

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZMİR BALÇOVA
KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONU
ZEMİN ŞARTLARININ JEOFİZİK
YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Erim Refik ONGUN

Aralık, 2010

İZMİR

İZMİR BALÇOVA
KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONU
ZEMİN ŞARTLARININ JEOFİZİK
YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Erim Refik ONGUN

Aralık, 2010
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERİM REFİK ONGUN, tarafından **DOÇ. DR. MUSTAFA AKGÜN** yönetiminde hazırlanan **“İZMİR BALÇOVA KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONU ZEMİN ŞARTLARININ JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa AKGÜN

Danışman

Prof. Dr. M. Yalçın KOCA

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Orhan POLAT

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu lisansüstü çalışması, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı (1007 Projesi) 106G159 nolu “İzmir Metropolü ile Aliğa ve Menemen İlçelerinde Güvenli Yapı Tasarımı İçin Zeminin Sismik Davranışlarının Modellenmesi” projesi tarafından desteklenmiştir.

Öğrencilik hayatımda geçirdiğim zor günleri aşmamı sağlayan, çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, her türlü bilgi ve yardımlarını benimle paylaşan sayın Doç.Dr. Mustafa AKGÜN başta olmak üzere, tezim süresince desteğini esirgemeyen sayın Prof.Dr. Zafer AKÇIĞ’a, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sn. Yrd.Doç.Dr. Orhan POLAT’a, Öğr.Gör.Dr. Petek SINDIRGI’ya, Öğr.Gör.Dr. Özer AKDEMİR’e, Öğr.Gör.Dr. Şenol ÖZYALIN’a ve Araş.Gör.Dr. Tolga GÖNENÇ’e,

Arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Jeof.Müh. Hilmi DİNDAR’a, Jeof.Müh. M. Murat BOZDEMİR’e, Jeof.Müh. Seray SEÇKİN’e, Jeof.Müh. Barış BEKTAŞ’a, Jeof.Müh. Emir Y. ERSAY’a, Jeof.Müh. Mehmet ÇETİNER’e, Jeof.Müh. Levent DURMUŞ’a, Jeof.Müh. Mustafa ACAR’a, ve gerek arazi çalışmalarında gerekse veri işlem aşamasında yardımcı olan TUBİTAK KAMAG 106G159 proje ekibine katkılarından dolayı,

Ayrıca, bugünlere gelmemi sağlayan, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme; her vazgeçtiğimde beni tekrardan cesaretlendirip motive eden, her zaman yanımda olan Öğr.Gör. Merve ZEYREK’e teşekkürü bir borç bilirim.

İZMİR BALÇOVA KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONU ZEMİN ŞARTLARININ JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Depremın yıkıcı gücüne karşı koyabilecek bir yapının inşa edilmesi, deprem felaketinin en baştan yok edilmesi için büyük bir avantajdır. Bu avantajı yakalamak için jeofizik, jeoloji ve inşaat mühendislerinin etkili bir biçimde çalışması gerekmektedir. Binanın yapılacağı zemin özelliklerinin bilinmesi, deprem sırasında zeminin ve üzerindeki yapının nasıl davranacağını ortaya konulması, yapının zemin özelliklerine uygun olarak inşa edilmesi depreme karşı savaşta önemli bir adımı oluşturmaktadır.

Bölgenin, depremle son derece hareketli bir ilişkiye sahip olduğu, bu özelliğiyle bölge morfolojisinin şekillenmesinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. İzmir ve Çevresi, Batı Anadolu deprem rejimi içinde deprem aktivitesi çok yüksek ve hasar riski üst seviyede olan birinci derece deprem bölgesidir.

Bu çalışmada, İzmir Metropolitan alanına kurulan 16 adet kuvvetli yer hareketi kayıtçısından biri olan BLC kodlu Balçova kuvvetli yer hareketi istasyonunun kurulum alanı ve çevre bölgesinin seçilmesinde, istasyonun bulunduğu zemin şartlarının kendi içinde ve çevre yapılara göre farklılık göstermesi sonucu olası bir depremde farklı bir zemin karakteristiği gösterebilme riski önemli rol oynamıştır.

Öngörülen sorunların belirlenmesi hedeflenerek, Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW), Düşey Elektrik Sondajı (DES), Özdirenç Tomografi ve Mikrotremor ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca derinliği 40 metreye erişen karotlu zemin sondajı açılmıştır. Kuyu açımı sırasında zemin geçilen zonlarda standart penetrasyon deneyi (SPT) her 1,5 metrede bir kez tekrarlanarak uygulanmıştır.

İkinci aşamada ise ön değerlendirme sonuçlarına göre çalışmalar genişletilerek, yöne bağlı olarak zemin özelliklerinin değişimi irdelenmiştir. Bu aşamada elde edilen tüm jeofizik sonuçlar mekanik sondaj ile birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Balçova – İnciraltı kuvvetli yer hareketi istasyonunun bulunduğu bölgenin zemin grubu ve zemin sınıflaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrobölgelendirme, spektral oran, MASW, mikrotremor, zemin sınıflaması.

INVESTIGATION OF GROUND CONDITIONS BY GEOPHYSICAL METHODS AT İZMİR BALÇOVA STRONG MOTION STATION

ABSTRACT

To build a structure to resist the destructive power of the earthquake is a great advantage for the prevention of disaster from the beginning. To achieve this advantage, the engineers of geophysics, geology and construction, must work effectively. To know the properties of ground where the building be done, to introduce how the ground and the structure on the ground act during the earthquake, is the major step of the war against earthquakes.

It was observed that this region had an extremely dynamic relationship with earthquakes; and played an important role in the formation of the region's morphology by means of this feature. Izmir and its Surrounding Region have a significant location within the West Anatolia seismological regime. Izmir and its surroundings is a region with a high seismic activity; and carry a high risk of damage.

There are 16 pieces of strong ground motion measurement stations established. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) studies, Vertical Electrical Resistivity Sounding (VES) and Resistivity Tomography studies, and microtremor measurements have been carried out. In addition, the geotechnical borehole drilling with the depth 40 m and Standard Penetration Tests (SPT) were obtained.

At the second stage, according to the results of the preliminary assessment at Balçova (BLC) station, the change of soil properties depending on the change of direction were examined. It was concluded that a micro scale study should be done while the soil classification and soil group are realized in the region of Balçova - İnciralti, which is based on the all results obtained.

Keywords: microzonation, spectral ratio, MASW, microtremor, soil classification.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - JEOLojİ.....	3
2.1 İzmir ve Yöresinin Genel Jeolojisi.....	3
2.2 Çalışma Alanının Jeolojisi.....	6
BÖLÜM ÜÇ - KURAMSAL BİLGİLER	7
3.1 Uygulamalı Jeofizik Yöntemler	7
3.1.1 Elektrik Özdirenç Yöntem.....	7
3.1.1.1 DES Tekniği.....	8
3.1.1.2 Özdirenç Tomografi Yöntemi.....	9
3.1.2 Çok Kanallı Yüzey Dalgaları (MASW) Yöntemi	10
3.1.3 Mikrotremor Yöntemi.....	15
3.1.3.1 Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi.....	15
3.1.3.2 Nakamura (H/V Spektral Oran) Tekniği.....	16
3.1.3.3 Mikrotremör Verilerinin Kullanım Amaçları.....	20
3.1.3.4 QTS ile Taban Derinliği Arasındaki İlişki.....	23
3.1.3.5 Hakim Büyütme,Hakim Periyot ve Frekansların Bulunması.....	24
3.2 Uygulamalı Jeofizik Çalışmalara Göre Zemin Sınıflaması.....	26
BÖLÜM DÖRT - ARAZİ ÇALIŞMALARI VE UYGULAMALAR.....	30
4.1 Giriş	30
4.2 Çalışma Alanının Konumu	31
4.3 Çalışma Alanındaki Uygulamalar	32

4.3.1 Karotlu ve Standart Penetrasyon Deneyli Zemin Sondajı	33
4.3.2 Düşey Elektrik Sondaj (DES) Yöntemi	35
4.3.3 Özdirenç Tomografi Yöntemi.....	36
4.3.4 Çok Kanallı Yüzey Dalgaları (MASW) Yöntemi	37
4.3.5 Mikrotremor Yöntemi.....	40
BÖLÜM BEŞ - SONUÇ VE ÖNRİLER	46
KAYNAKLAR	52
EK.....	57
EK - Sondaj Kuyu Logu.....	58
SİMGELER	60
KISALTMALAR	61
ŞEKİLLER	62
TABLolar.....	64

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Deprem gibi çok karmaşık neden-sonuç ilişkileri olan, büyük enerjileri açığa çıkaran olaylar karşısında, ilgili tüm bilim ve mühendislik dalları ortak çalışmak zorundadır. Depremlerin zararlarını en aza indirmek için jeofizik, jeoloji ve inşaat mühendisliği disiplinleri tarafından yapılan araştırmalar son derece yararlı ve etkilidir. Bu açıdan bakıldığında, farklı disiplinlerin ortak çalışmaları ile depremin zararlarını azaltmak büyük önem kazanmaktadır.

Zeminlerin kendi içinde homojen yapıda olmadıkları ve bu sebeple farklı periyotlarda salınım yaptıklarının belirlenmesinden sonra bölgelendirme çalışmalarının daha genişletilerek çok disiplinli bir sistemle yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu sebeple, arazide alınan mikrotremor kayıtlarından elde edilen dinamik zemin parametrelerinin, diğer jeolojik, jeofizik ve jeoteknik yöntemlerle desteklenerek mikro bölgelendirme çalışmalarının genişletilmesi, sonuçların detaylandırılmasında büyük rol oynayacaktır. Mühendislik amaçlı uygulamalara temel oluşturması ve projelendirme çalışmaları için bilgi sağlaması açısından mikro bölgelendirme büyük önem taşımaktadır. Amaca yönelik, uygun ve doğru çalışmalar ile deprem ve benzeri yer hareketlerinin bölgesel etkilerinden korunmak mümkündür.

Zemin dinamik parametreleri, çok disiplinli yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla birlikte daha yüksek bir doğrulukta saptanabilir. Zeminin sahip olduğu dinamik parametrelerin belirlenmesi, yapılaşma öncesinde bir zorunluluktur. Yapılaşmanın oluşturulmasında depreme dayanıklı bina tasarımı, depremlerin hasarlarının azaltılmasında en önemli görevlerin başında yer almaktadır. Binanın yapılacağı zemin özelliklerinin belirlenmesi, deprem sırasında zeminin ve üzerindeki yapının nasıl davranacağına ortaya konulması, yapının zemin özelliklerine uygun olarak inşa edilmesi depreme karşı savaşta önemli bir adımı oluşturmaktadır.

TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı (1007 Projesi) 106G159 nolu “İzmir Metropolü ile Aliğa ve Menemen İlçelerinde Güvenli Yapı Tasarımı İçin Zeminin Sismik Davranışlarının Modellenmesi” projesi kapsamında, hızla büyüyen nüfus yoğunluğu ve sanayileşme bakımından sürekli gelişim gösteren İzmir metropolü yerleşim alanı, ivme-ölçer kayıtçılar ile jeofizik, jeolojik ve jeoteknik ölçümlere dayalı yer hareketi davranış modelleri üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, 106G159 no’lu TÜBİTAK projesi kapsamında, Balçova – İnciraltı ilçesinde DEU Deniz Bilimleri Enstitüsü arka bahçesine kurulmuş BLC kuvvetli yer hareketi istasyonunun zemin özellikleri jeofizik çalışmalarla araştırılmıştır. Özellikle bu alanın seçilmiş olmasının nedenleri, İzmir Fayı’ na yakın olması, güncel tortullar içermesi ile denize yakın olması, zeminin su içeriği yüksek olmasıdır.

Çalışmanın izlencesinde önce, jeofizik yöntemlerle ortam araştırılmış, daha sonra mekanik sondaj verileriyle bu sonuçlar karşılaştırılmıştır. Jeofizik yöntemlerden Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) (Özçep, F., Karabulut, S., Alp, H., and Ozel, O. 2009), Düşey Elektrik Sondajı (DES) (Başokur, A.T., 2004), Özdirenc Tomografi (Loke, M.H., 2001), Mikrotremor (Kanai, K., Tanaka, T. 1961) kullanılmıştır.

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 İzmir ve Yöresinin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı İzmir ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu bağlamda İzmir ili ve yakın çevresinin genel jeolojik özelliklerine bakıldığında; İzmir ili ve çevresinde yer alan kaya birimleri üç ana grupta toplanabilir. Bunlar; Bornova Karmaşığı, Yamanlar Volkanitleri ve Gölsel Tortullar' dır.

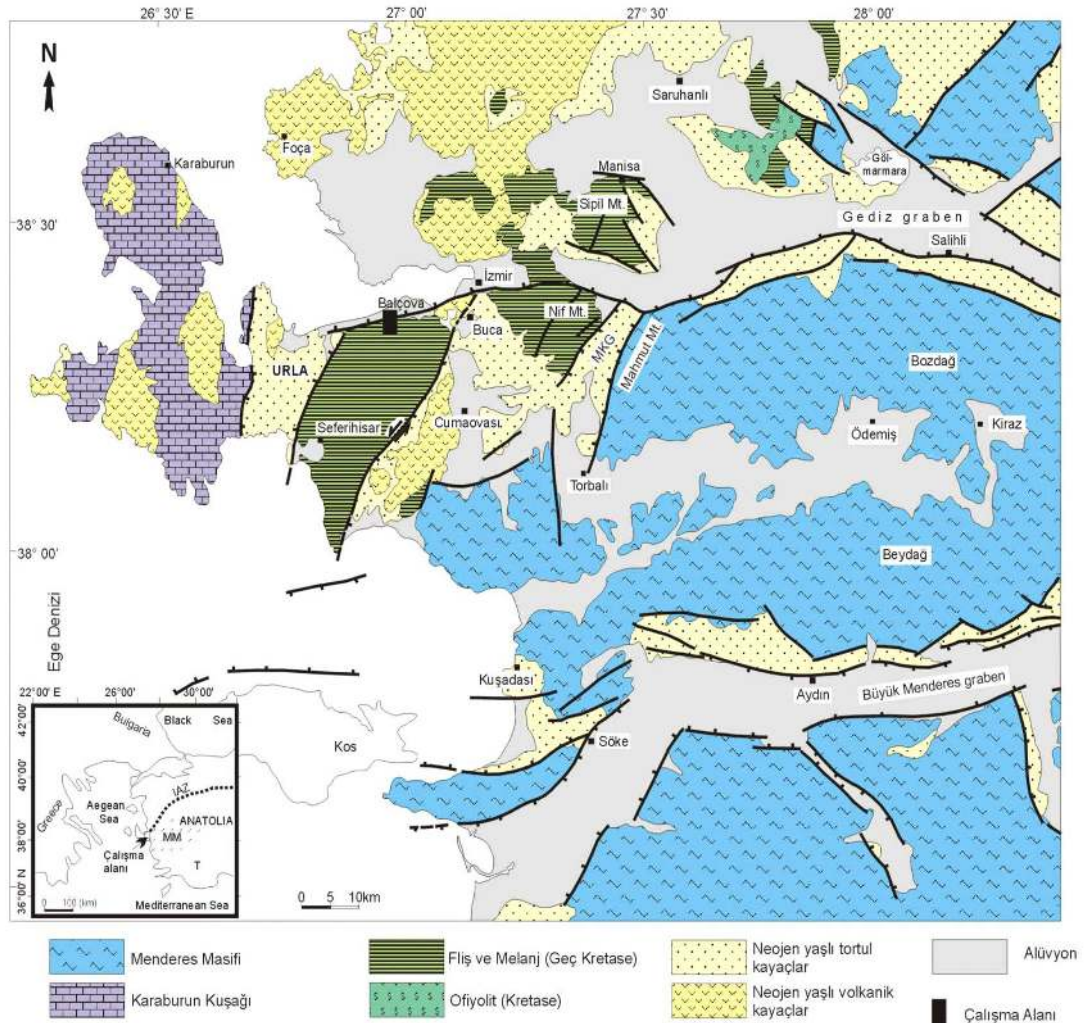
Bornova Karmaşığı: Karmaşığın yüzlekleri Bornova-Işıkkent arasındaki bölgede ve Balçova-Narlıdere yörelerinde yaygındır. Bornova Karmaşığı'na Paleozoik'ten Tersiyer'e kadar değişen yaşlar verilmiştir. Paleosen ve daha genç yaşta olabilecekleri son zamanlarda ağırlık kazanmıştır. Bölgedeki kireçtaşlarının filiş topluluğu üzerine örtü tektoniği ile gelmiş olabileceği ve yaşlarının da Triyas'dan Kretase'ye kadar uzandığı belirtilmiştir (Düzbastılar, 1978; Başarır ve Konuk, 1977).

Yamanlar Volkanitleri: Bölgede geniş bir yayılım alanı sunan Yamanlar Volkanitleri Neojen yaşlı olup, Andezit-Dasit karakterindeki volkanik ürün ve türevlerini içermektedir (Türk ve Koca, 1994).

Gölsel Tortullar: Neojen gölsel çökellerinin oluşturduğu kireçtaşı-kiltaşı-kumtaşı ve çakıltası içeren litolojileri kapsamaktadır. İzmir Körfezi'nin oluşumu bölgesel jeolojik olaylarla yakından ilgilidir. Körfezin Kuvaterner başında (Orta Pleistosen) eğim atımlı faylarla sınırlanmış bir çöküntü havzasında oluştuğu söylenebilir. Kuvaterner'de İzmir Körfezi buzullaşma ve soğuk dönemlerde derin bir vadi, buzul arası veya sıcak dönemlerde şimdiki gibi bir körfez karakteri gösterdiği, bugünkü şekline ise ilk defa Flandrien Transgresyonu ile eriştiği belirtilmiştir (Başoğlu, 1975). İzmir Körfezi'nin Pleistosen ve Holosen'de geçirdiği evreler ayrı bir önem taşıdığından, bu konu ile ilgili derlenen bilgiler daha detaylı olarak aşağıda yer alacaktır. Bölgenin Pleistosen ve Holosen'deki jeolojik ve jeomorfolojik bütünlüğü

genel anlamda bölgesel tektono – östatik hareketlerle yakından, Gediz Deltası’nın Pleistosen ve Holosen’de gösterdiği deltaik ilerleme ile de doğrudan ilgilidir.

