,8759
31,46	1213,0327	2,0630

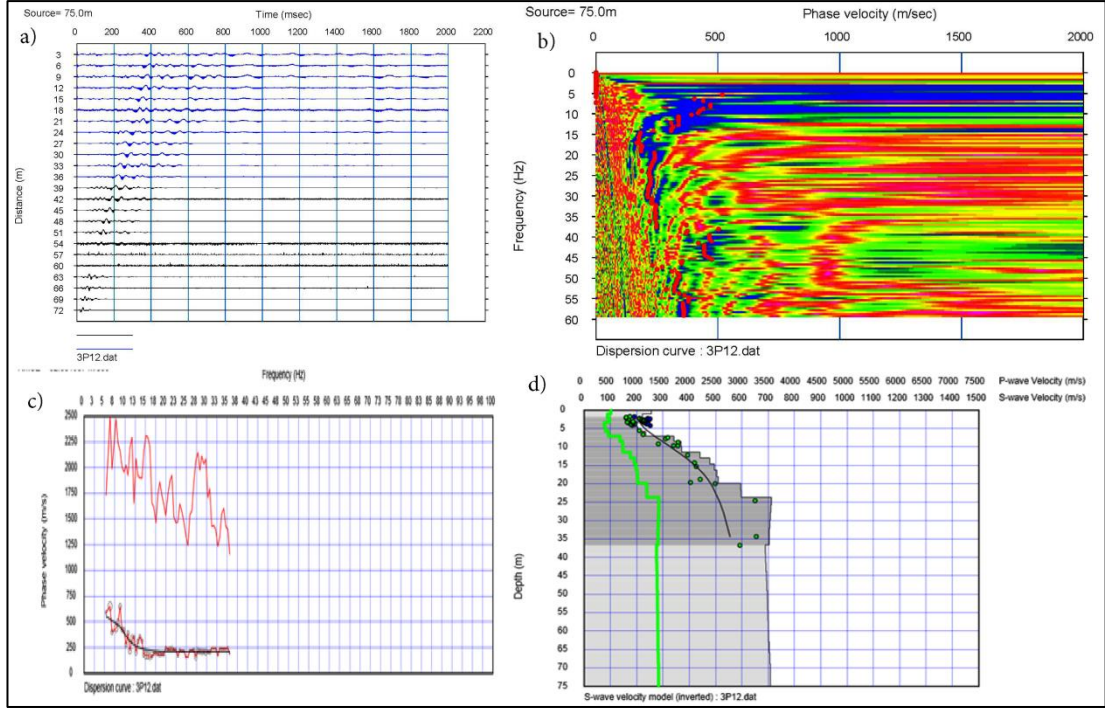
EK 18: Js-3 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 19: Js-3 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	185,7831	1,3922	20,48	546,5616	1,6528
1,05	182,6002	1,3898	22,66	640,8672	1,7165
2,19	228,1674	1,4243	24,94	563,9763	1,6647
3,41	266,7668	1,4531	27,30	560,7100	1,6625
4,73	291,0172	1,4710	29,75	558,0981	1,6607
6,13	300,6172	1,4781	32,29	609,1417	1,6952
7,61	321,7236	1,4936	34,91	613,2676	1,6980
9,19	302,8320	1,4797	37,63	622,6432	1,7043
10,85	373,9712	1,5315	40,42	636,5634	1,7136
12,60	382,7682	1,5379	43,31	654,5099	1,7255
14,44	423,6363	1,5671	46,29	819,3964	1,8319
16,36	439,1772	1,5781	49,35	845,1613	1,8480
18,38	450,7874	1,5863			

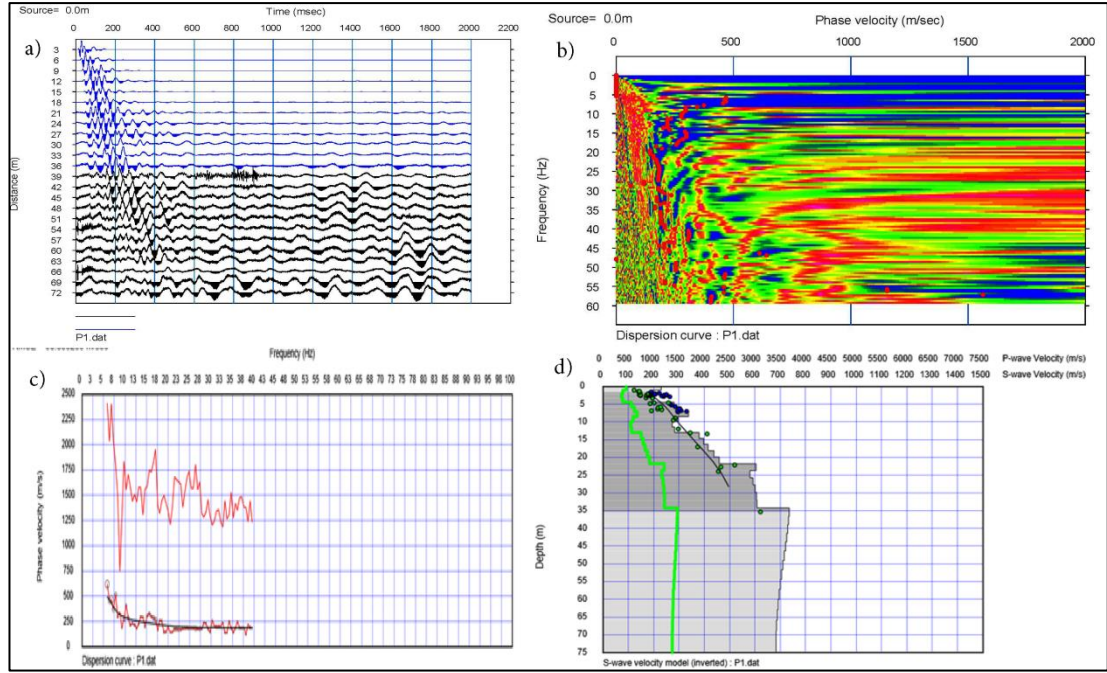
EK 20: Js-3 hattı ters atış noktası işlem aşamaları.



EK 21: Js-3 hattı ters atış noktası derinlik-s dalgı hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgı Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalgı Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	256,1268	1,4452	27,77	707,8965	1,7606
1,03	222,6295	1,4201	29,89	705,6788	1,7591
2,12	240,8659	1,4338	32,07	704,0823	1,7581
3,27	191,5274	1,3966	34,31	703,4309	1,7577
4,48	203,1817	1,4054	36,61	689,3052	1,7484
5,75	234,4716	1,4290	38,96	690,0851	1,7489
7,08	341,5434	1,5081	41,38	691,5116	1,7499
8,47	368,2324	1,5274	43,87	693,3187	1,7511
9,92	371,0724	1,5294	46,41	694,9832	1,7521
11,44	441,0386	1,5794	49,01	696,5561	1,7532
13,01	477,6491	1,6051	51,67	697,8690	1,7540
14,64	494,8474	1,6171	54,39	698,9280	1,7547
16,34	505,1479	1,6243	57,18	700,0787	1,7555
18,09	510,0020	1,6276	60,02	701,4696	1,7564
19,91	595,5811	1,6861	62,92	703,4052	1,7576
21,78	597,2193	1,6872	65,89	705,2780	1,7589
23,72	711,9695	1,7632	68,91	707,9517	1,7606
25,71	710,1811	1,7621			

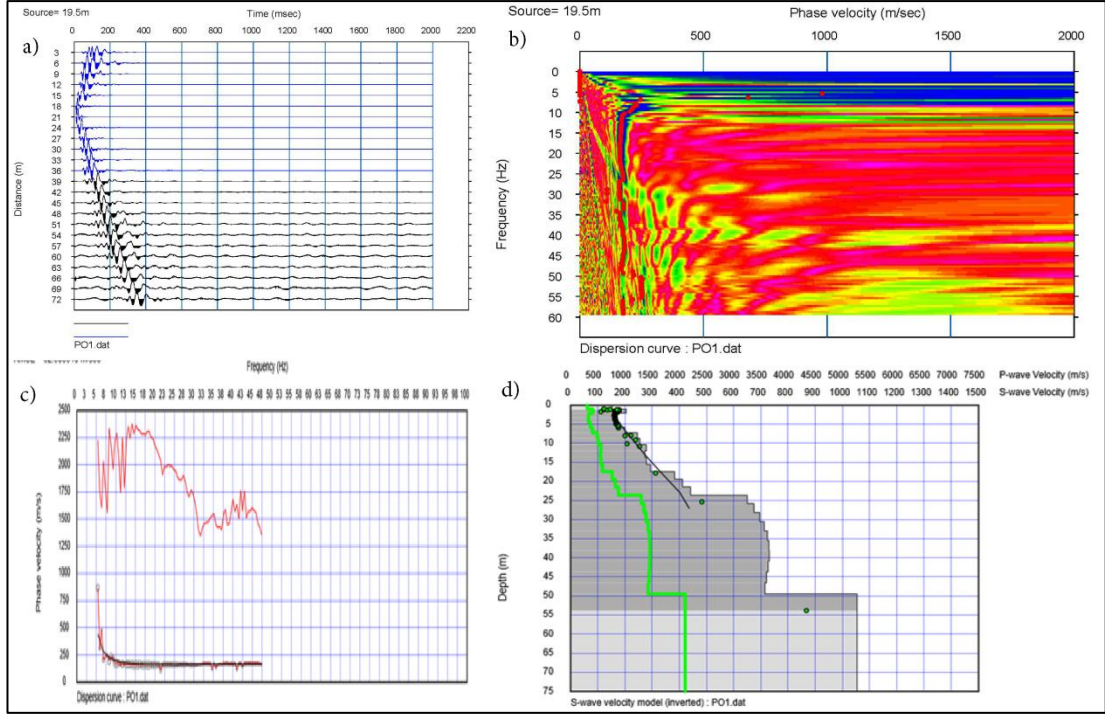
EK 22: Js-4 hattı düz atış noktası işlem aşamaları.