Paleosen başından itibaren artan neotektonik hareketler Pleistosen’de de devam etmiş, genelde Kuzeydoğu – Kuzey yönelimli tektonik çizgiler bölgede dikey atımlı kırılmalara neden olmuştur. Pleistosen sonu, Holosen başlarından itibaren ise tektonik hareketler giderek etkinliğini kaybettiği gibi, bunlar belli bir yönelim içermeksizin gelişmişlerdir (Başoğlu, 1975). Son dönem neotektonik hareketler genelde, Holosen’deki sıkışma tektoniğine bağlı bir çeşit “Kompresyonel” kırılmalara neden olmuştur. Bu durum, İzmir Körfezi’nin güneyinde yer alan Güzelbahçe Körfezi’nde de saptanmıştır (Eftelioğlu, 1983).



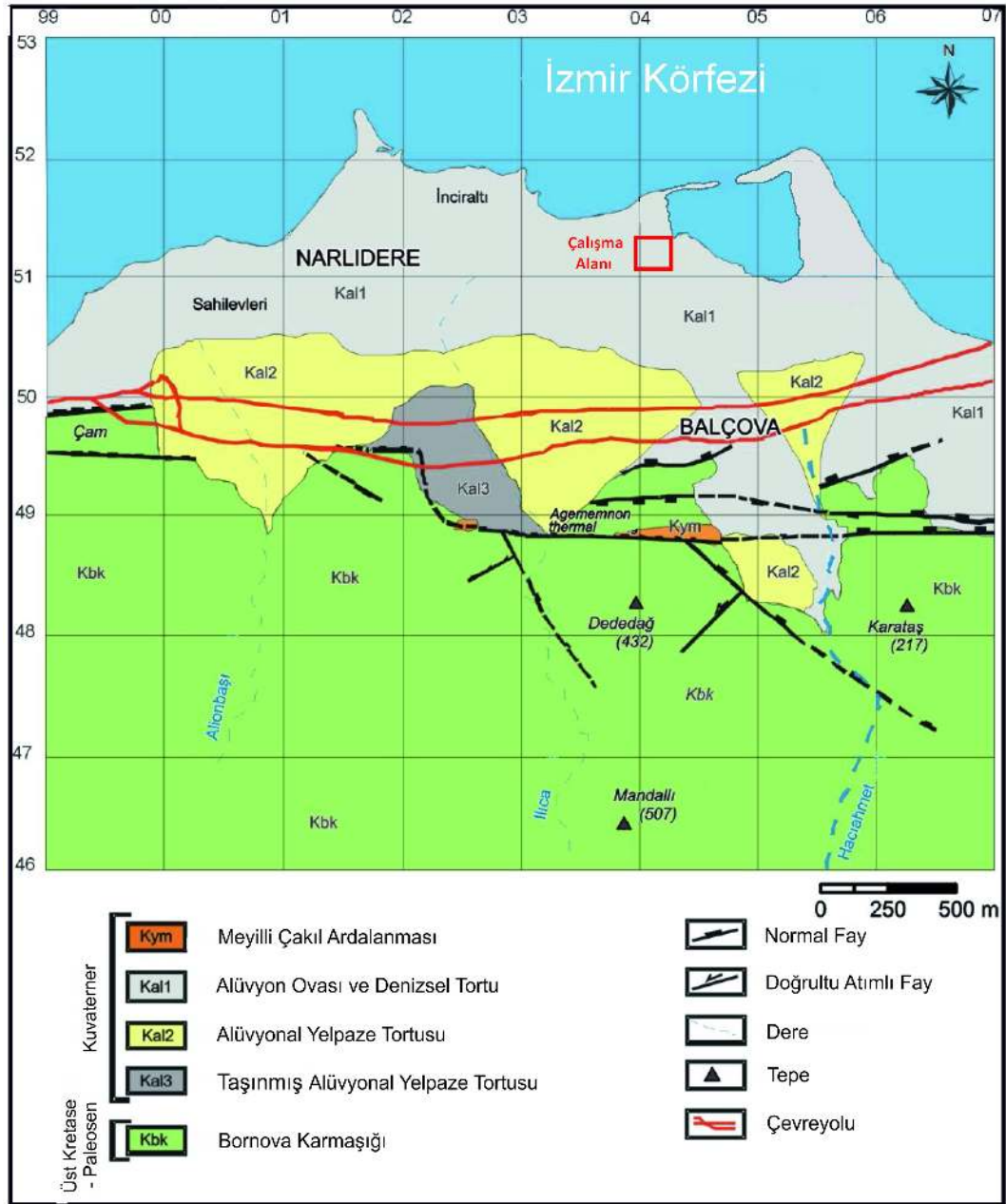
Şekil 2.1 İzmir ve yöresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Genç ve diğ., 2001)

Batı Anadolu’da “Neotektonik” düzey hareketlerin ve gerilim tektoniğinin etken olması Üst Miyosen’den itibaren başlamıştır. Ege kıyılarına dik graben zonları bu hareketler sonucu meydana gelmiştir. Ege Denizi’nin içindeki çöküşü de bu “Neotektonik” hareketlere bağlamak gerekmektedir. Batı Anadolu’da ve Ege Denizi çevresinde Alpin orojenik hareketlere bağlı olarak, özellikle Üst Miyosen içinde, kalk-alkali kimyasında Andezit, Dasit, Riyolit volkanizmasının varlığı saptanmaktadır.

Batı Anadolu’da üç tektonik kuşak yer almaktadır ve bunlar bugünkü konumlarını Orta ve Geç Eosen’de gelişmiş olan bindirme tektoniği ile kazanmışlardır. Bu kuşaklardan en doğuda olanı Menderes Masifi, ortadaki İzmir – Ankara Zonu ve en batıdaki ise Karaburun Kuşağı’dır. Bindirme tektoniği ardından gelişmiş olan ve Orta Miyosen’den günümüze değin devam etmekte olan Neotektonik evrede bu yaşlı kuşakların uzanımlarını vev kesen tansiyonal havzalar gelişmiş ve içleri gölsel ve karasal tortullarla dolmuştur (Erdoğan, 1990). Orta-Üst Miyosen’de başlayıp günümüze kadar devam eden ve Batı Anadolu’daki grabenleri oluşturmuş doğu-batı uzanımlı neotektonik yapılar, bu eski tektonik kuşakları kesmiş ve parçalamıştır.

Karaburun kuşağı ile İzmir-Ankara zonu arasındaki dokanak incelendiğinde graben tektoniği, paleotektonik kuşakları tanımlayacak ölçüde birbirinden ayırmasa da çöküntü alanlarını dolduran tortul dolgunun, birçok yerde bu sınırları örttüğü görülmüştür. Özellikle, Karaburun Kuşağı ile İzmir-Ankara zonunun arasındaki ilişki, birkaç sınırlı alan dışında, Neojen tortullar örtmüştür (Erdoğan, 1990). Karaburun Kuşağı ile İzmir-Ankara zonu arasındaki sınır, birçok yerde Neojen sedimanter örtüsü altında gizlenmiş ve her türlü geçişin gözlemlendiği bir zon olarak tanımlanmıştır. Kalecik ve Urla yüzleklerinde, karmaşık birim içerisinde serpantin blokleri ve bunların Karaburun istifine tamamen yabancı allokon kütleler olduğunu bilinmektedir (Uzel ve diğ., 2010).

2.2 Çalışma Alanının Jeolojisi



Şekil 2.2 Çalışma alanı yakın çevresinin jeolojisi (Ramazanoğlu, 2008'den değiştirilmiştir).

Çalışma alanı, Urla havzası ile İzmir körfezinin birleştiği yerde yer almaktadır. Temeli, Üst-Kretase – Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı (Bornova Filiş Zonu)'ndan oluşur (Erdoğan, 1990). Bornova Karmaşığının oluşturduğu temel kayaları üzerinde açınmış olan Neojen çökelleri ve bunlarla eş yaşlı volkanik kayalar ile Kuvaterner yaşlı çökeller bulunur.

BÖLÜM ÜÇ

KURAMSAL BİLGİLER

3.1 Uygulamalı Jeofizik Yöntemler

Uygulamalı Jeofizik, yer altı yapılarının yanal ve düşey yönlü yapısal değişimlerinin araştırılması amacıyla kullanılır. Bu çalışma kapsamında uygulamalı jeofizik çalışmalarda Elektrik Özdirenç yöntemleri, MASW ve Mikrotremor yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

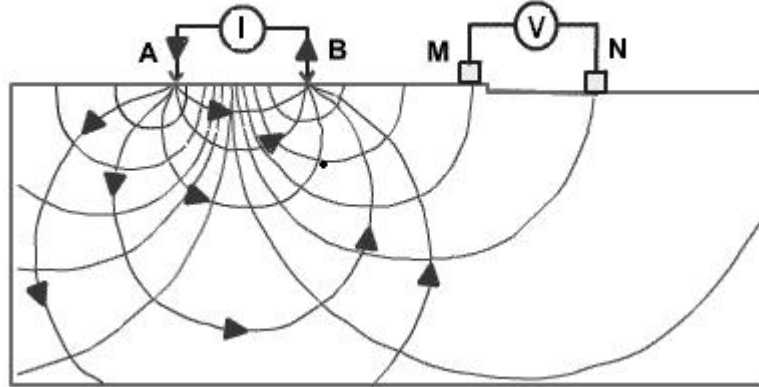
3.1.1 Elektrik Özdirenç Yöntem

Jeofizik yöntemlerden biri olan elektrik özdirenç (rezistivite) yöntemi ile yeraltına ait parametrelerin belirlenmesi uzun yıllardan beri yapılmaktadır. İlk defa 1915 yılında Wenner tarafından uygulanan özdirenç yöntemi, Schlumberger tarafından geliştirilerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bilgisayar ve jeofizik cihaz teknolojisinin gelişmesiyle elektrik özdirenç yöntemi, yeraltının özdirenç değişimlerinin bir, iki ve üç boyutta incelenmesine olanak vermiştir. Böylelikle yöne bağımlı ve tekdüze olmayan yeraltının özdirenç değişimleri gerçeğe daha yakın bir şekilde incelenebilmiştir. Elektrik yöntemlerde yeryüzünde toprağa çakılan iki paslanmaz metal-çelik elektrot aracılığı ile yer içine elektrik akımı gönderilir.

Yeryüzündeki diğer iki noktada yerleştirilen iki elektrot yardımı ile de yer içinde oluşan gerilim farkı ölçülür. Şekil 3.1’de akım elektrotlarından uygulanan akım çizgileri dağılımı ve bunun sonucu oluşan elektriksel gerilim (elektriksel potansiyel) çizgilerinin dağılımı görülmektedir.

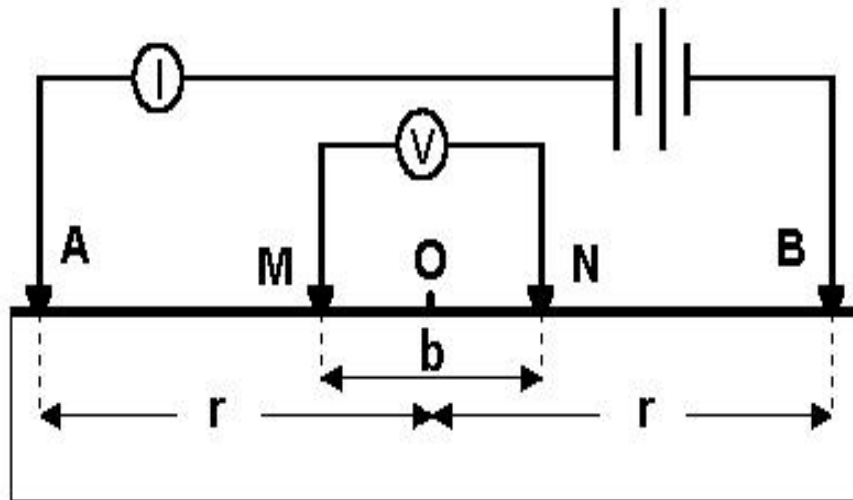
Elektrik Özdirenç Yöntemi



Şekil 3.1 Akım (A ve B) elektrotlarından yer içine elektrik verilmesiyle oluşan eş potansiyel yüzeylerin gerilim (M ve N) elektrotlarına ilerlemesi

3.1.1.1 DES Tekniği

Bu dizilim tekniğinde dizilim merkezi O noktasıdır (Şekil 3.2). Uygulamada O noktasının derine doğru özdirenç değişimleri incelenir. Ölçülen görünür özdirenç değerleri bu noktanın altına atanırlar. DES tekniğinde bu merkez noktada yayılı bulunan elektrot dizilimindeki akım ve gerilim elektrotları arası belli bir sistematik içerisinde daha geniş açılarak ölçüler alınır.



Şekil 3.2 DES tekniği elektrot diziliminin şematik gösterimi.

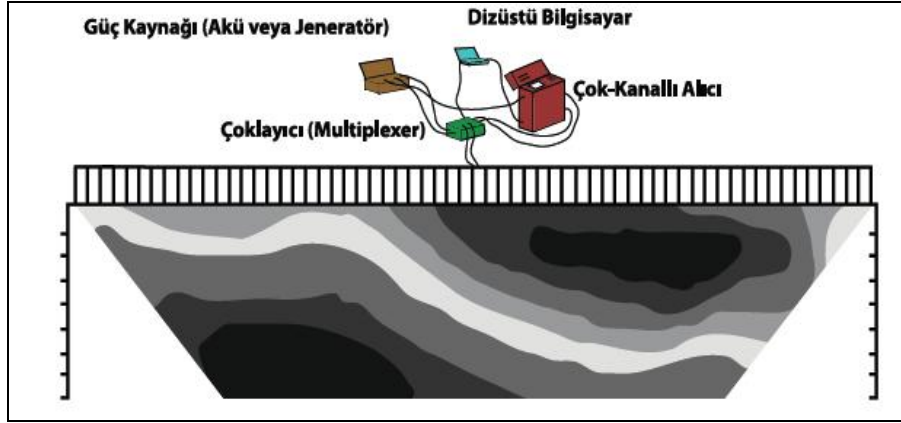
3.1.1.2 Özdirenç Tomografi Yöntemi

Çok elektrotlu özdirenç yöntemi, eşit aralıklı olarak ve bir hat boyunca çakılmış elektrotlar ile bunların bağlantısını sağlayan çoklu (birçok tel içeren) kablodan oluşmaktadır. Elektrot sayısı, yapılacak çalışmanın amaç ve kapsamına göre farklı olabilir. Üreticiler genel olarak 28, 56, 84 ve 112 elektrotlu veya 20, 30, 50 elektrotlu düzenekler üretmektedirler. Kullanılan elektrotlar ise, eski düzeneklerde kullanılan paslanmaz çelik elektrotlardır. Özdirenç ölçü cihazında elektrotları, önceden tanımlanan ölçü alım sıralamasına göre değiştiren ve alınan ölçüleri saklayan bir hafıza (akım ve gerilim elektrotlarının belirlenen bir sistemde numaralandırıldığı bir dosya) vardır. Akım (A,B) ve gerilim (M,N) elektrotlarının çeşitli kombinasyonları ile karmaşık bir sondaj profil kesiti, kablounun toplam boyuna bağlı olan en büyük araştırma derinliği ile elde edilmektedir. Çeşitli elektrot dizilimleri (Wenner-Schlumberger, Dipole- Dipole vb.) kullanılabilir. Çok elektrotlu yöntemde, ölçü cihazı bilgisayar kontrollüdür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Çok elektrotlu özdirenç cihazı ile arazide ölçü alımı

Tüm elektrotlar, tek kablo ile ölçü cihazına bağlandıktan sonra istenen elektrot dizilimi için sıralı olarak ölçü alınır. Sonuçta, belli istasyonlarda (noktalarda) ve belli $AB/2$ değerleri için ölçüm yapılmış ve doğrudan sondaj profil ölçüsü alınmış olur. Bu veriler ile yapma kesit elde edilir. Günümüzde, çok elektrotlu ölçü cihazları sayesinde ölçü alımı hızlı ve kolay olmaktadır. Bu yöntem ile ölçülen verilerden yeraltının hem düşey hem de yatay yöndeki özdirenç yapısı hakkında bilgi edinilebilir. Yöntem, sondaj ve profil ölçü yöntemlerinin avantajlarını kapsamaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Özdirenç Tomografi yönteminin ana bileşenleri ve elde edilen 2B görüntü

3.1.2 Çok Kanallı Yüzey Dalgaları (MASW) Yöntemi

Yüzey dalgası analiz yöntemlerinde, yeraltındaki tabakalı yapıların kesme dalgası hızının (V_s) derinlikle değişiminin hesaplanması amacıyla Rayleigh dalgasının dispersif özelliğinden faydalanılır. Yüzey dalgası yöntemleri aktif kaynaklı ve pasif kaynaklı yöntemler olmak üzere iki ana grup altında toplanabilir. Pasif kaynaklı yöntemler daha derin nüfus gücüne sahiptir. Özellikle ana kaya derinliğine ulaşılması gereken sahalarda etkin olarak kullanılabilmektedir. Arazide ilk bakışta kolay uygulanabilir olması yöntemin avantajları olarak görülmesinin yanında, veri eldesi sırasında geometriden kaynaklanan problemler ve yüzeye yakın tabakaların tespitinde yanılğı payının olması dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında, MASW yöntemi daha sınırlı nüfus derinliğine sahip olmasının yanında, etkin kaynak kullanılması ile daha başarılı sonuçlar alınmaktadır. Özellikle V_{s30} çalışmalarında ilk 30 metrenin önemi ve ince tabakaların tespitinde oldukça sağlıklı sonuçlar vermesi nedeniyle etkin kullanıma sahiptir. Tüm farklılıklarına rağmen, yüzey dalgası analiz yöntemleri aşağıdaki üç adımda gerçekleştirilir.