EK 23: Js-4 hattı düz atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	230,2760	1,4258	27,77	601,1715	1,6899
1,03	194,4496	1,3988	29,89	606,7836	1,6937
2,12	184,5953	1,3913	32,07	608,5180	1,6948
3,27	193,8395	1,3984	34,31	735,6520	1,7786
4,48	280,9036	1,4636	36,61	732,9511	1,7768
5,75	309,1996	1,4844	38,96	729,5948	1,7746
7,08	337,8524	1,5054	41,38	725,3662	1,7719
8,47	296,9252	1,4754	43,87	720,6442	1,7689
9,92	273,5400	1,4581	46,41	715,5753	1,7656
11,44	283,1931	1,4653	49,01	710,2985	1,7621
13,01	379,2598	1,5353	51,67	705,0996	1,7587
14,64	397,1151	1,5482	54,39	700,0218	1,7554
16,34	415,5317	1,5613	57,18	695,4598	1,7525
18,09	438,4625	1,5776	60,02	691,3494	1,7498
19,91	459,2445	1,5922	62,92	687,8901	1,7475
21,78	604,3588	1,6920	65,89	685,4520	1,7459
23,72	579,7390	1,6754	68,91	684,3097	1,7452
25,71	592,2545	1,6839			

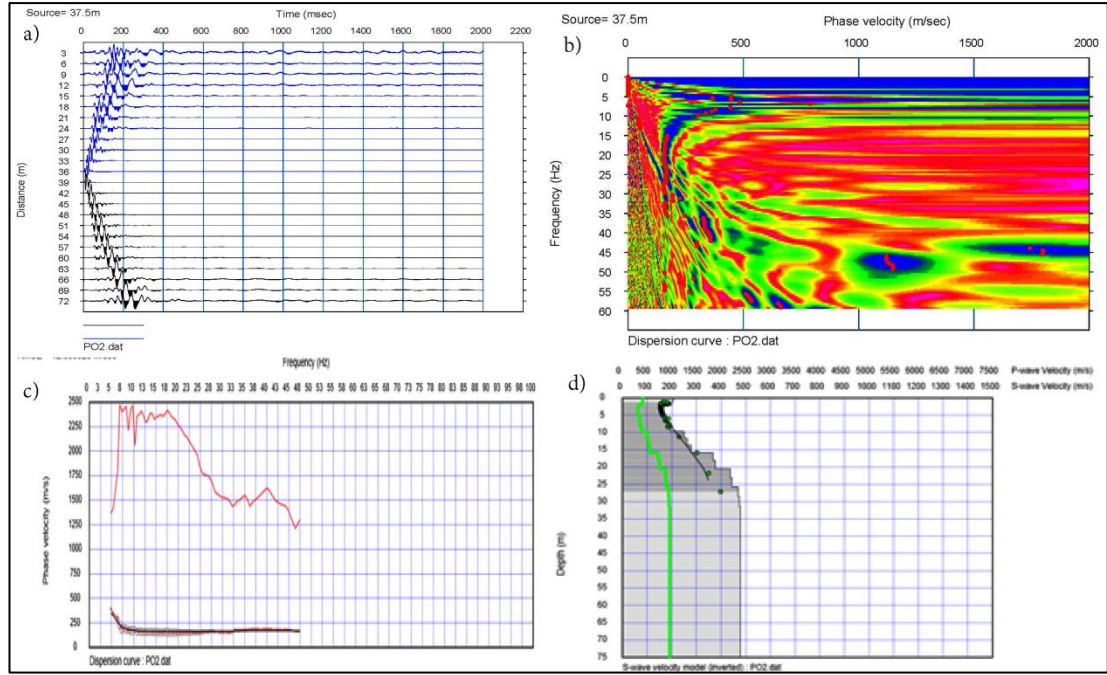
EK 24: Js-4 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 25: 12. Js-4 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalgı hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgı Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalgı Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	153,3909	1,3675	19,42	412,0745	1,5588
1,01	205,1000	1,4069	21,48	441,1937	1,5795
2,10	167,7097	1,3785	23,62	649,5776	1,7222
3,27	165,3305	1,3767	25,85	674,1796	1,7385
4,52	181,8744	1,3893	28,15	695,7394	1,7526
5,86	200,4364	1,4034	30,53	712,5812	1,7636
7,27	245,9166	1,4376	32,99	724,4152	1,7713
8,76	254,8973	1,4443	35,54	730,1416	1,7750
10,34	278,7426	1,4620	38,16	730,5523	1,7753
11,99	273,3957	1,4580	40,87	726,7872	1,7728
13,73	278,5773	1,4618	43,66	720,6682	1,7689
15,55	294,2750	1,4734	46,52	713,9797	1,7645
17,45	382,5689	1,5377	49,47	1053,8270	1,9734