- 1- Yüzey dalgalarının alıcılar ile kaydedildiği arazi aşaması,
- 2- Veri işlem ve dispersiyon eğrilerinin eldesi,
- 3- Dispersiyon eğrisinin farklı yöntemlerle ters çözümlenmesinden elde edilen, V_s değerlerinin derinlikle değişimi.

Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi kritik bir adımdır. Ters çözümleme ile elde edilen Vs hız profilinin doğruluğu büyük oranda frekansa ve faz hızına bağlı olan dispersiyon eğrisinin doğruluğuna ve özelliklerine bağlıdır.

Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) tekniği, var olan gürültüde SASW'nin eksiklerini gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Benzer şekilde 12 veya daha fazla sayıda alıcı kısa (1-2m) ve uzun (50-100m) mesafeler arasında yerleştirilir ve impuls veya vibratör kaynağıyla kayıtlar alınarak istatistiksel açıdan yeterli miktarda faz hızı ölçülür. Hem fazlaca kaynak kullanılması hem de yığma yapılması durumunda, esas Rayleigh dalga modu baskın olarak elde edilir. Makaslama hızının iki-boyutlu yatay belirtilerini elde etmek için, profiller boyunca birçok kayıt alınıp ters çözümü yapılır. Büyük kaynakları taşımak ve birçok noktada tekrarlamak oldukça pahalı bir çaba gerektirir.

Rayleigh tipi yüzey dalgaları sismik yansıma çalışmalarında önemli bir uyumlu gürültü tipidir (ground roll gürültüsü). Bu dalgalar geleneksel sismik veri işlemede farklı frekans, dalga sayısı ve faz hızlarına sahip olayları ayrılmı bir şekilde haritalamak ve süzgeçlemek gibi çok amaçlı kullanılan f-k ve f-p dalga alanı dönüşüm teknikleri sayesinde, uygun süzgeç düzenleri ile yansıma verisinden atılırlar. Bununla birlikte son yıllarda bu dalgaların dispersiyon özellikleri jeofizik (Park ve diğ., 1996, 1998; Xia ve diğ., 1999) ve jeoteknik (Stokoe ve diğ., 1994) mühendislik çalışmalarında sığ yer altının kesme dalgası hız (S dalgası, Vs) yapısını belirlemek için önemli bir bilgi kaynağı (frekansa karşılık faz hızı değişimleri) olarak çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

S dalgasının derinliğin fonksiyonu olarak yüksek ayrımlılık ve doğrulukta belirlenmesi, çoğunlukla dispersiyon eğrisinin tam olarak elde edilmesine bağlıdır. Çünkü dispersiyon eğrisinin elde edilmesi en kritik aşamadır ve ters çözümleme ile elde edilen Vs hız profilinin doğruluğu büyük oranda frekansa ve faz hızına bağlı olan dispersiyon eğrisinin doğruluğuna ve özelliklerine bağlıdır (Kanlı ve diğ., 2006). Bu nedenle arazi verilerinden dispersiyon eğrisinin belirlenmesi çalışmalarında, tek istasyon verisinin tekrarlı süzgeç analizi, iki istasyon verisi ile yüzey dalgalarının

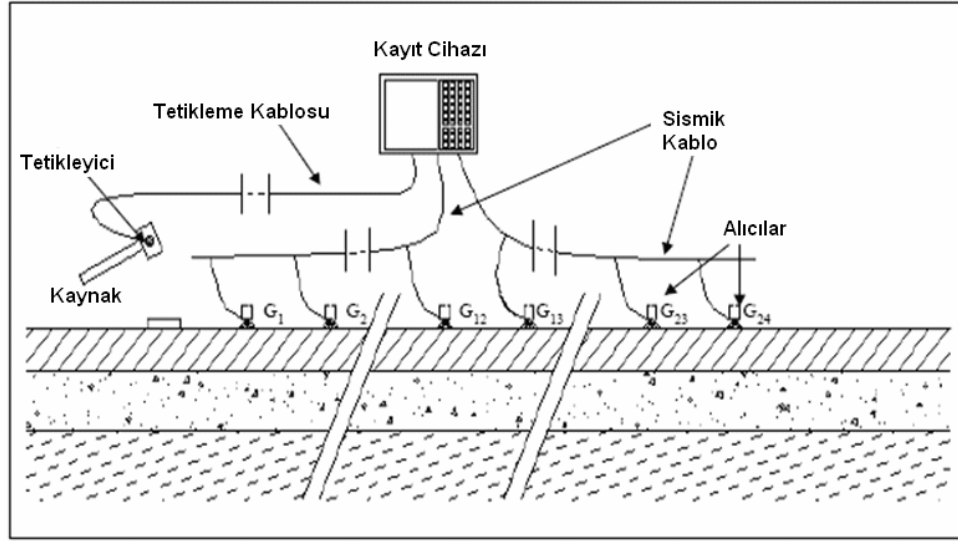
spektral analizi (SASW) (Stokoe ve diğ., 1994) ve çok istasyon verisinin f-k ve f-p dalga alanı dönüşüm yöntemlerine bağlı olarak çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) (Park ve diğ., 1998; Xia ve diğ., 1999) teknikleri kullanılmaktadır.

Aktif kaynaklı MASW yönteminin arazide uygulanması için öncelikle mümkün olduğunca şehir gürültüsünden uzak alanlar seçilmelidir. Uygulama alanının seçme şansına sahip değilsek, seçilmiş olan yerin en sessiz olduğu zamanlarda arazi uygulaması yapılabilir. Uygulama amacına göre jeofon aralığı tespit edilir ve profil boyu hesaplanarak, en uygun profilde serim yapılır. MASW yöntemi uygulanırken ihtiyacımız olan ekipman aşağıda yazılmıştır;

- 1-Jeofon seti,
- 2-Kayıtçı
- 3-Sismik serim kablosu
- 4-Güç kaynağı.

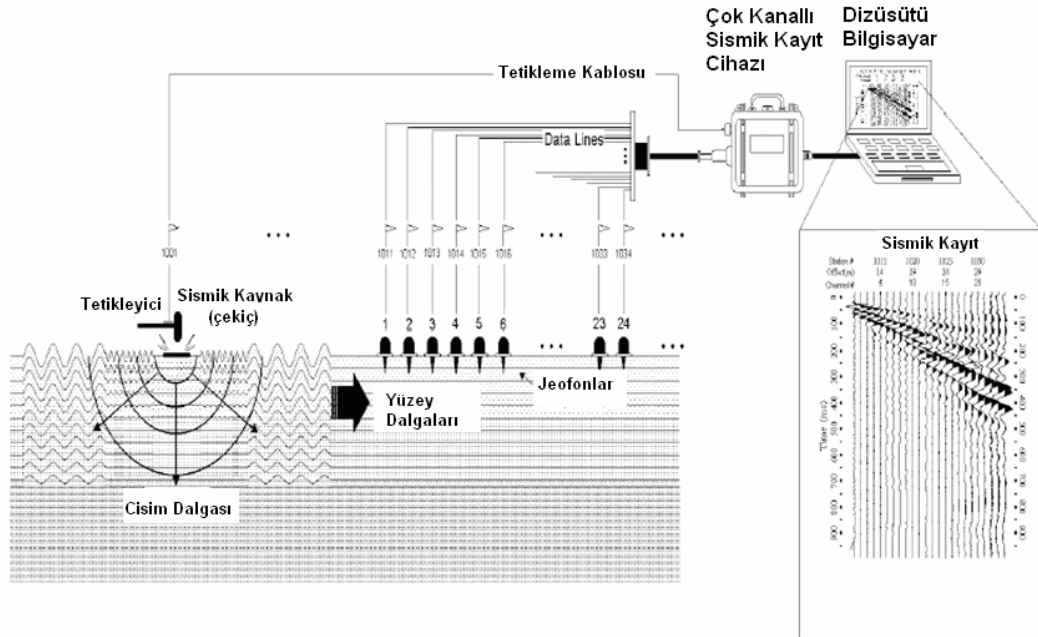
Temel olarak arazi ekipmanı yukarıdaki gibi sıralanabilir. Jeofon seti kayıtçının özelliğine göre 12, 24 veya 48 jeofondan oluşabilir. Kayıtçı bilgisayar düzenekli bir kayıtçı olabilir ya da arazide dizüstü bilgisayara bağlanabilen bir sismik kayıtçı ile yöntem uygulanabilir. Serim kablosu jeofonların algıladığı impulsları kayıtçıya iletmek amacıyla kullanılan ve üzerinde jeofon bağlantı yerleri olan özel bir kablodur. Güç kaynağı olarak balyoz, hidrolik güç kaynağı veya yer üzerinde anlık impuls oluşturacak herhangi bir güç kaynağı olabilir (Şekil 3.5).

İlk olarak araziye çıkılarak çok kanallı sismik ekipman ile veriler elde edilir. Yere sismik bir kaynak aracılığı ile etki yapılır ve jeofonlar aracılığı ile bu etkilerin oluşturduğu tepkiler dinlenir(Şekil 3.6, 3.7, 3.8).



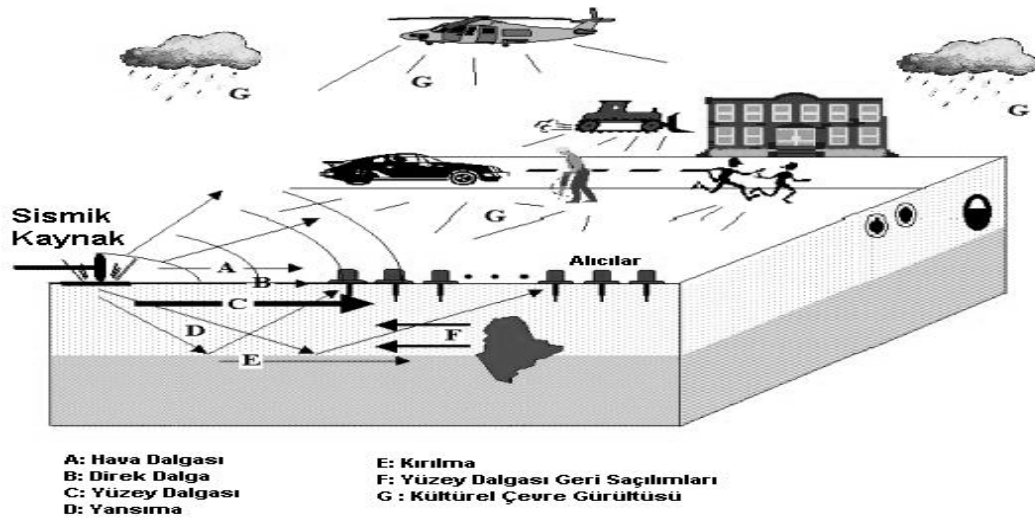
Şekil 3.5 MASW veri toplama şeması.

(<http://www.istanbul.edu.tr/eng2/jfm/ozcep/mikrobolgeleme/MikrobolgelemeDokuman.htm>)



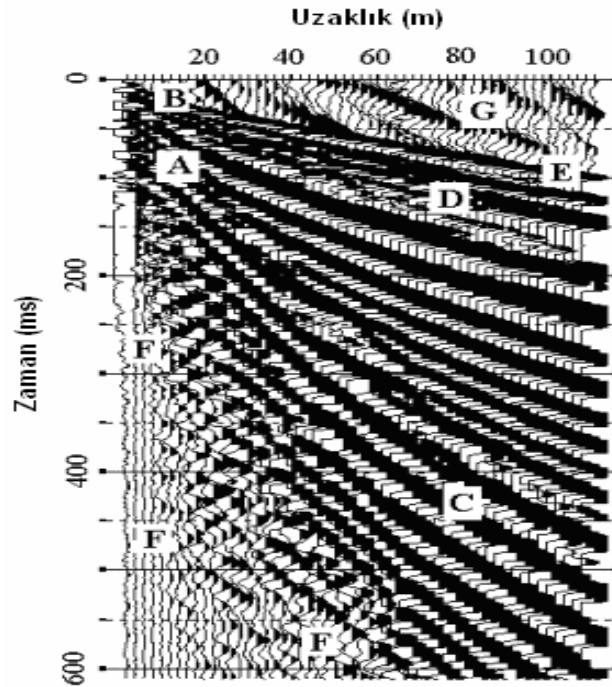
Şekil 3.6 Jeofonların arazideki konumu ve uygulama şeması.

(<http://www.istanbul.edu.tr/eng2/jfm/ozcep/mikrobolgeleme/MikrobolgelemeDokuman.htm>)



Şekil 3.7 MASW tekniğinin arazide uygulanması.

(<http://www.istanbul.edu.tr/eng2/jfm/ozcep/mikrobolgeleme/MikrobolgelemeDokuman.htm>)



Şekil 3.8 Sismik dalgaların görünümü. (A-Hava dalgası B-Direk dalga C-Yüzey dalgası D-Yansıma E-Kırılma F-Yüzey dalgası geri saçılımları G-Kültürel çevre Gürültüsü)

(<http://www.istanbul.edu.tr/eng2/jfm/ozcep/mikrobolgeleme/MikrobolgelemeDokuman.htm>)

3.1.3 Mikrotremor Yönemi

Mikrotremorlar, kökeni okyanus dalgalarından kaynaklanan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir. Bu mikro sarsıntıların kaynağı da çeşitlilik gösterir. Yerkürenin belli bir ekseninde dönmesi, gelgit etkisi, jeotermal aktiviteler, yeraltındaki sismik aktiviteler, atmosfer etkileri, rüzgâr ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler ve diğer bazı insan kaynaklı etkiler). Özellikle okyanus gürültüleri ve bütün bu etkenler yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Bu titreşimlerin genlikleri 0,01 mikron ile 1 mikron, periyotları ise 0,05 saniye ve 2 saniye arasında değişir (Kanai ve Tanaka, 1961).

Frekans ve genlik içeriklerine göre bu sürekli titreşimler sismik gürültüler olarak da adlandırılabilir. Düşük periyotlu gürültüler (rüzgâr, trafik ve diğer endüstriyel aktiviteler) görmezden gelinirken, daha uzun periyotlu hareketlerin kaynağı ise alçak basınç ve okyanus etkileşimi, okyanusların oluşturduğu etkiler ve gelgit gibi etkenlerdir. Mikrotremor çalışmaları, sismoloji bilimi ile paralel olarak 1900'lü yılların başından beri özellikle Japonya'da yapılmaktadır. 1960 yılından sonra sismolojideki öneminden dolayı gelişmiştir (Alçık ve diğ, 1995).

Mikrotremor çalışmaları ile yerin dinamik özelliklerinin incelenmesine Kanai ve arkadaşları öncülük etmişlerdir. Kanai'ye göre farklı yer yapılı bölgelerde, yerin doğal salınım özellikleri de kesinlikle farklı olmaktadır. Bu düşüncesini de farklı yerlerde aldığı mikrotremor ölçümleri ve bunların sonuçları ile desteklemiştir.

3.1.3.1 Mikrotremor Verilerinin Değerlendirilmesi

Gerçekte mikrotremorların periyot dağılım eğrileri büyük ölçüde yerin ilk katmanının özelliklerinin etkisinde kalmaktadır. Titreşimcik özellikleriyle, en büyük genlik, ortalama, baskın ve en büyük periyotlarla, yer sınıflaması yapılmaktadır.

Genel olarak spektral analiz yöntemleri kullanılarak sismik dalga karakteristikleri tanımlanmaya çalışılır. Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının doğrudan değerlendirilmesi sonucu zemin hakim periyodunun bulunması ve referans istasyonuna göre spektral oranların elde edilmesi veya yatay hareket bileşenlerinin düşey hareket bileşenlerine göre spektral oranların belirlenmesi sonucunda zeminlerdeki büyütme seviyelerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu durumda iki boyutlu ve üç boyutlu yerel zemin etkileri ihmal edilmiştir (Lermo ve Garcia, 1994).

Kanai tarafından geliştirilen iki analiz yöntemi ile yer dört ana kümeye ayrılmıştır. İlk yaklaşımda; mikrotremorların en büyük ve ortalama periyotları arasındaki ilişki, ikinci yaklaşımda ise en büyük genlikle baskın periyot arasındaki ilişki incelenmektedir. Böylece, gerek fiziksel özelliklerin tam olarak bilinmemesine ve gerekse en büyük genlik değerinin yalnız zamanla değil, yapay etkenler nedeni ile de değişmesine karşın çalışılan bölgenin özellikleri üzerine bilgi edinme olanağı ortaya çıkmaktadır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla yerin sınıflaması yapılmaktadır.

3.1.3.2 Nakamura (H/V Spektral Oran) Tekniği

Yapılan birçok araştırma, tek bir yerdeki mikrotremorların yatay spektrumlarının düşey spektrumlarına oranlanmasıyla bölgesel yer etkilerinin hesaplanabildiğini göstermiştir (Mirzaoglu ve Dikmen, 2003) Bu fikir Nakamura (1989) tarafından açıklanmıştır. Yüzey jeolojisinden kaynaklanan yer etkileri genellikle yüzeydeki yumuşak zemindeki (H_S) deprem kayıtlarının yatay bileşeni ile temel kayanın (H_B) yüzeydeki yatay bileşeni arasındaki spektral oran (S_R) olarak kabul edilir.

$$S_R = H_S / H_B \quad (3.1.3.2.1)$$

Japonya’da uzun zamandır kullanılmakta olan bu teknik, ülkemizde de kullanılmaya başlanmıştır.

Eğer mikrotremor verisi kullanılırsa aşağıdaki varsayımlar kabul edilmektedir.

- Mikrotremor verileri şehir trafiği ve endüstri kaynaklı yüksek frekanslı gürültülerin yanında rüzgar, okyanus ve deniz dalgaları tarafından yaratılan uzun periyotlu gürültüleri de içermektedir
- Mikrotremorlar, birçok dalgadan özellikle temel kaya çevresinde yüzeyleyen yumuşak zeminden yayılan Rayleigh dalgasından oluşur.
- Rayleigh dalgası etkisi (E_{RW}) gürültüdür ve tabaka tabanından (V_B) değil de yüzeydeki (V_S) düşey spektrumdan kaynaklanır.

$$E_{RW} = V_S / V_B$$

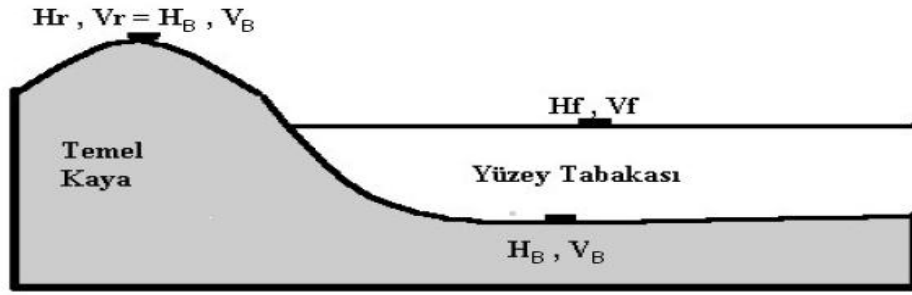
- Mikrotremor hareketinin düşey bileşeni yumuşak zemin tarafından büyütülmez.
- Mikrotremor hareketi üzerindeki Rayleigh dalgası etkisi düşey ve yatay bileşene eşittir. Geniş bir frekans aralığında (0,2–20 Hz) temel kayada yatay ve düşey bileşen bir farklılık göstermez.

$$H_B / V_B = 1 \quad (3.1.3.2.2)$$

- Yatay ve düşey bileşen arasında spektral oran arka planda yumuşak zeminden kaynaklanan Rayleigh dalgası etkisi gürültü olarak kaydedildiğinde bu etkiyi elemek gerekmektedir.

$$S_E = S_R / E_{RW} = H_S / V_S$$

Yukarıdaki eşitlik, 3-bileşenli tek bir sismograf kullanılarak yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranlarından zemin transfer fonksiyonunun, yani zemin hakim periyodunun kolayca belirlenebileceğini göstermektedir. Nakamura modeli daha detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Tipik bir sedimanter basen yapısı

Burada yer hareketinin izahı ve farklı yerlerdeki spektralleri tanımlanmıştır. Titreşimcikler Rayleigh ve diğer dalgaları kapsadığından iki bölüme ayrılmıştır. Sedimanter basenin (H_f, V_f) yüzey tabakasındaki yatay ve düşey spektrumları şöyle yazılabilir.

$$H_f = A_h * H_b + H_s \quad (3.1.3.2.3)$$

$$V_f = A_v * V_B + V_s \quad (3.1.3.2.3)$$

$$T_h = H_f / H_b, \quad T_v = V_f / V_B$$

$$(3.1.3.2.4)$$

Burada A_h ve A_v doğrudan yüzey dalgalarına bağlı yatay ve düşey hareketlerin büyütme faktörüdür.

Burada;

$$H_f = A_h * H_b + H_s, \quad V_f = A_v * V_B + V_s \quad (3.1.3.2.5)$$

Sedimanter havzaya ait yüzeydeki yatay ve düşey spektrumlar A_h ve A_v dikey gelen cisim dalgalarının yatay ve düşey hareketlerinin büyütme faktörleri

H_b ve V_b havzanın altındaki taban içindeki yatay ve düşey hareketlerin spektrumları

H_s ve V_s Rayleigh dalgalarının yatay ve düşey yöndeki spektrumları

$$T_h = H_f / H_b , T_v = T_f / V_b \quad (3.1.3.2.6)$$

ise yüzeydeki sediman zemine ait yatay ve düşey büyütme faktörleridir.

Genellikle P dalga Hızı S dalga hızından 3 veya 4 kez daha fazladır. Bu nedenle Sedimenter tabakalarda yatay bileşende amplifikasyonun büyük değerler aldığı rekans aralığında, düşey bileşende büyütme oluşmaz ($A_v=1$)

Rayleigh dalgası etkisi yoksa

$$V_f=V_b \text{ 'dir.}$$

Eğer

$$V_f > V_b$$

ise bu yüzey dalgalarının etkisini içermesinden kaynaklanmaktadır. Rayleigh dalgalarının etkisini

$$V_f/V_b (=T_v) \quad \text{'den tahmin edilir.} \quad (3.1.3.2.7)$$

Bunun sebebi, Rayleigh dalgaları düşey bileşende hâkimdirler. Temel kaya da bu dalgalar oluşmayacağına göre yüzeydeki (V_f) spektrum (V_b) ye bölünürse bu etki hesaplanabilir. Böylece yatay büyütme (T_h) şöyle ifade edilebilir;

$$T_h = \frac{T_h}{T_v} = \frac{\frac{H_f}{V_f}}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{QTS}{\frac{H_B}{V_B}} = \frac{\left[A_h + \frac{H_s}{V_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]} \quad (3.1.3.2.8)$$

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h * H_b + H_s}{A_v * V_b + V_s} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[A_h + \frac{H_s}{V_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]} \quad (3.1.3.2.9)$$

QTS, SH dalgalarının yüzey tabakaları içindeki çoklu yansımaları ile büyütme faktörüne ait birinci sıradaki uygun frekans simgeleri.

(3.1.2.2.8)'deki eşitlikte

$$\frac{H_b}{V_b} \cong 1 \quad \frac{H_s}{V_b} \text{ ve } \frac{V_s}{V_b}$$

Rayleigh dalgalarının enerjisinin rotasıyla ilgilidir. Eğer Rayleigh dalgalarının etkisi yoksa

$$QTS = \frac{A_h}{A_v} \quad \text{olur.}$$

3.1.3.3 Mikrotremor Verilerinin Kullanım Amaçları

Bir bölgedeki titreşimler, o bölgelerde yerin doğal gürültüsünü oluştururlar. Farklı yer koşullarına ait yerin doğal gürültüsü de farklı olacaktır. Yerin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir. Yerin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir. Bu şekilde yerin davranış özellikleri belirlenebilir. Bu durumda yerin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek

parametrelere göre bölgesel olarak yer sınıflamaları yapılabilir. Bu görüşü ilk savunan ve uygulamasını yapan, yeri dört ana gruba ayırarak bu sınıflamanın Japon bina yönetmeliğinde kullanılmasını sağlayan araştırmacılar Kanai ve arkadaşları olmuştur. Mikrotremor verilerinden ve kuvvetli yer hareketi verilerinden elde edilen genlik spektrumlarına bakıldığı zaman spektrumların benzerlik gösterdiği görülür. Deprem kayıtlarına ve mikrotremor kayıtlarına bakıldığında görülen farklılık ise genellikle genlik değerlerinde gözlenirken, etkin frekansların çok fazla farklılık göstermediği görülmektedir (Kanai ve Tanaka 1961).

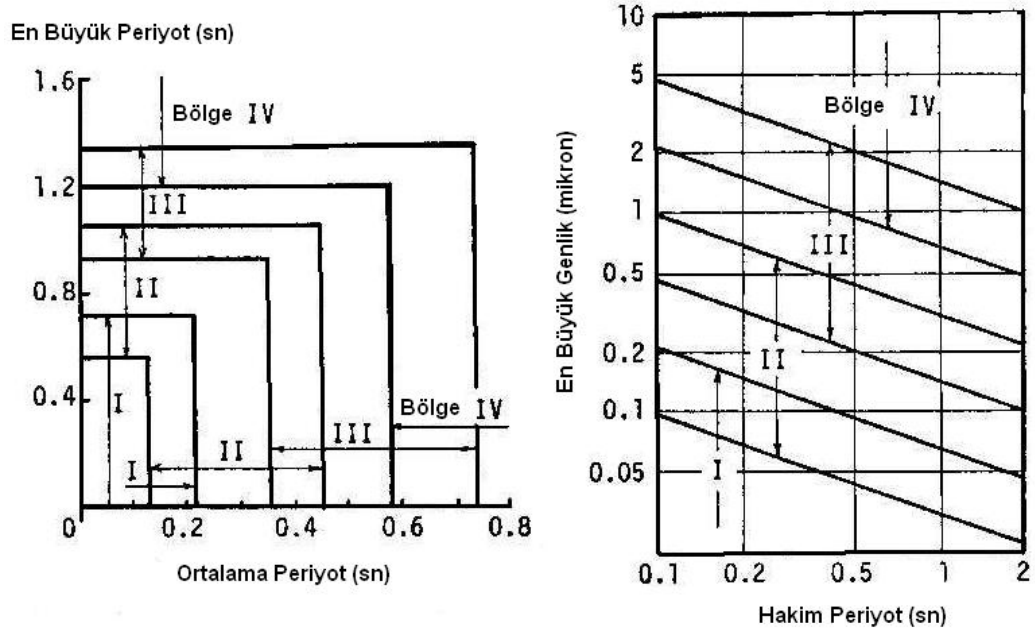
Bu kavramdan yola çıkılarak basit homojen yatay tabakalı ortam kabulü yapılarak; zemin hakim periyodunun, doğrudan mikrotremor ölçümleri ile belirlenerek bölgede kuvvetli yer hareketi verisi olmaması durumunda da saptanması olanaklı olmaktadır.

Mikrotremor aygıtı ile çeşitli bölgelerde ölçümler yapılarak yer etkin periyodu ve bir yaklaşım olarak etkin periyottaki büyültme katsayısı gibi parametreler bulunabilir ve bu veriler ışığında bölgesel olarak parametrelerin değişimi saptanarak pratik sınıflandırmalar yapılabilir.

Zemin hakim titreşim periyodu hesaplamalarında, spektral genlikler (Kobayashi ve diğ., 1986), referans noktasına göre göreceli spektral oranlar (Kagami ve diğ., 1986) ve yatay bileşen spektrum değerlerinin düşey bileşen spektrum değerlerine oranı (Nakamura yöntemi) uygulanabilir.

Deprem sırasında oluşan büyültmelere en yakın değeri daha doğru yaklaşımla veren yöntemin Nakamura yöntemi olduğu yayınlanan birçok yabancı kaynakta belirtilmiştir. Fakat temelde kullanılan üç yöntemin, belirli kabuller içerdiğinden çeşitli eksiklikleri bulunmaktadır. Temelde yöntemler, yerin homojen yatay tabakalardan oluştuğunu kabul etmiş, diğer iki ve üç boyutlu etkileri hesaplamalara katmamışlardır.

Kanai, mikrotremorları en büyük periyot ile ortalama periyot ve en büyük genlik ile etkili periyot ilişkileri açısından değerlendirerek bir sınıflamaya gitmiştir. Bu sınıflamaya göre yeri dört ana gruba ayırmıştır (Kanai ve Tanaka, 1961; Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Dört Zemin sınıfı için, En Büyük periyot - Ortalama periyot ve En büyük Genlik Hakim Periyot Grafikleri (Kanai ve Tanaka, 1961'den değiştirilmiştir)

- 1.Grup: Tersiyer ya da daha yaşlı sert, kumlu, çakıllı birimlerden oluşmaktadır.
- 2.Grup: Pleistocene ya da çakıllı alüvyona ait kumlu sert kil ve milden oluşan 5 m ya da daha kalın tortullardan oluşmaktadır.
- 3.Grup: 5 m ya da daha kalın alüvyondan oluşmaktadır.
- 4.Grup: 30 m ya da daha kalın delta tortullarından ya da benzeri birikimlerden oluşan yumuşak birimlerden oluşmaktadır.

Yere ait bu fiziksel özelliklerin saptanması ile daha iyi tanınan bir yer üzerine yerin yapısına uygun daha doğru, sağlam ve daha dayanıklı yapılar yapmak mümkün olacaktır.

Mikrotremor çalışmalarından elde edilecek sonuçlar, mikrobölgelendirme çalışmalarında, yapı dizaynında ve inşaa edilmesinde, şehir planlama, yer seçimi, şehircilik çalışmalarında, deprem senaryoları çalışmalarında, sismik risk analizi gibi birçok çalışmada kullanılabilir.

Yerin özellikleri saptandıktan sonra bu özellikler kesinlikle yapı dizaynına katılmalı alt yapı ve üzerine yapılacak üstyapı ilişkileri hiçbir proje safhasında göz ardı edilmemelidir. Etkin titreşim periyodu saptanan yer üzerine olan yapının da, kendisine has bir doğal periyodu olacaktır. Yerin etkin periyodunun saptanması kadar üstyapının da periyodunun saptanması önemlidir. Yapılaşmada yerin ve yapının periyotlarının aynı olmamasına dikkat edilmelidir. Zira, bu iki periyodun uyuşması durumunda rezonans ortaya çıkabilir ve aslında sağlam ve ayrı ayrı uygun olan iki faktör, yer ve yapı, olumsuz yönde etkilenebilir. Bu olaya ülkemizden bir örnek verecek olursak, 28 Mart 1970 yılında Gediz depremi, Bursa'da Tofaş fabrikasında etkili olmuş ve yıkıma neden olmuştur. Daha sonra yapılan araştırmalarla fabrikanın üzerine kurulduğu yerin ve üzerindeki yapıların doğal periyotlarının uyuştugu saptanmıştır (Gül, 1972).

3.1.3.4 QTS İle Taban Derinliği Arasındaki İlişki

Bu bölümde QTS ve S dalga hızının tekrarlı yansımalarının neden olduğu QTS piki açıklanacaktır. QTS ile ilgili F_0 frekansı;

$$F_0 = C_s / 4h \quad (3.1.3.2.10)$$

dir. Empedans oranı ile ilişkili olan bu frekans için büyütme faktörü A_0 şöyledir:

$$A_0 = C_b / C_s \quad (3.1.3.2.11)$$

Ana kaya derinliği H ;

$$H = C_b / 4 A_0 F_0$$

(3.1.3.2.12)

dır. C_b , basenin S dalga hızıdır.

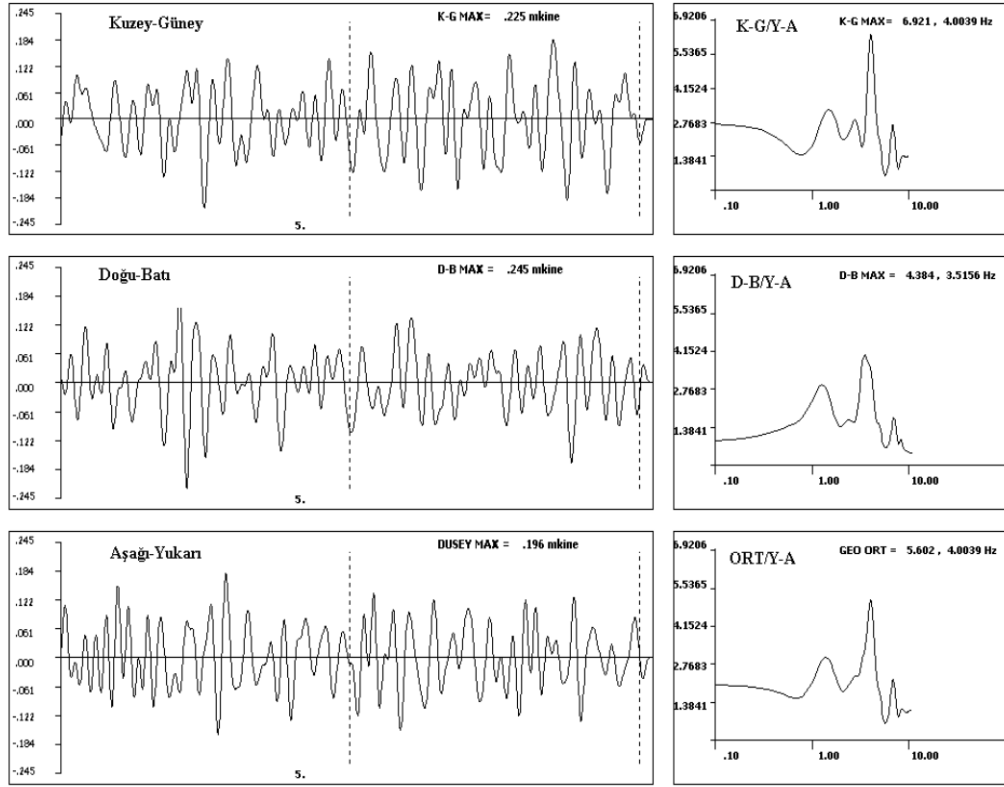
Eğer Rayleigh dalgalarının etkisi yoksa $QTS = A_h / A_v$ dir. $QTS = H_s / V_s$ ve H_s / V_s 'nin en düşük pik frekansı A_h 'ın en düşük uygun frekansına (F_0) eşit olur. Bu frekans değerinde $A_v = 1$ dir. QTS / F_0 da durağan bir pik gösterir. Rayleigh dalgalarının etkisi fazla olsa bile V_s küçülür. Eğer temel kaya'daki titreşimler Rayleigh dalgalarına göre büyük olursa $QTS = A_h$ olur.