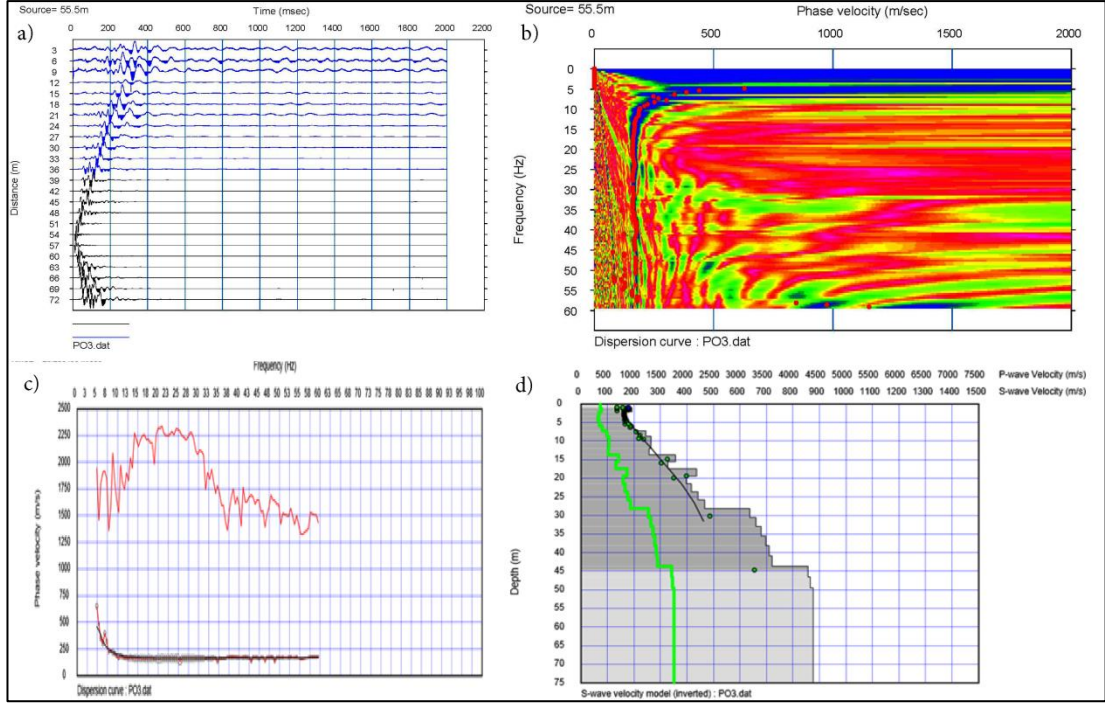
EK 26:Js-4 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 27: Js-4 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	205,5177	1,4072
1,01	201,9280	1,4045
2,16	159,9934	1,3726
3,42	154,3557	1,3683
4,82	170,2424	1,3804
6,34	179,7089	1,3876
7,99	193,4647	1,3981
9,77	249,0135	1,4399
11,67	263,0436	1,4503
13,70	277,3598	1,4609
15,85	367,0820	1,5266
18,14	377,3304	1,5340
20,55	437,4782	1,5769
23,08	444,1119	1,5816
25,75	468,8189	1,5989
28,54	473,9430	1,6025
31,46	479,1505	1,6062

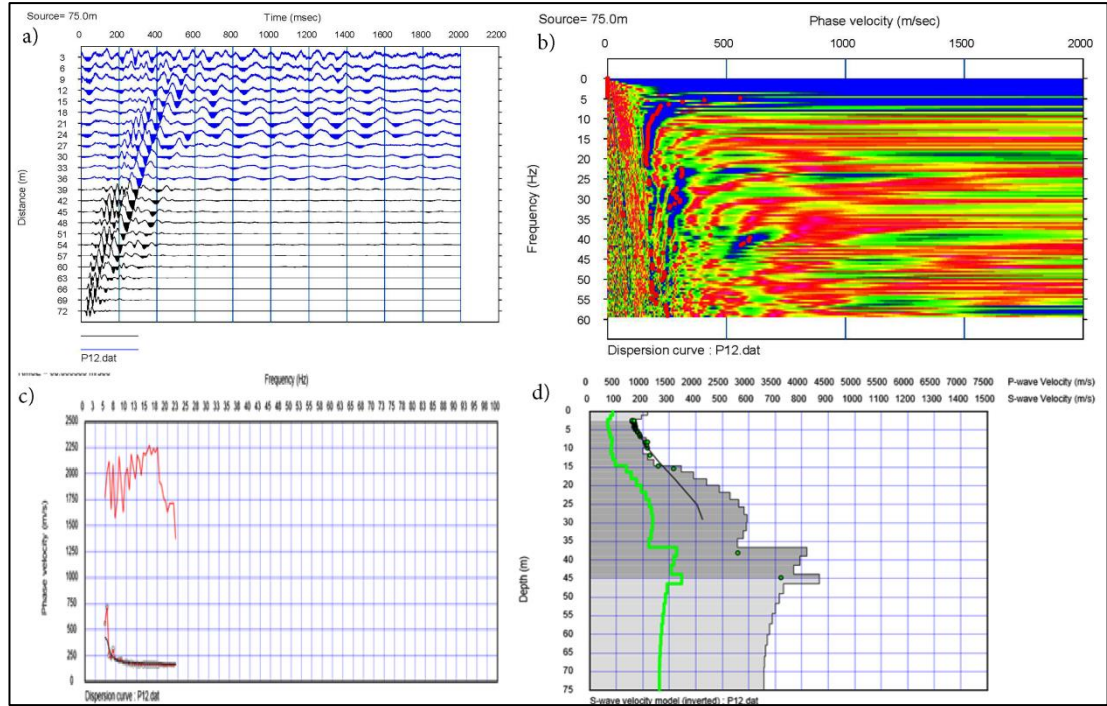
EK 28: Js-4 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 29: Js-4 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	180,7765	1,3884	19,42	396,5972	1,5478
1,01	192,1822	1,3971	21,48	416,7035	1,5621
2,10	169,2484	1,3796	23,62	441,3321	1,5796
3,27	162,3980	1,3744	25,85	467,0309	1,5977
4,52	173,5152	1,3829	28,15	636,6563	1,7137
5,86	199,8973	1,4029	30,53	659,4894	1,7288
7,27	245,5142	1,4373	32,99	680,0880	1,7424
8,76	264,5942	1,4515	35,54	697,1341	1,7535
10,34	263,1408	1,4504	38,16	710,5150	1,7623
11,99	256,7620	1,4456	40,87	720,6761	1,7689
13,73	356,4934	1,5189	43,66	856,6608	1,8551
15,55	327,6084	1,4979	46,52	865,1125	1,8604
17,45	435,6819	1,5756	49,47	876,1028	1,8672

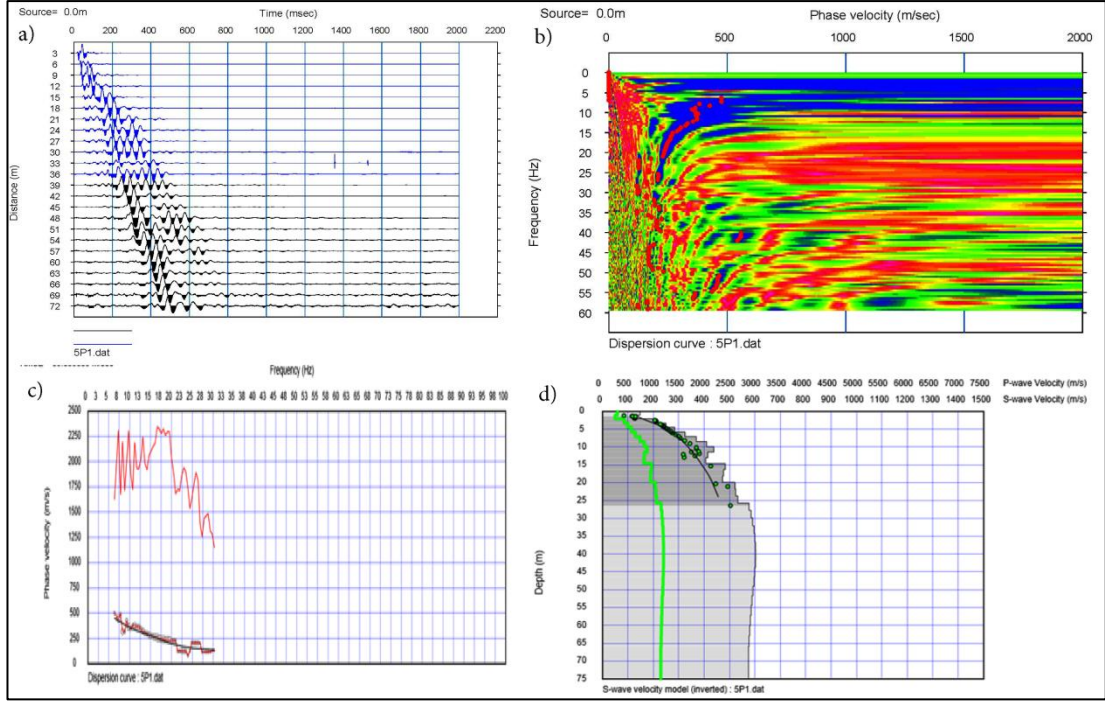
EK 30: Js-4 hattı ters atış noktası işlem aşamaları.



EK 31: Js-4 hattı ters atış noktası derinlik-s dalgası hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	217,6672	1,4164	27,77	592,8960	1,6843
1,03	194,7558	1,3990	29,89	591,2181	1,6832
2,12	168,8745	1,3794	32,07	579,1156	1,6750
3,27	171,0145	1,3810	34,31	557,0688	1,6600
4,48	180,2216	1,3880	36,61	819,1950	1,8318
5,75	193,3828	1,3980	38,96	792,7932	1,8151
7,08	212,8549	1,4127	41,38	769,1436	1,8001
8,47	205,7876	1,4074	43,87	866,1012	1,8610
9,92	200,0453	1,4031	46,41	730,5563	1,7753
11,44	218,0769	1,4167	49,01	714,8076	1,7651
13,01	241,3492	1,4341	51,67	700,7884	1,7559
14,64	345,5307	1,5110	54,39	688,4171	1,7478
16,34	391,8705	1,5444	57,18	678,1683	1,7411
18,09	440,9923	1,5794	60,02	669,9728	1,7357
19,91	488,1884	1,6125	62,92	663,5588	1,7315
21,78	529,3041	1,6410	65,89	658,9149	1,7284
23,72	561,2690	1,6629	68,91	656,2876	1,7267
25,71	582,8167	1,6775			