3.1.3.5 Hakim Büyütme, Hakim Periyot ve Frekansların Bulunması

Nakamura Tekniğini uygulamak için öncelikle elde edilen mikrotremor kayıtlarının her bileşen için FFT'leri (Fast Fourier Transform) elde edilir. Frekans ortamına geçilir. Bu geçişte dikkat edilecek bir hususta veri boyunun 2'nin katları seçilmesidir (1024, 2048, 4096 vb). daha sonra her bileşen için elde edilen genlik değerleri frekanslarına göre aşağıda verilen formül aracılığıyla oranlanır. En sık yapılan hata sadece maksimum genlikleri birbirine bölmektir. Eğer maksimum değerleri farklı frekanslarda ise bu yanlışlığa sebep verir. Doğrusu aynı frekansları kullanmaktır.

$$(H/V)_m = (S_{NS}^2 + S_{EW}^2)^{1/2} / S_{UD} \quad (3.1.3.2.17)$$

Şekil 3.11'de bu şekilde elde edilmiş bir kayıt gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Nakamura tekniğiyle elde edilmiş spektrumlar

3.2 Uygulamalı Jeofizik Çalışmalara göre Zemin Sınıflaması

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre yerel zemin koşullarının belirlenmesi için esas alınacak, yerel zemin sınıfları Tablo 3.1'de, spektrum karakteristik periyotları Tablo 3.2'de ve zemin grupları ise Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Yerel zemin sınıfı (Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 –
(<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf>)

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Tablo 3.2 Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) (Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 –
(<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf>)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Tablo 3.3 Zemin grupları (Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 –
(<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf>)

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

Elde edilen S-dalgası hız profilleri kullanılarak zemin sınıf bilgisinin oluşturulması için sınıflama kriterlerinden birisi de NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Programme) zemin sınıflama kriterleridir. NEHRP, A.B.D’de jeoteknik ve İnşaat Mühendisliği disiplinince kabul görmüş ve yeni yapılan inşaatların sismik dizaynında yaygın olarak kullanılan zemin sınıflama kriterleridir (Wills ve diğ., 2000) NEHRP’e göre zemin sınıfı, S-dalga hızının 30 m derinliğe kadar olan ortalama hızına (V_{s30}) dayanmaktadır ve bu sınıflar Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4 NEHRP’e göre zemin sınıflama kriterleri (<http://www.seis.utah.edu/urban/nehrrp.shtml>)

Zemin Sınıfı	Tanımlama	Ortalama S dalga hızı (30 m ye kadar)	Zemin Hakim Periyotları
A	sert ana kaya	> 1500 m/s	$T \leq 0.08$
B	sağlam, dayanıklı ile sert kaya arası birimler	760 - 1500 m/s	$0.08 \leq T < 0.16$
C	yoğun toprak, yumuşak kaya	360 - 760 m/s	$0.16 \leq T < 0.33$
D	sert toprak	180 - 360 m/s	$0.33 \leq T < 0.67$
E	yumuşak killer	< 180 m/s	$T \geq 0.67$
F	özel çalışma gerektiren zeminler, örneğin sıvılaştırılabilir zeminler, suya doymuş kil ve organik olan ve 36 m’den daha kalın zeminler	< 180 m/s	

NEHRP kriterlerine göre zeminler V_{s30} ortalama değerlerine göre, A ile F sınıfı arasında 6 sınıfa ayrılmıştır. NEHRP’e göre en yüksek kalitedeki A tipi zemin, V_{s30} hızı 1500 m/sn veya daha yüksek olan, en düşük kalitedeki E tipi zemin, V_{s30} hızı 180 m/sn veya daha düşük olan zeminler olarak tanımlanmıştır. F sınıfı zeminler ise kalınlığı 36 metreden daha fazla ve düşük V_s (< 180 m/sn) hızlı zeminlerdir.

Üçüncü zemin sınıflama kriteri ise Eurocode 8 (EC8) ile verilmektedir (Tablo 3.5). Eurocode 8 kriterlerinde zeminler NEHRP'e benzer şekilde V_{s30} ortalama değerlerine göre sınıflandırılmaktadır.

Tablo 3.5 Eurocode 8'e göre zemin sınıflama kriterleri.

(<http://www.eurocodes.co.uk/EurocodeDetail.aspx?Eurocode=8>)

Zemin tipi	Stratigrafik kesitin tanımı	V_{s30} (m/s)
A	Kaya veya yüzeyde en çok 5 metre zayıf malzeme içeren kaya benzeri jeolojik oluşumlar	> 800
B	Çok sıkı kum depolanmaları, çakıl, veya dereceli olarak derinlikle mekanik özellikleri artan en azından bir kaç 10 metre kalınlıklı çok sert kil	$360 - 800$
C	Sıkı veya orta-sıkı derin kum depolanmaları, çakıl veya kalınlıkları birkaç 10 metreden yüzlerce metreye varabilen sert kil	$180 - 360$
D	Gevşekten ortaya düşük kohezyonlu toprak depolanmaları (bazı yumuşak kohezif tabakalar içerebilir), veya hakim olarak yumuşaktan-dayanıklıya kohezif toprak	< 180
E	Yüzey alüvyon tabakasında V_{s30} değeri tip C veya D olan ve kalınlığı 5 m ila 20 m arasında değişen, altında $V_s > 800$ m/s'lik sert malzeme bulunan toprak kesiti	

BÖLÜM DÖRT

ARAZİ ÇALIŞMALARI ve VERİ DEĞERLENDİRMELERİ

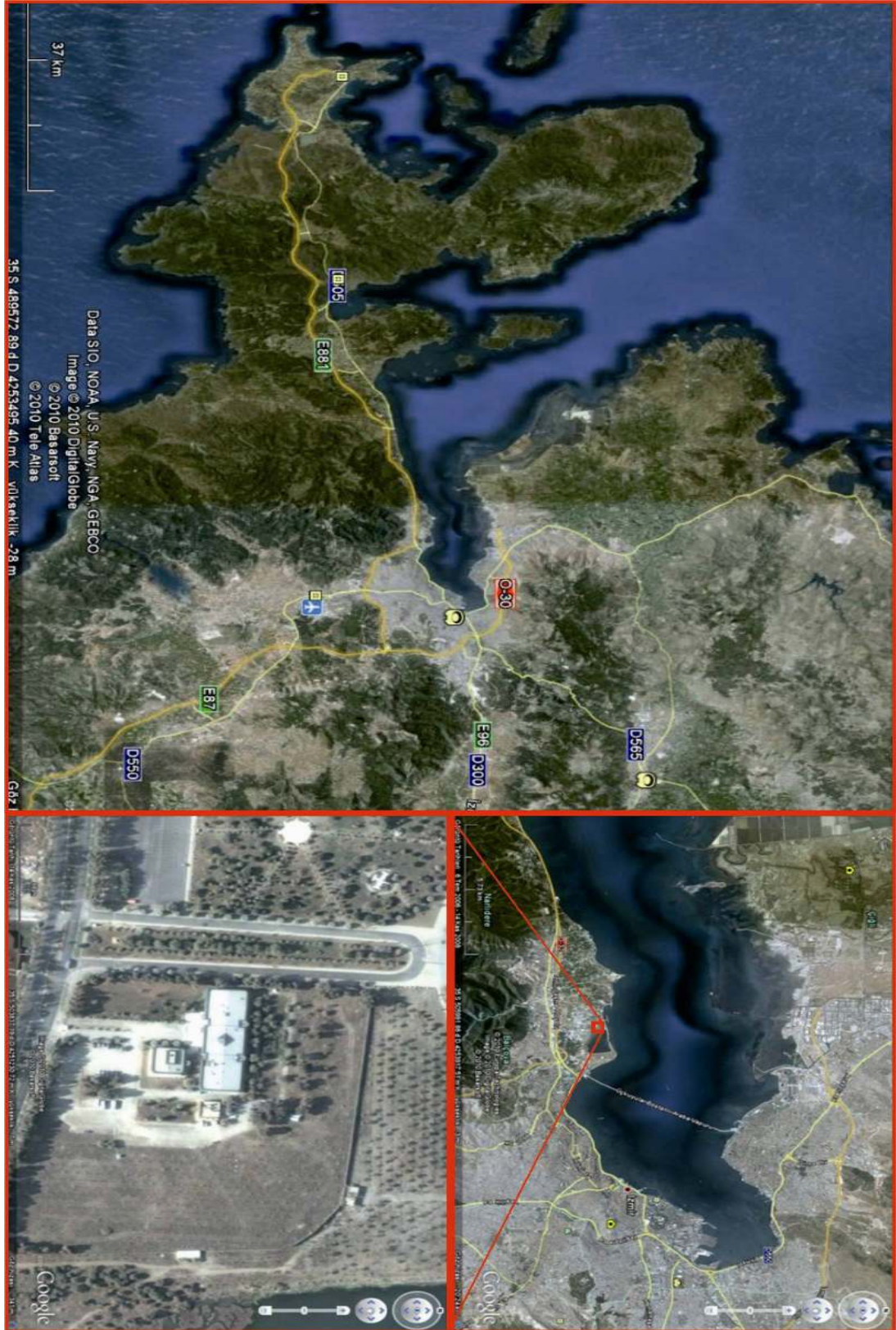
4.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı (1007) – “İzmir Metropolü ile Aliağa ve Menemen İlçelerinde Güvenli Yapı Tasarımı İçin Zeminin Sismik Davranışlarının Modellenmesi” projesi içeriğinde kurulan (BLC) kodlu Balçova kuvvetli yer hareketi istasyonunun zemin özellikleri uygulamalı jeofizik çalışmalarla araştırılmıştır.

Bu kavramdan hareketle, yapılan jeofizik (düşey elektrik sondaj (DES), özdirenç tomografi, çok kanallı yüzey dalgaları yöntemi (MASW), mikrotremor) çalışmalar; yeraltının yanal ve düşey yönlü yapısal özelliklerindeki değişimler ile dinamik zemin parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Ayrıca sonuçlar zemin sondaj logu ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanı, İzmir İl’i – Balçova ilçesi – İnciraltı bölgesinde bulunan Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü (UTM-WGS84 X=503775 Y=4251258)’ nün arazisi içinde bulunmaktadır (Şekil 4.1).

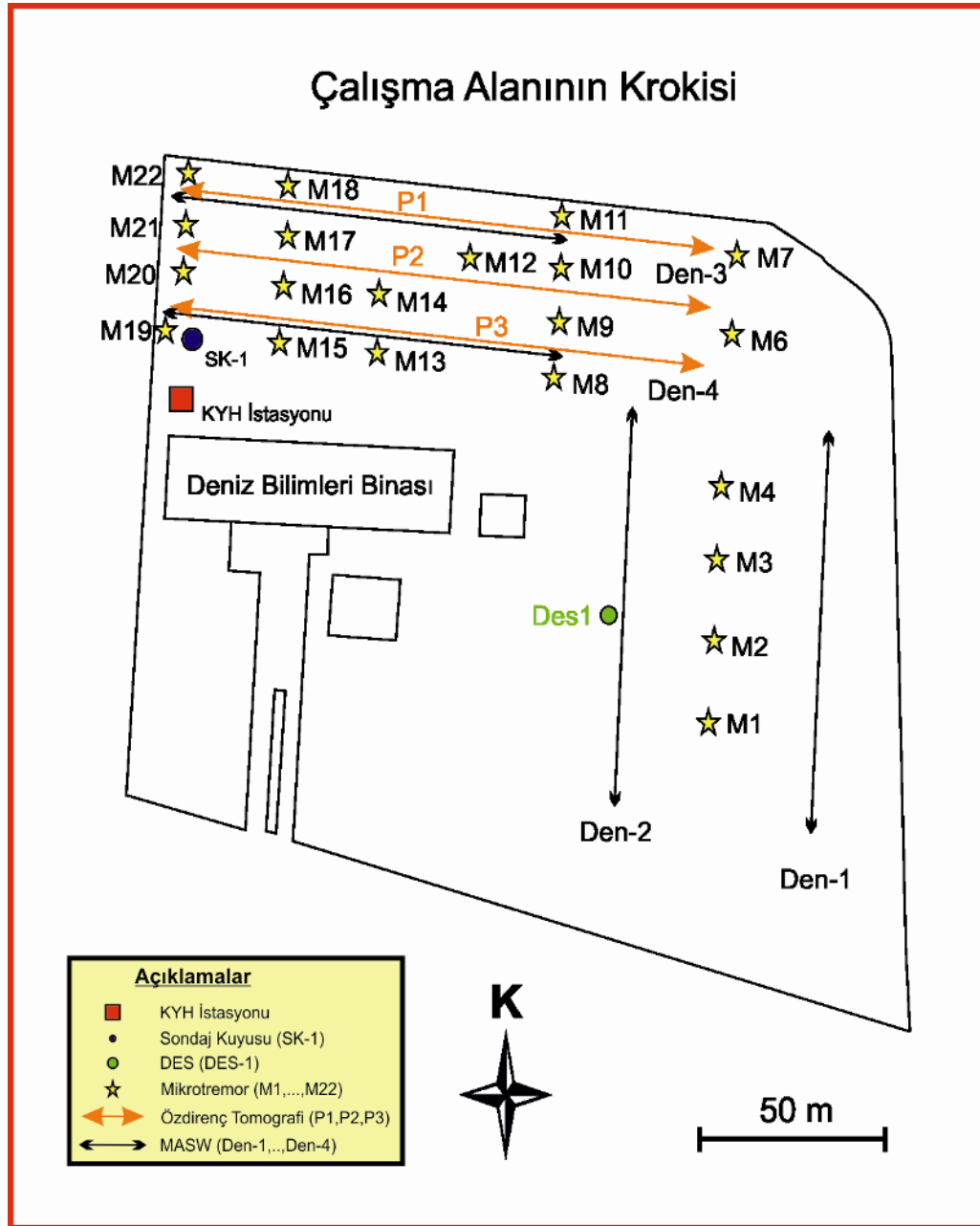
4.2 Çalışma Alanının Konumu



Şekil 4.1 Çalışma alanının yerbulduru haritası

4.3 Çalışma Alanındaki Jeofizik ve Zemin Sondajı Uygulamaları

Çalışma alanında, 4 farklı jeofizik yöntem kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Bu yöntemler, düşey elektrik sondaj (DES) yöntemi ile 1 nokta, öz direnç tomografi yöntemi ile 3 profil, çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemi ile 4 profil, mikrotremor yöntemi ile 21 nokta ve karotlu standart penetrasyon deneyli sondaj kuyusudur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Çalışma alanının krokisi

4.3.1 Karotlu ve Standart Penetrasyon Deneyli Zemin Sondajı

İstasyon zemininde yapılan ilk çalışma karotlu ve standart penetrasyon deneyli sondaj çalışması olmuştur. Sondaj işlemi sonucunda, yüzeyden itibaren 0,3 m derinliğe kadar bitkisel toprak malzemesi bulunmaktadır. 0,3-3,0 m derinliğe kadar kumtaşı bloklu, killi inşaat malzemesi içerikli dolgu tespit edilmiştir. 3,0 ile 6,5 metreler arasında kil (grimsi siyahımsı renkli, bitki kökleri içerikli, 6-6,5m arası ince çakıllı) mevcuttur. 6,5-7,5 metreler arası kumlu killi çakıl, 7,5-8,0 metrelerinde kumlu killi çakıl birimi görülmüştür. 8,0 ile 12,0 metreler arasında kumlu çakıl, 12,0-12,5 metreler de killi çakıl, 12,5 ile 17,5 metreler arasında kum, 17,5 metreden 20,0 metreye kadar çakıllı kum tespit edilmiştir. 20,0 ile 22,0 metreler arasında killi kumlu çakıl, 22,0 ile 23,5 metrelerinde çakıllı kum, 23,5 ile 24,5 metreler arasında kum, 24,5 metreden 31,0 metreye kadar killi kumlu çakıl, 31,0-32,0 metreler arası kum, 32,0-34,0 metreler arası çakıllı kil 34,0-36,5 metreler arası killi çakıl ve 36,5-40,0 metreler arasında çakıllı kil seviyeleri tespit edilmiştir. Yer altı suyu seviyesi 5,0-6,0 metreler arasındadır (Kuyu derinliği 40,0 m) (Şekil 4.3). Arazi sondaj logu Ek-1' de verilmiştir.

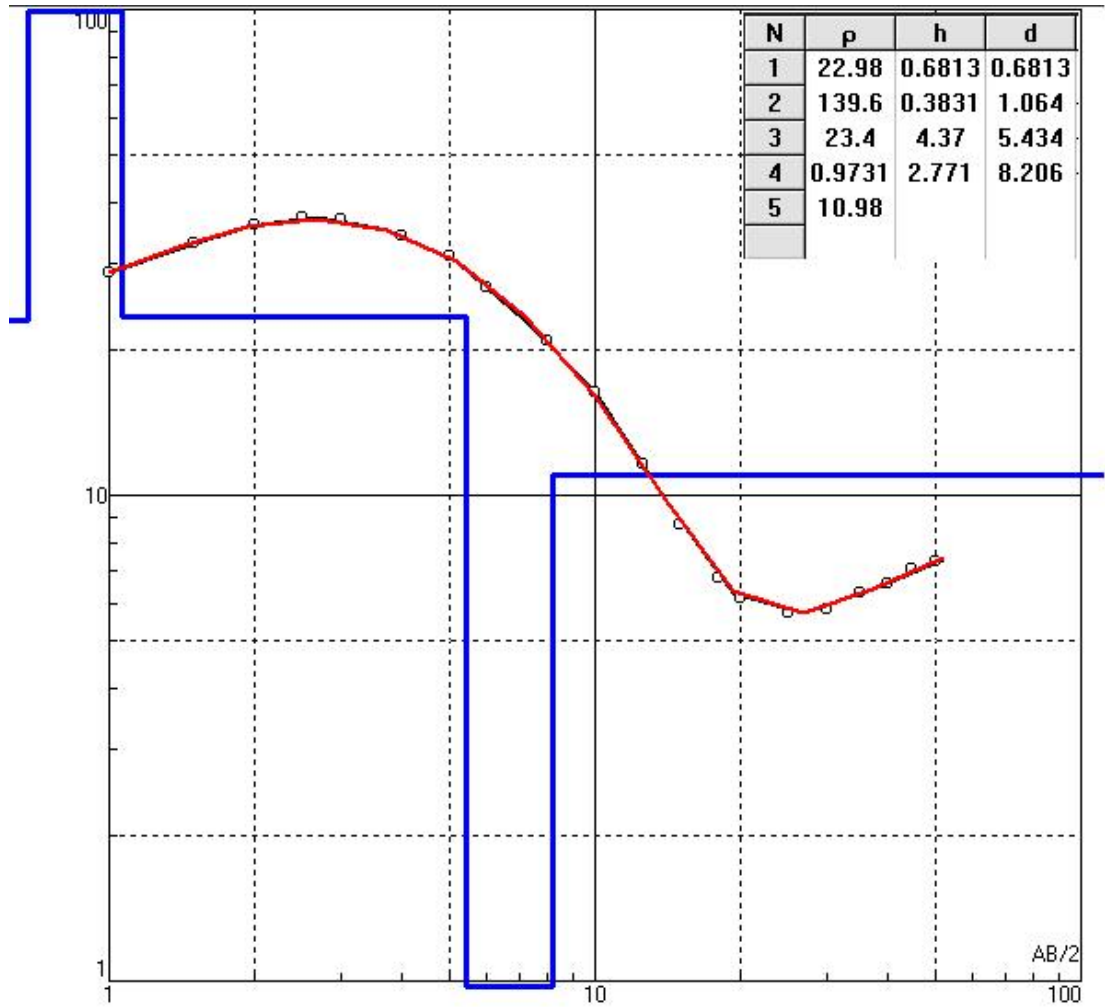
Derinlik (m)		Dolgu malzemesi (Kumtaşı blokları içerir)	Dolgu
5m	5,5m	Siyah humus içerikli kil	3m Kil
10m		Çakıllı kil	6,5m
		Kumlu killi çakıl	
		Kumlu çakıl (gevşek zemin)	
15m		Gevşek kum	Kumlu Çakıllar
20m		Çakıllı kum	ve/veya Çakıllı Kumlar
		Killi kumlu çakıl	
		Çakıllı kum	
25m		Kum	
30m		Killi kumlu çakıl	
		Kum	
35m		Çakıllı kil / killi çakıl	32m
		Sıkı, Killi çakıl	Çakıllı Killer
40m		Sert, Çakıllı kil / killi çakıl	

Şekil 4.3 Balçova deprem istasyonu sondaj logu

4.3.2 Düşey Elektrik Sondaj (DES) Yöntemi

Alanın zemin özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan jeofizik yöntemlerden ilki, düşey elektrik sondaj (DES) yöntemidir. Bu yöntemin uygulanma amacı, düşey yöndeki öz direnç değişimleri ile zeminin yatay tabakalanmasının incelenmesidir.