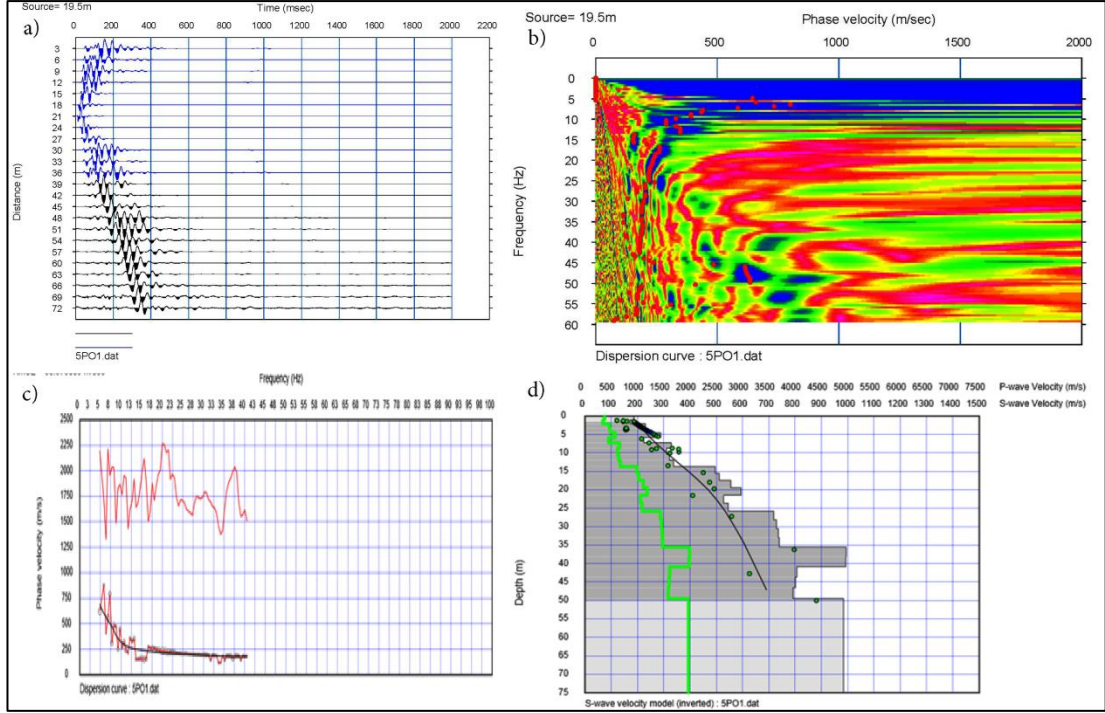
EK 32: Js-5 hattı düz atış noktası işlem aşamaları.



EK 33: Js-5 hattı düz atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	147,8959	1,3633	27,77	584,7929	1,6788
1,02	123,4430	1,3444	29,88	591,6835	1,6834
2,11	214,4498	1,4139	32,06	596,8105	1,6869
3,26	249,4592	1,4401	34,30	600,2767	1,6892
4,47	284,0135	1,4658	36,60	602,2685	1,6906
5,74	324,3840	1,4955	38,96	602,6276	1,6908
7,07	369,9566	1,5286	41,38	601,5487	1,6901
8,47	409,9770	1,5573	43,86	599,2904	1,6886
9,92	438,3017	1,5774	46,40	596,1060	1,6864
11,43	413,8669	1,5601	49,00	592,4587	1,6840
13,00	406,7024	1,5550	51,67	588,8609	1,6814
14,64	483,6182	1,6092	54,39	585,2668	1,6791
16,33	476,5232	1,6043	57,17	582,1865	1,6770
18,09	473,0336	1,6018	60,02	579,3909	1,6751
19,90	520,8083	1,6351	62,92	577,0459	1,6735
21,78	525,0893	1,6380	65,88	575,3186	1,6724
23,71	531,8651	1,6427	68,91	574,2730	1,6717
25,71	576,8026	1,6734			

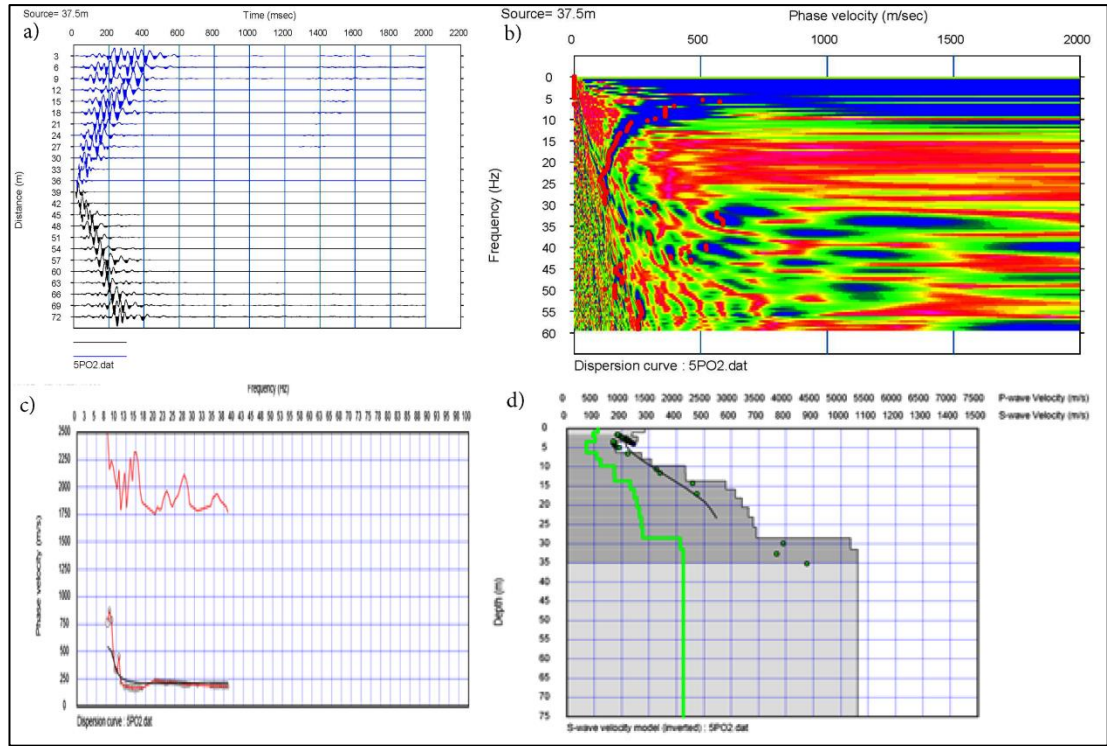
EK 34: Js-5 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 35: Js-5 hattı 6-7 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	185,9103	1,3923	19,42	594,5613	1,6854
1,01	171,4305	1,3813	21,48	527,8057	1,6399
2,10	231,2026	1,4265	23,62	545,4672	1,6521
3,27	240,8853	1,4338	25,85	718,3879	1,7674
4,52	288,6432	1,4693	28,15	729,0498	1,7743
5,86	223,8222	1,4210	30,53	736,5653	1,7792
7,27	329,5777	1,4993	32,99	739,2512	1,7809
8,76	310,7788	1,4856	35,54	993,9163	1,9383
10,34	321,2362	1,4932	38,16	992,4264	1,9374
11,99	338,4269	1,5058	40,87	805,7281	1,8233
13,73	496,5272	1,6183	43,66	800,2973	1,8198
15,55	510,9347	1,6283	46,52	792,0418	1,8146
17,45	555,1440	1,6587	49,47	983,8029	1,9323