DES çalışmasında 12 volt 125 amper akü, ABEM marka ölçüm cihazı, akım ve potansiyel kabloları, iki akım iki potansiyel kazığı ve bağlantı maşaları kullanılarak Schlumberger dizilim sistemi ile kuzey-güney doğrultulu 60,0m açılım yapılmış ve ölçümler sonucunda yaklaşık 15,0m derinliğe inilmiştir (Şekil 4.4).



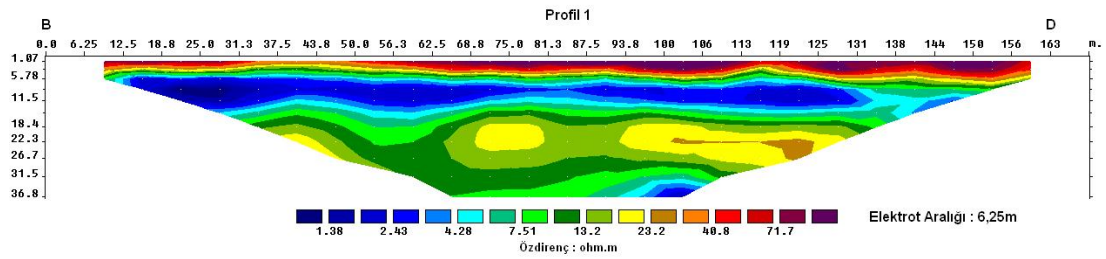
Şekil 4.4 BLC istasyonunun DES profil eğrisi

Yapılan veri değerlendirme sonucunda, ortamda yaklaşık 5 tabaka ayırtlanmıştır. Tabaka parametreleri Şekil 4.4’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre ortalama 5m derinliğe kadar yüzey dolgusu (ort. 100 ohm.m), bu birimin altında ise ortalama 10m derinliğe kadar su içerikli ince taneli ve düşük öz dirençli birimler yer almaktadır. Tabanda ise olasılıkla su içerikli ama iri taneli, üstteki birimlere göre daha yüksek öz dirençli ortam yer almaktadır. Bu sonuçlar sondaj logu ile uyumludur.

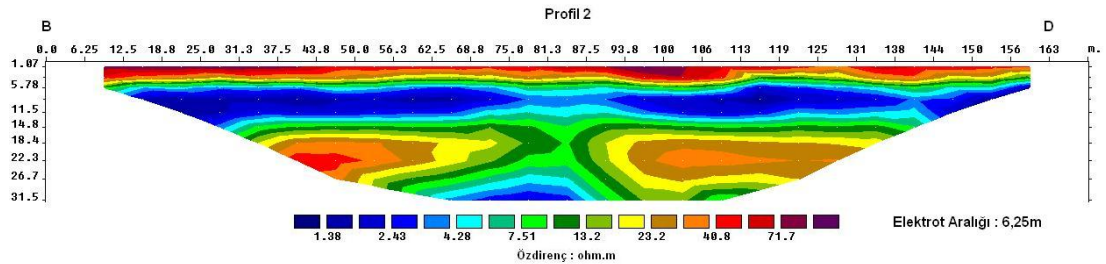
4.3.3 Öz direnç Tomografi Yöntemi

Bu yöntemle öz direnç değerlerinin yatay ve düşey yöndeki dağılımları ölçülüp, iki boyutlu olarak irdelenir.

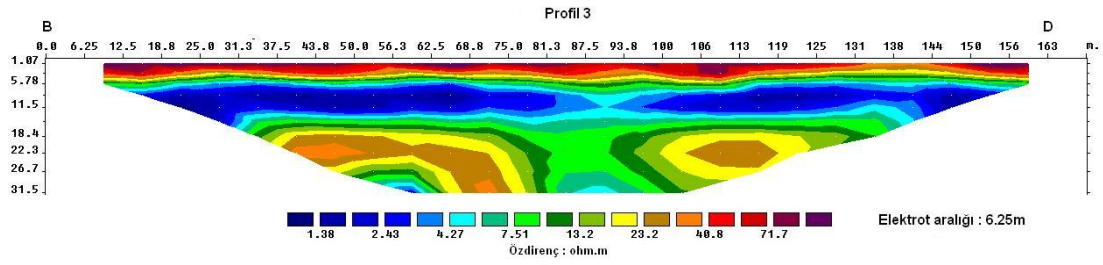
Çalışmalarda 12 volt - 125 amper akü, AGI Supersting R8 elektrik ölçüm cihazı, 28 kanallı çoklu kablo, 28 adet elektrot kazığı ve bağlantı maşaları kullanılarak Wenner-Schlumberger dizilim sistemi ile 6,25 m örnekleme aralıklı 168,75 m’lik batı-doğu yönlü birbirine paralel 3 profil üzerinde (P1, P2 ve P3) ölçümler yapılmış ve yaklaşık 30,0 m’lik araştırma derinliğine inilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler “RES2DINV” bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir.



Şekil 4.5 Öz direnç tomografi profil1’ in yer elektrik kesiti



Şekil 4.6 Öz direnç tomografi profil2’ in yer elektrik kesiti



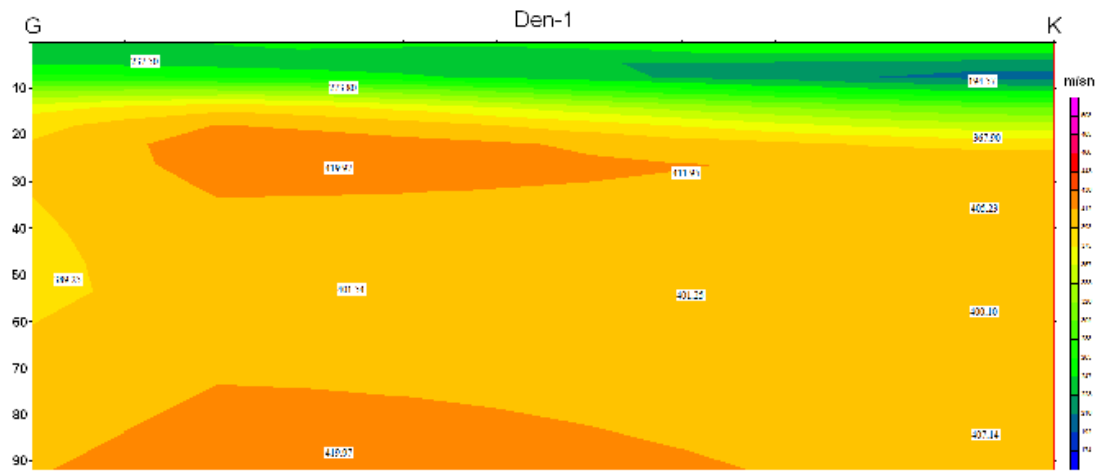
Şekil 4.7 Özdirenç tomografi profil3' in yer elektrik kesiti

Yapılan veri değerlendirme sonucunda, araştırma derinliği (30,0 m) boyunca yanal ve düşey yönlü ani özdirenç değişimleri görülmüştür. Yüzeyden itibaren 5,0 m derinliğe kadar yüzey dolgusu (100 ohm.m), yaklaşık 10,0-15,0 m derinliğe kadar suya doymuş, düşük özdirençli (2 ohm.m) zemin, altta mercekli, iri taneli ve yüksek özdirençli (30 ohm.m) zemin, daha altta düşük özdirençli ve ince daneli birimler gözlenmiştir.

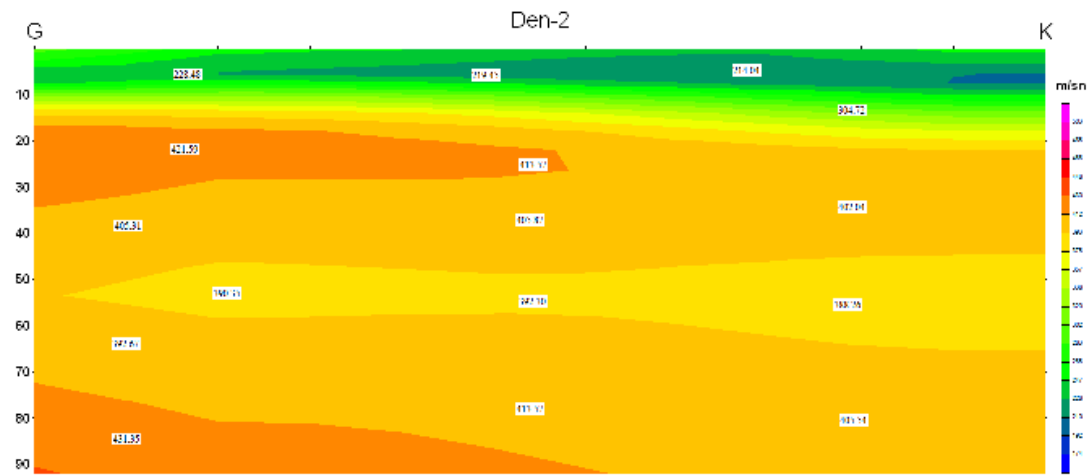
4.3.4 Çok Kanallı Yüzey Dalgaları (MASW) Yöntemi

Bu yöntemde amaç, sismik kırılma yönteminde Snell yasasının kabulü sonucu karşılaşılan “ince ve düşük hızlı zonların belirlenememesi” durumunu yok ederek hem yanal hem de düşey yöndeki Vs hız değişiminin, yüzey dalgaları sayesinde hesaplanabilmesidir. Bunun için balyoz (8 kg) kaynak kullanılarak 24 kanallı Geometrics Geode kayıtçısı ile 24 adet 4,5Hz lik jeofonlar kullanılarak kayıtlar alınmıştır. Ölçülerde 2sn kayıt uzunluğu ve 1000 msn örnekleme aralığı seçilmiştir. Profilin baş, son ve ortasında olmak üzere 4 profilde 12 adet ölçüm yapılmıştır. Den-1 ve Den-2 profilleri K-G, Den-3 ve Den-4 profilleri B-D yönlüdür.

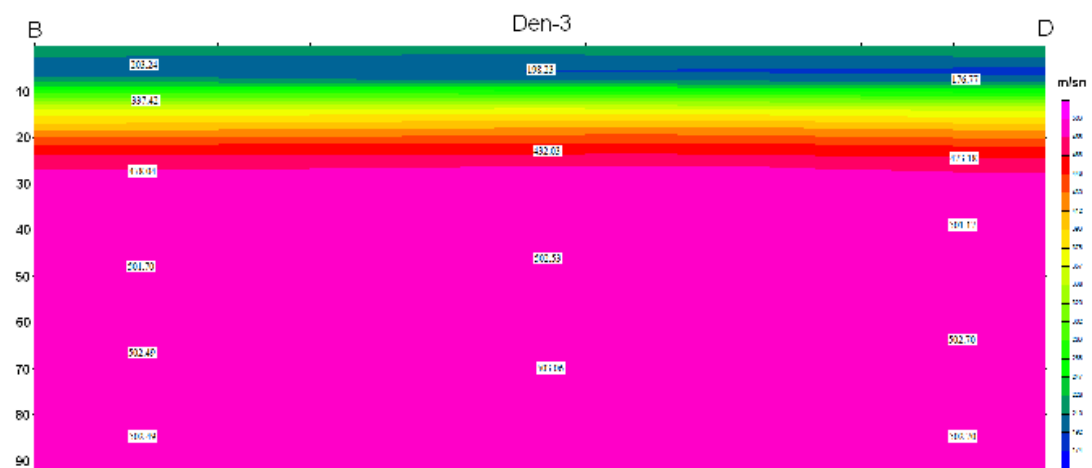
MASW verilerinin analizleri Frekans-Dalgasayısı (FK) analizi olarak bilinen yöntemle yapılmıştır (Stokoe ve diğ., 1994). Bu analiz ile elde edilen dispersiyon eğrilerinin temel özelliğine bakıldığında yüksek frekanslardaki (5-15 Hz) faz hızı değişimlerinin sığ derinliklerdeki (< 30-40 m) S-dalga hızlarının elde edilmesine yönelik bilgi sağladığı görülmektedir. MASW verileri bilgisayar ortamında “Seisimager” yazılımı kullanılarak her profilde derinliğe bağlı 2 boyutlu Vs30 hız değişim grafikleri elde edilmiştir.



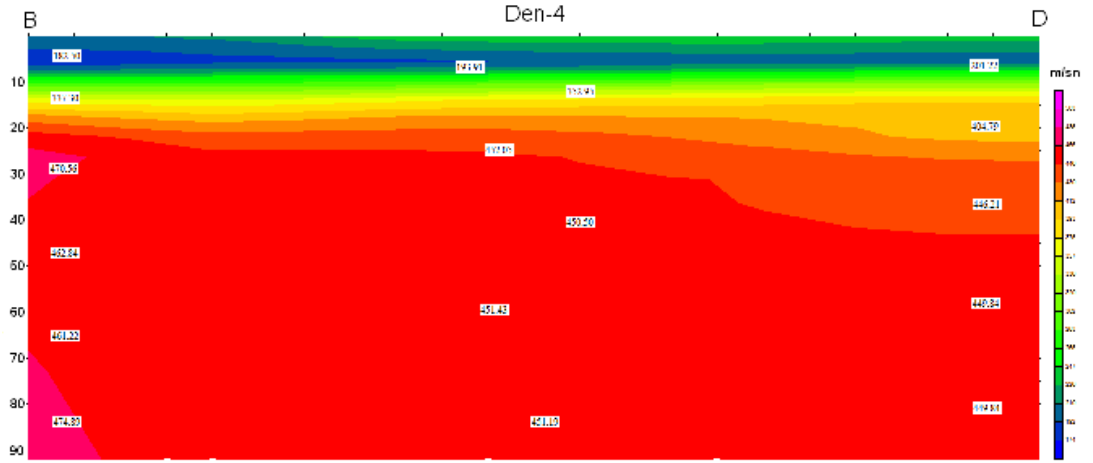
Şekil 4.8 Den-1 Yer Hız Kesiti (V_s (m/s))



Şekil 4.9 Den-2 Yer Hız Kesiti (V_s (m/s))



Şekil 4.10 Den-3 Yer Hız Kesiti (V_s (m/s))

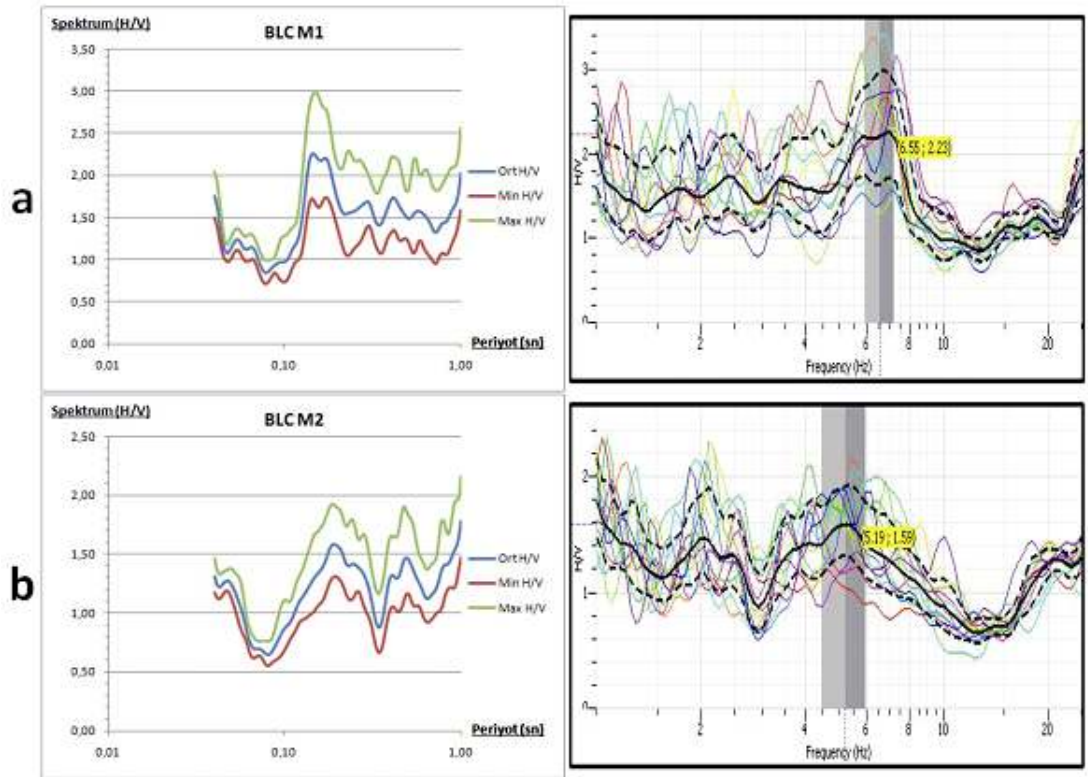


Şekil 4.11 Den-4 Yer Hız Kesiti (Vs(m/s))

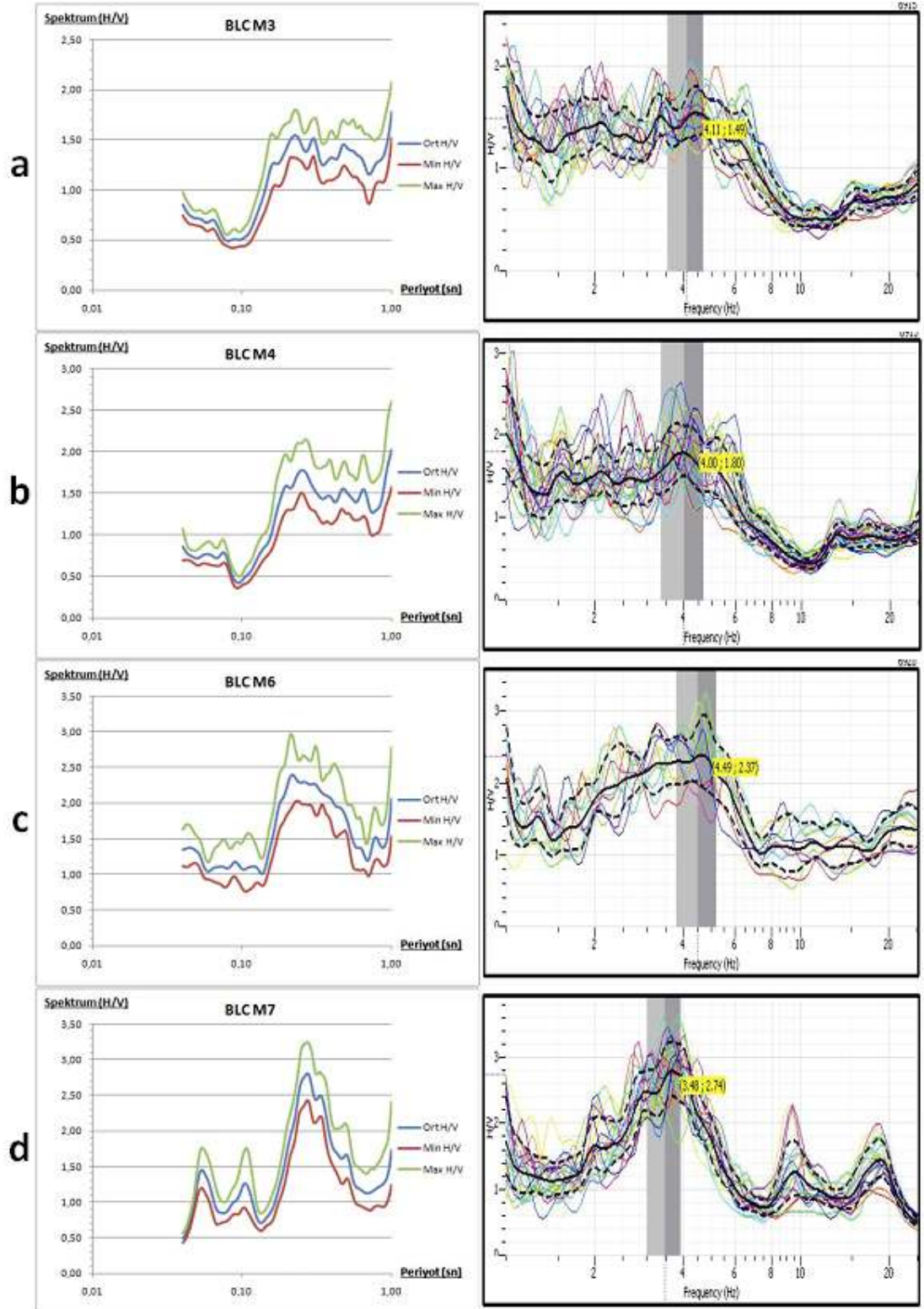
Yapılan veri değerlendirme sonucunda, tüm profillerde ortak özellik hız değerlerinin derine doğru artmasıdır (180-500 m/sn). Den-1 ve Den-2 profillerinde hız değerleri kuzeyden güneye doğru (220-450 m/sn) artmaktadır. Ayrıca yanıl ve düşey yönlü hız değişimleri gözlenmektedir. Den-3 ve Den-4 profillerinde hız değerleri (450-500 m/sn) genel anlamda homojen bir yapı sergilemektedir.

4.3.5 Mikrotremor Yöntemi

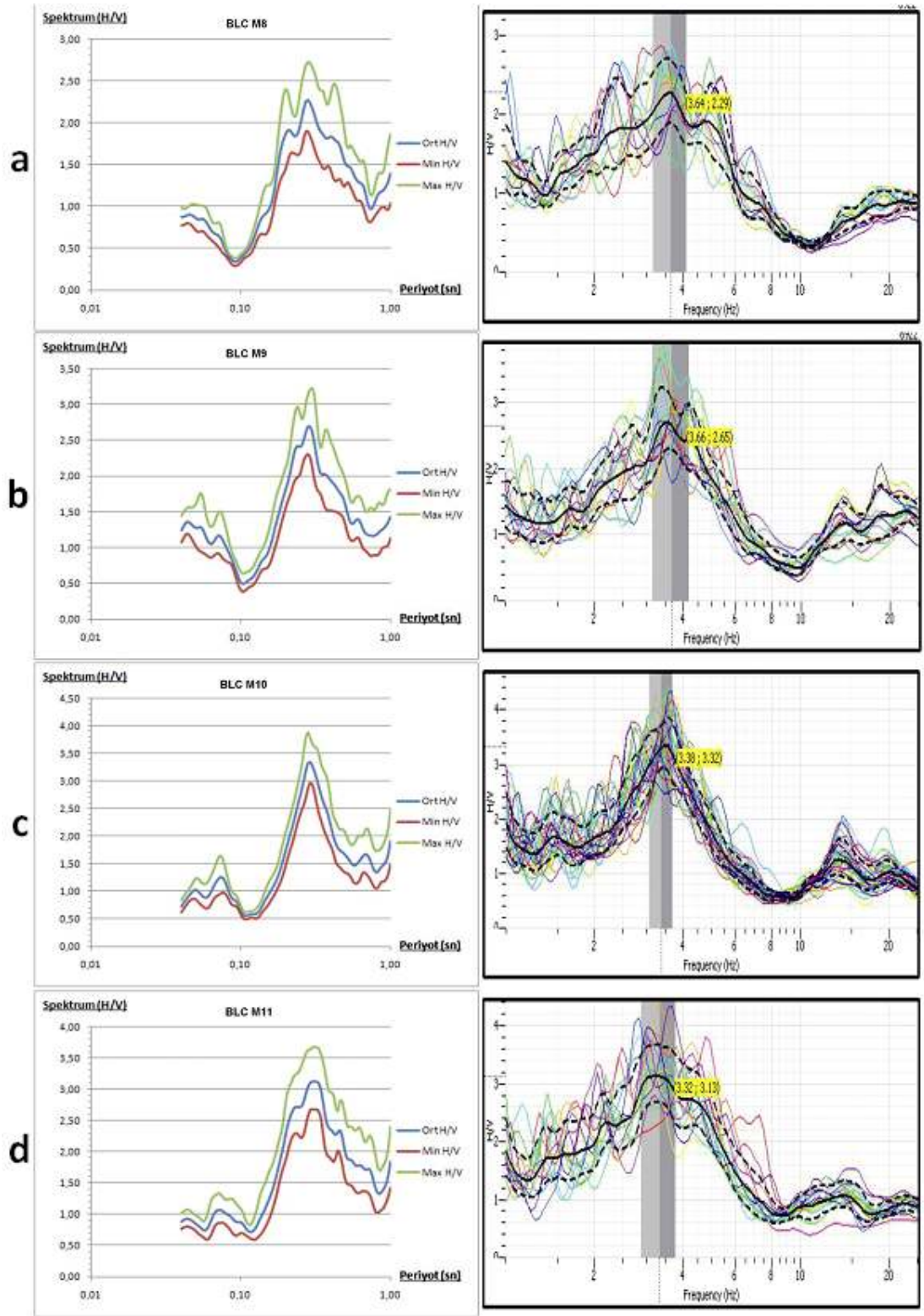
Son olarak uygulanan yöntem ise mikrotremor yöntemidir. Bu yöntem ile yerin doğal titreşim genliklerinin zamana bağlı olarak kaydedilerek, olası bir depremde göstereceği tepki incelenmiş ve yapılan analizler sonucu dinamik zemin parametrelerine ulaşılmıştır. Seçilen 21 noktada alınan kayıtlar, Guralp Systems üç bileşenli CMG-6TD sismometresi ile alınmıştır. Kayıt uzunluğu, çalışılan alanın gürültü seviye durumuna göre 15 ile 30 dk arasında, örnekleme aralığı da 0,01 sn (100Hz) seçilmiştir. Toplanan mikrotremör verileri, yatay-düşey spektral oranı analizi olarak tanımlanan Nakamura Tekniği (1989) ile “GEOPSY” programında değerlendirilerek spektral oran – frekans eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerden elde edilen zemin hakim titreşim periyotları kullanılarak zemin sınıflaması ile bu periyot değerlerine karşılık gelen yatay-düşey genlik oranları saptanmıştır (Field ve Jacob, 1995).



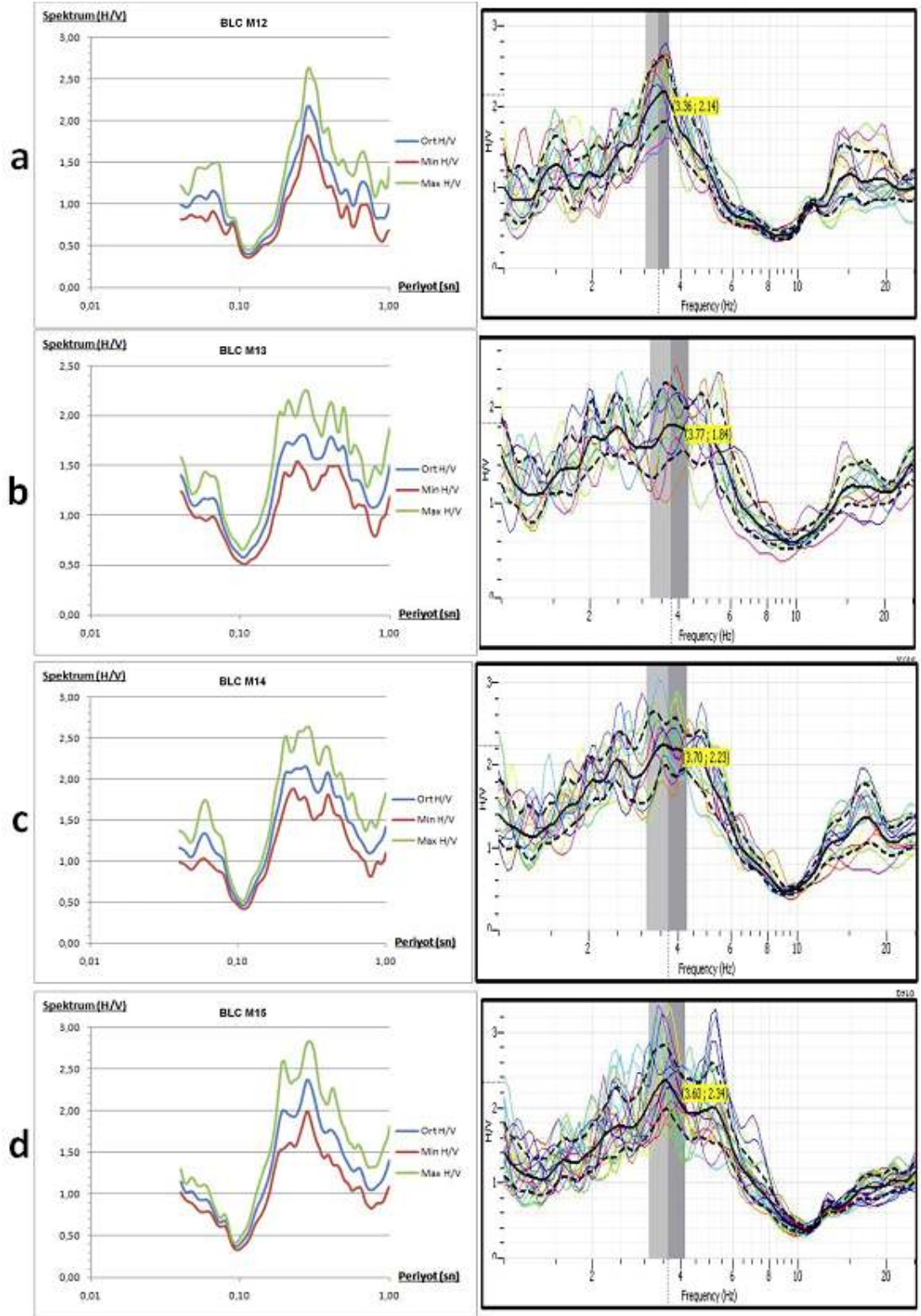
Şekil 4.12 a) M1, b) M2 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri



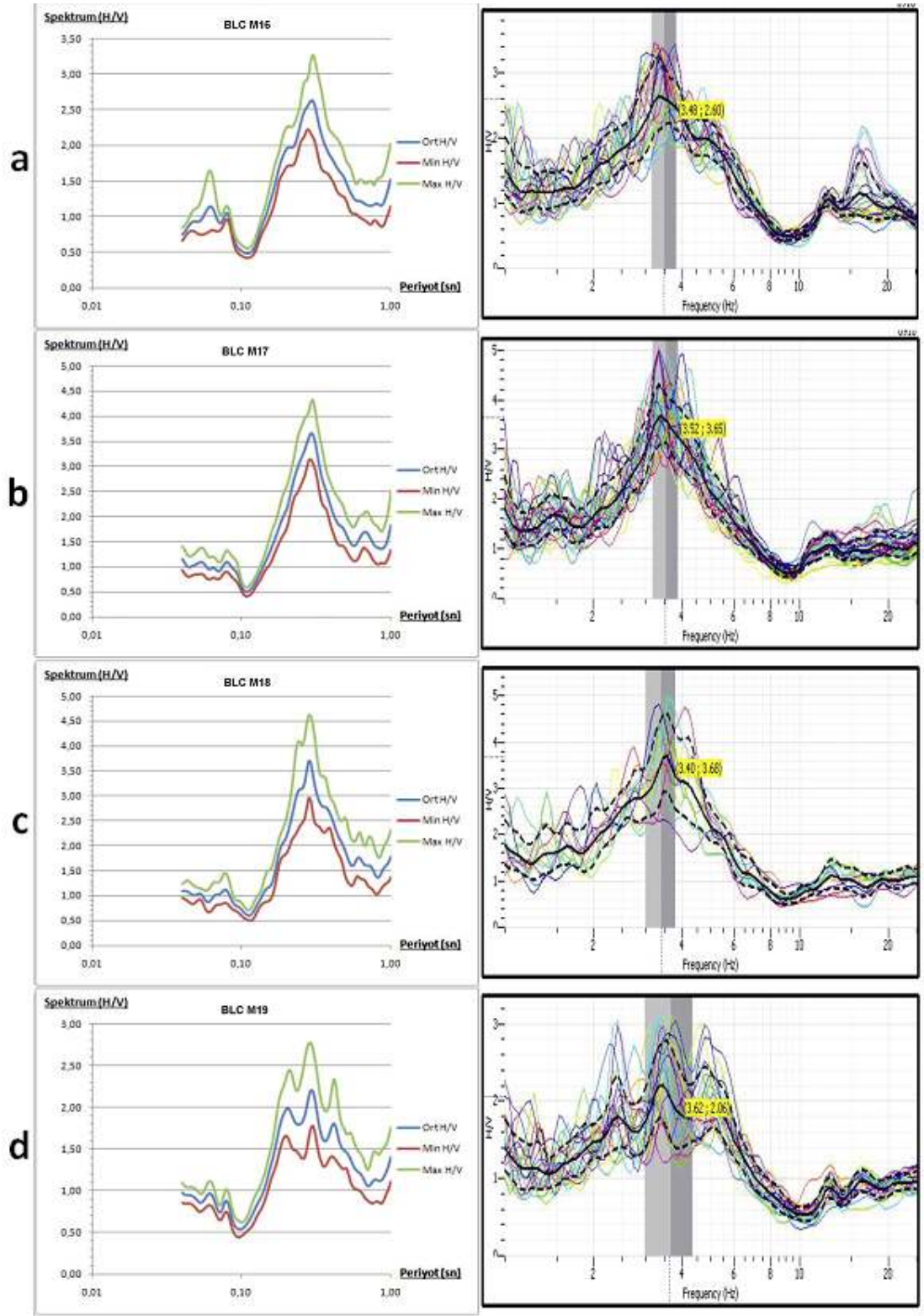
Şekil 4.13 a) M3, b) M4, c) M6, d) M7 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri