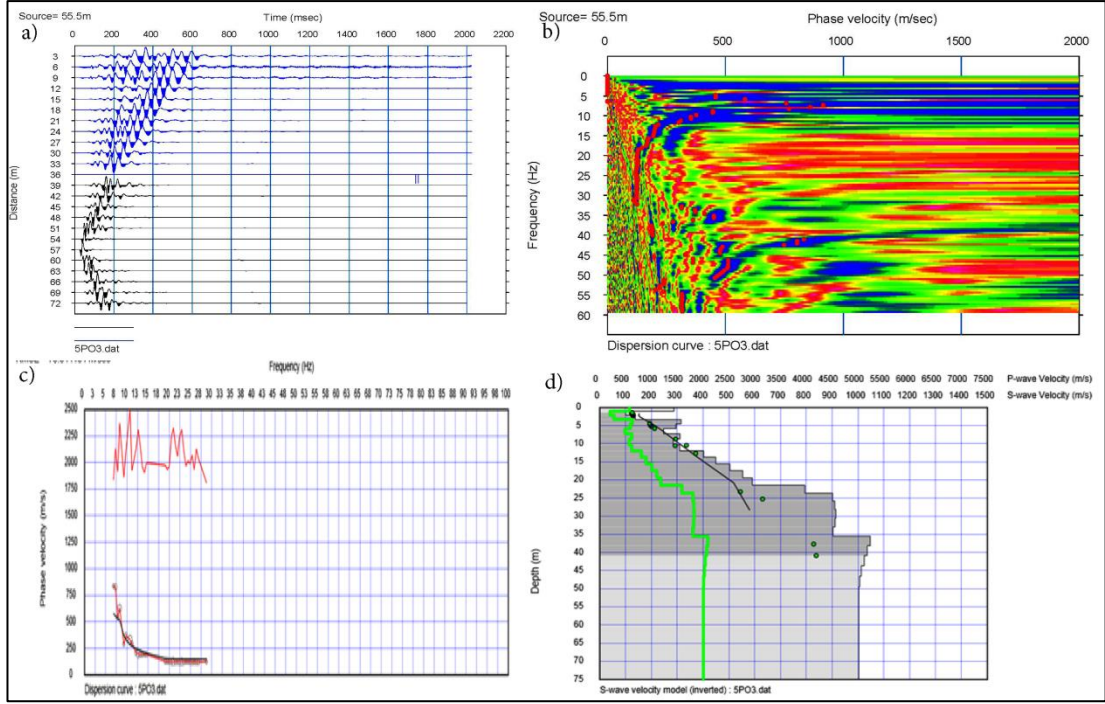
EK 36: Js-5 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 37: Js-5 hattı 12-13 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalgası hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalgası Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	284,7019	1,4664
1,01	238,4185	1,4319
2,16	257,8775	1,4465
3,42	179,5195	1,3875
4,82	178,3949	1,3866
6,34	271,9112	1,4569
7,99	308,3997	1,4838
9,77	432,7138	1,5735
11,67	434,3552	1,5747
13,70	580,5038	1,6759
15,85	615,0742	1,6992
18,14	639,4027	1,7155
20,55	663,1952	1,7313
23,08	680,8776	1,7429
25,75	691,2584	1,7497
28,54	1035,5155	1,9627
31,46	1061,7439	1,9780

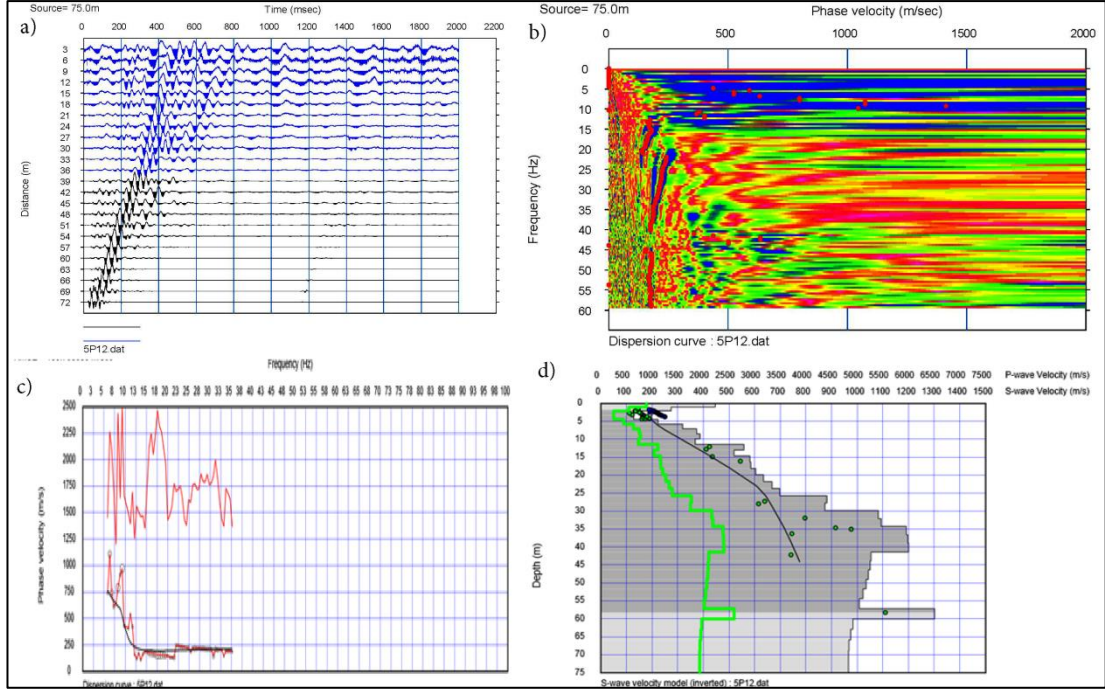
EK 38: Js-5 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası işlem aşamaları.



EK 39: Js-5 hattı 18-19 no'lu jeofonlar arası atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	287,8272	1,4687	19,42	590,8099	1,6829
1,01	100,6934	1,3268	21,48	794,7194	1,8163
2,10	137,1272	1,3550	23,62	900,8518	1,8823
3,27	314,8320	1,4886	25,85	909,6056	1,8877
4,52	295,3447	1,4742	28,15	913,8694	1,8903
5,86	247,1293	1,4385	30,53	911,4174	1,8888
7,27	310,5879	1,4854	32,99	903,1797	1,8838
8,76	284,1773	1,4660	35,54	1047,6533	1,9698
10,34	309,0331	1,4843	38,16	1035,1695	1,9625
11,99	402,2215	1,5518	40,87	1023,2468	1,9556
13,73	449,2713	1,5852	43,66	1012,6374	1,9493
15,55	503,4544	1,6231	46,52	1005,4861	1,9451
17,45	553,8741	1,6578	49,47	1002,4208	1,9433

EK 40: Js-5 hattı ters atış noktası işlem aşamaları.



EK 41: Js-5 hattı ters atış noktası derinlik-s dalga hızı-yoğunluk tablosu.

Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Derinlik (m)	S-Dalga Hızı (m/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,00	445,7428	1,5827	27,77	874,2615	1,8660
1,03	274,0229	1,4585	29,89	1082,1679	1,9897
2,12	126,5152	1,3468	32,07	1093,5829	1,9962
3,27	128,2136	1,3482	34,31	1191,1172	2,0509
4,48	223,6839	1,4209	36,61	1196,7005	2,0540
5,75	319,0062	1,4916	38,96	1200,0537	2,0559
7,08	374,0148	1,5316	41,38	1054,3326	1,9737
8,47	387,2592	1,5411	43,87	1050,2669	1,9713
9,92	368,3261	1,5275	46,41	1043,3263	1,9673
11,44	558,8719	1,6612	49,01	1033,9270	1,9618
13,01	520,6049	1,6350	51,67	1022,3150	1,9550
14,64	581,3625	1,6765	54,39	1008,3174	1,9468
16,34	584,1566	1,6784	57,18	1301,5705	2,1105
18,09	603,7588	1,6916	60,02	983,1740	1,9319
19,91	634,4859	1,7122	62,92	974,5954	1,9268
21,78	667,3419	1,7340	65,89	968,2406	1,9230
23,72	698,0782	1,7542	68,91	965,2861	1,9213
25,71	881,6233	1,8706			

ÖZGEÇMİŞ

Ersin DAĞ, 01.07.1989 tarihinde İstanbul'un Beykoz ilçesinde doğdu. İlköğretim eğitimini Üsküdar Kandilli İlköğretim okulunda tamamladı. 2006 yılında Üsküdar Cumhuriyet Lisesi'nden mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde 2008 ile 2012 yılları arasında eğitim gördü. Aynı yıl olan 2012'de Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Lisans eğitiminin ikinci yılından itibaren sırası ile Geosan A.Ş., Rumeli Zemin ve İnş. Ltd. Şti. ve Tekin Mühendislik Ltd. Şti. firmalarında saha mühendisi, şantiye şefi ve proje müdürü olarak ulusal ve uluslararası birçok büyük projede aktif olarak rol aldı.