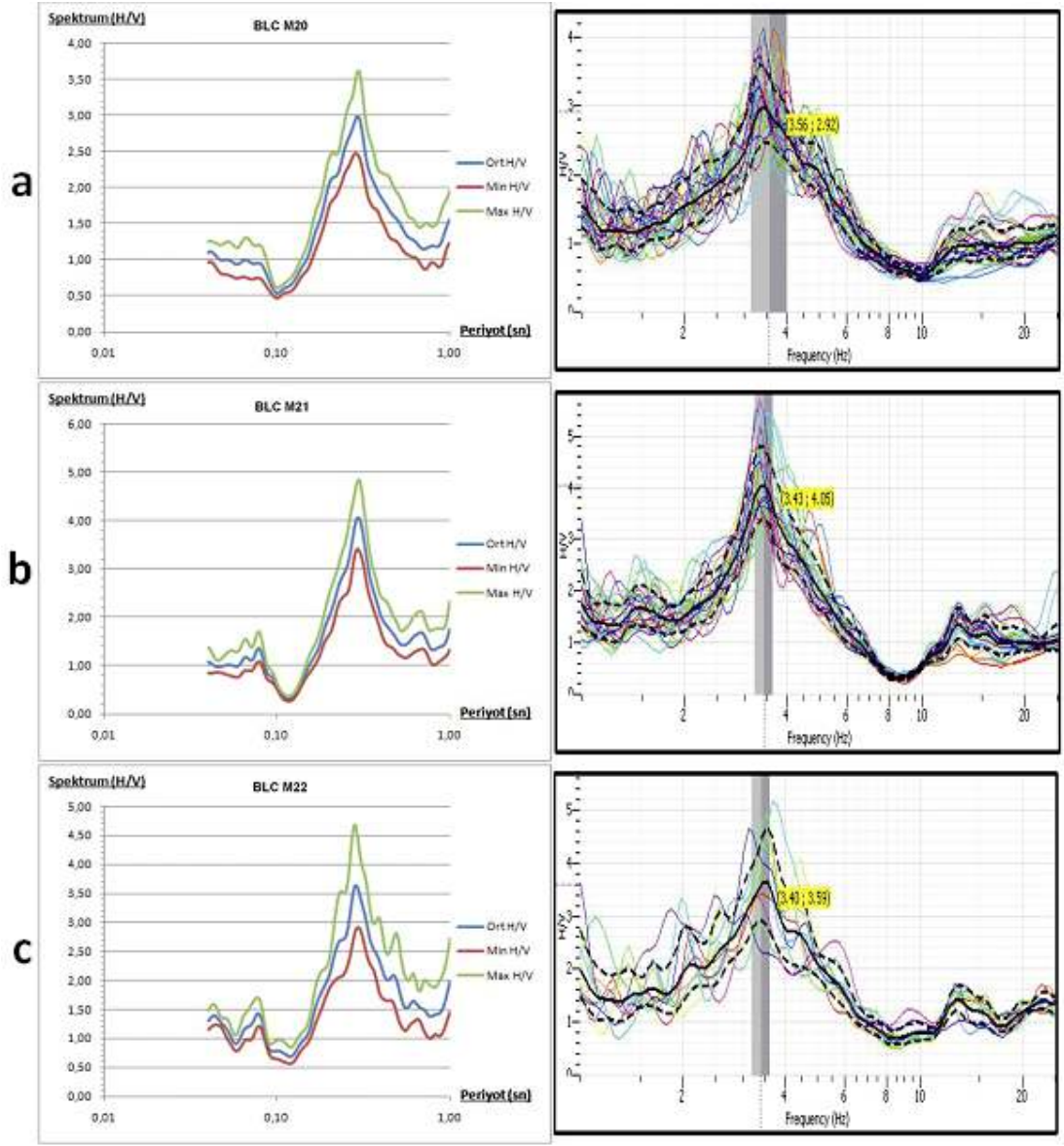
Şekil 4.14 a) M8, b) M9, c) M10, d) M11 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri



Şekil 4.15 a) M12, b) M13, c) M14, d) M15 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri



Şekil 4.16 a) M16, b) M17, c) M18, d) M19 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri



Şekil 4.17 a) M20, b) M21, c) M22 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri

Yapılan veri değerlendirme sonucunda, tüm noktalarda tek pik görülmüştür. Hakim periyot ortalama 0,26sn, spektral genlik oranı değerleri ortalama 2,6 olarak bulunmuştur.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ VE ÖNERİLER

İzmir Metropolitan alanının deprem ve deprem riski açısından ayrıntılı şekilde irdelenmesi amacıyla 106G159 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenen bu proje kapsamında İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde 16 adet Kuvvetli Yer Hareketi deprem gözlem istasyonu içinden Balçova - BLC kodlu istasyon zemininin irdelenmesi amacıyla bir dizi uygulamalı jeofizik yöntem (DES, Özdirenç Tomografi, MASW ve Mikrotremör) uygulanmış ve zemin sondajı sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Elektrik özdirenç yöntemleri, iki aşamalı olarak uygulanmıştır. İlk olarak “Düşey Elektrik Sondaj (DES)” tekniği uygulanarak sadece düşey yönde özdirenç değişimleri irdelenip, zeminin yatay tabakalanması incelenmiştir. Buna ek olarak Özdirenç Tomografi Tekniği uygulanarak yaklaşık 30 m araştırma derinliği hedeflenmiş, yatay ve düşeyde değişen özdirenç değerleri incelenmiştir.

DES yöntemi sonucunda, 15,0 m araştırma derinliğinde 5 tabaka geçilerek, yeraltı su seviyesinin etkisi 6,0 m civarında görülmüştür. Dolayısıyla zemin sondajı ile elde edilen yer altı su seviyesi, bu sonuçla desteklenmiştir. Özdirenç tomografi yöntemi sonucunda, yüzeyden 5,0 m derinliğe kadar boşluklu ve su içermeyen yüksek özdirençli (20-140 ohm.m) yüzey dolgusu geçilmiştir. 5,0 – 15,0 metreler arasında yer altı su seviyesinin geçilmesiyle birlikte su içeriği yüksek, ince daneli ve düşük özdirenç değerlerine sahip humuslu kil zonu geçilmiştir. 15,0 metreden sonra, iri daneli ve mercekli yapılar içeren kumlu çakıl ve/veya çakıllı kum birimi geçilmiş ve özdirenç değerleri yükseltmiştir.

Proje kapsamında gerçekleştirilen bir diğer uygulamalı jeofizik yöntem olan MASW yöntemi ile yatay ve düşeyde değişen Vs hız değerleri 180 m/sn ile 510 m/sn arasında, Vs30 hız değerleride 300 m/sn ile 323 m/sn arasında belirlenmiştir. Tüm profillerde ortak özellik hız değerlerinin derine doğru artmasıdır. Den-1 ve Den-2 profillerinde hız değerleri kuzeyden güneye doğru artarak değişmektedir. Ayrıca yanal ve düşey yönlü hız değişimleri gözlenmektedir. Den-3 ve Den-4 profillerinde hız değerleri genel anlamda doğu-batı doğrultusunda homojen bir yapıyı göstermektedir.

Son olarak mikrotremör yöntemi ile zeminin hakim titreşim frekansı ve yer hareketini büyütme potansiyeli, yatay/düşey spektral oran (Nakamura Tekniği) yöntemi kullanılarak doğrudan belirlenmiştir.

Zemin sondaj numunelerinden laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen SPT değerleri ve bu numunelerin çıkarıldıkları derinlikler göz önüne alındığında; yüzeyden itibaren 0,0-3,0 metrelik zonda yüzey dolgusu, 3,0-6,5 metreler arasında killi zeminler, 6,5-32,0 metreler arasında iri taneli granül zeminlerden kumlu ve çakıllı zeminler ve 32,0-40,0 metreler arasında da genellikle çakıllı olmak üzere killi yer almaktadır.

MASW, özdirenç ve zemin sondaj verileri ortak değerlendirildiğinde Tablo 5.1'deki sonuçlara ulaşırlar (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 Zemin birimlerinin MASW ve özdirenç tomografi yöntemiyle karşılaştırılması

<u>Derinlik (m)</u>	<u>Vs30 (m/sn)</u>	<u>Özdirenç (ohm.m)</u>	<u>Zemin Sondaj Logu</u>
0,0 - 3,0 m	200 m/sn < Vs30 < 225 m/sn	70 - 25 ohm.m	dolgu malzemesi
3,0 - 6,5 m	180 m/sn < Vs30 < 200 m/sn	25 - 10 ohm.m	Humus içerikli kil
6,5 - 32,0 m	225 m/sn < Vs30 < 470 m/sn	60 - 1,5 ohm.m	kumlu çakıl ve/veya çakıllı kum
32,0 - 40,0 m	450 m/sn < Vs30 < 510 m/sn	15 - 2 ohm.m	çakıllı killi

Mühendislik yapılarının dizaynı için zemin sınıflamasının, yüzeyden en fazla 30,0m derinliğe kadar olan bölümünün Vs30 (30,0m deki ortalama Vs hızı) hızına göre yapılması yaygın kabul görmektedir. Bundan yola çıkarak aşağıdaki tablolarda, National Earthquake Hazard Reduction Programme (NEHRP), Eurocode8 ve Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY 2007)' ne göre Vs30 hızları zemin sınıflamaları yapılmıştır.

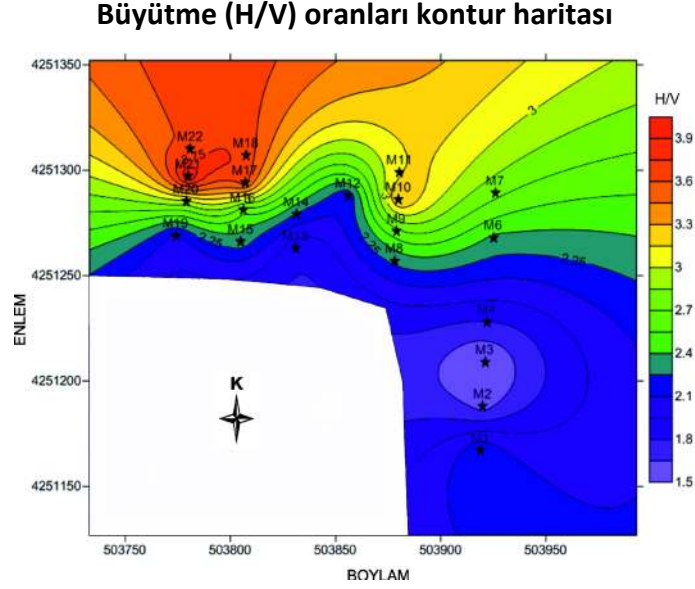
Aşağıdaki tabloda çalışma alanı, Nerph kriterlerine göre D – “sert toprak zemin”, Eurocode8 kriterlerine göre C – “sıkı veya orta-sıkı derin kum depolanmaları, çakıl veya kalınlıkları birkaç 10,0m den yüzlerce metreye varabilen sert kil” ve TDY 2007 kriterlerine göre B3 veya C2 – “çok katı kil ve siltli kil-orta sıkı kum,çakıl” şeklinde tanımlanmıştır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Vs30 (m/sn) hızlarına göre zemin sınıflaması

BOYLAM	ENLEM	PROFİL NO	DATA İSMİ	VS30	NEHRP	EURO CODE 8	TDY 2007
503948	4251188	DEN_1	1.DAT	319,6	D	C	B3 veya C2
		DEN_1	3.DAT	323,0	D	C	B3 veya C2
503896	4251194	DEN_2	1.DAT	321,6	D	C	B3 veya C2
		DEN_2	3.DAT	318,1	D	C	B3 veya C2
503848	4251295	DEN_3	1.DAT	307,1	D	C	B3 veya C2
		DEN_3	3.DAT	303,8	D	C	B3 veya C2
503846	4251265	DEN_4	1.DAT	300,4	D	C	B3 veya C2
		DEN_4	3.DAT	301,7	D	C	B3 veya C2

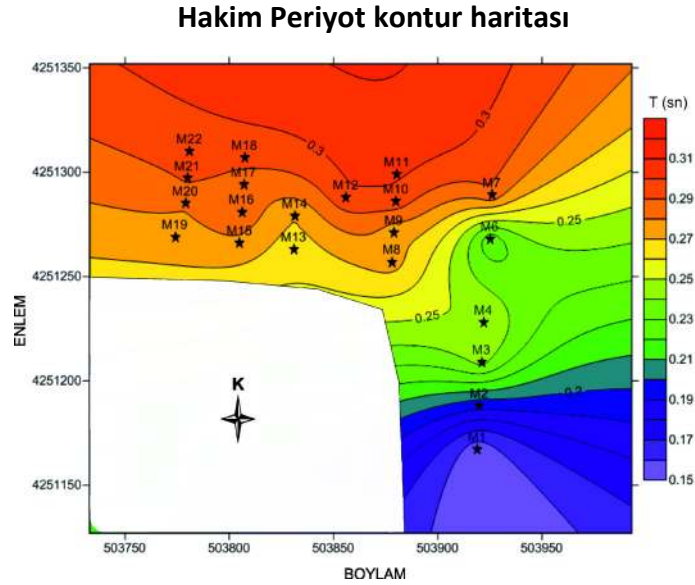
Mühendislik yapısı öz periyodunun, rezonansa girmemesi için zemin hakim periyodu ve spektral genlik oranlarından zemin hakim titreşim frekansı ve bu frekansa ait yatay-düşey genlik büyütme oranı belirlenmelidir.

Yatay-düşey genlik büyütme oranları 1,5-4,0 arasında değişmekte ve çalışma alanının kuzey bölgesinde güneye göre yüksek değerler almaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Yatay-düşey genlik büyütme (H/V) oranları kontur haritası

Hakim periyot değerleri 0,15-0,30sn arasında değişmekte ve yine alanın kuzey bölgesinde daha büyük değerlere ulaşmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Hakim Periyot kontur haritası (T_0)

Dolayısıyla, çalışma alanının kuzey bölgesinde hem hakim periyot hem de büyütme faktörünün daha yüksek olması sebebiyle zemin özellikleri güney kısma göre daha gevşek ve yumuşaktır.

Ayrıca veriler NERHP kriterlerine göre C – “yoğun toprak-yumuşak kaya”, TDY 2007 kriterlerine göre Z2 yerel zemin sınıfında belirlenmiştir. En üst tabaka kalınlığı 15,0 m olarak belirlenirse $h > 15,0$ m için TDY 2007 ye göre zemin B grubu Z2 yerel zemin sınıfıdır. $h < 15,0$ m için TDY 2007 ye göre zemin C grubu Z2 yerel zemin sınıfıdır (Tablo 5.3). Mikrotremor verileri 30m ye göre daha derinden bilgi getirdiği için, Vs30 hızları ile yapılan zemin sınıflamasına göre daha farklı sonuç vermiştir.

Tablo 5.3 Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen spektral genlik oranı ve hakim periyot değerleri

<u>Nokta</u>	<u>Boylam</u>	<u>Enlem</u>	<u>Spektral Genlik Oranı Ao (H/V)</u>	<u>Hakim Periyod To (sn)</u>	<u>Hakim Frekans Fo (Hz)</u>	<u>NEHRP</u>	<u>TDY 2007</u>
M1	503919	4251167	2,2300	0,1527	6,5500	B	Z2
M2	503920	4251188	1,5900	0,1927	5,1900	C	
M3	503921	4251209	1,4900	0,2433	4,1100		
M4	503922	4251228	1,8000	0,2500	4,0000		
M6	503925	4251268	2,3700	0,2227	4,4900		
M7	503926	4251289	2,7400	0,2874	3,4800		
M8	503878	4251257	2,2900	0,2747	3,6400		
M9	503879	4251271	2,6500	0,2732	3,6600		
M10	503880	4251286	3,3200	0,2959	3,3800		
M11	503880,5	4251299	3,1300	0,3012	3,3200		
M12	503856	4251288	2,1400	0,2976	3,3600		
M13	503831	4251263	1,8400	0,2653	3,7700		
M14	503831,5	4251279	2,2300	0,2703	3,7000		
M15	503805	4251266	2,3400	0,2778	3,6000		
M16	503806	4251281	2,6000	0,2874	3,4800		
M17	503807	4251294	3,6500	0,2841	3,5200		
M18	503807,4	4251307	3,6800	0,2941	3,4000		
M19	503774	4251269	2,0600	0,2762	3,6200		
M20	503779	4251285	2,9200	0,2809	3,5600		
M21	503780	4251297	4,0500	0,2915	3,4300		
M22	503781	4251310	3,5900	0,2941	3,4000		

Sonuç olarak;

Uygulanan çok disiplinli çalışmalar sonucunda elde edilen jeofizik ve jeoteknik verileri birbiri ile uyumludur.

Çalışma alanı zemini C grubu – Z2 sınıfıdır. Olasılıkla üstte boşluklu ve gevşek, daha derinlerde ise değişken taneli ve yer yer merceksi sert ve/veya sıkı bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmalar, zeminin yön bağımlı ve anizotrop özellik göstermesi nedeniyle, istasyon deprem verileri ile değiştirilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Alçık, H. A., Gürbüz, C., Üçer, B. (1995). Kadıköy ve Üsküdar Bölgelerinde Yapılan Mikrotremor Ölçümleri İle Mikrobölgelendirme. *Jeofizik Dergisi* (9,10); 235-245.
- Başoğlu, Ş. (1975). İzmir İç Körfez Hidrografisi ve Sedimentolojisi. *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yüksek Lisans Tezi*, 104.
- Başokur, A.T. (2004). Düşey Elektirik Sondaj Verilerinin Yorumu. *Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Ders Notları*
- Dziewonski, A. M., Hales, A. L. (1972). Numerical Analysis Of Dispersive Seismic Waves. *Methods in Computational Physics*, 271–295.
- Düzbastılar, M. K., (1978). Karaburun Yarımadası'nın Stratigrafisi Hakkında. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*. Seri A, C. II, S. 4.
- Eftelioğlu, M. (1983). Gülbahçe Körfezi Sedimentolojisi ve Dinamiği. *DEÜ DBTE-DJJ Yüksek Lisans Tezi*, 111.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 110, 1-15.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu' nun İzmir ile Seferihisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi. *TPJP Bülteni*, c. 2, 1-20.
- Eurocode8 Site Classes, (2007).
<http://www.eurocodes.co.uk/EurocodeDetail.aspx?Eurocode=8>. 07 Ekim 2010.

- Field, E. H. and Jacob, K. H. (1995). A Comparison And Test Of Various Site-response Estimation Techniques, Including Three That Are Not Reference-site Dependent. *Bulletin Seismological Society of America*, 85, 1127-1143.
- Genç ve diğ (2001). *The Çubukludağ Graben, South Of Izmir: Its Tectonic Significance In The Neogene Geological Evolution Of The Western Anatolia*, *Geodinamica Acta*, 14, 45-55.
- Gül, A. (1972). Mikrobölgelendirme Etüdları İlke ve Yöntemleri. *Türkiye' de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara.
- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Villari, L. (1982b). *Neogene and Quaternary Volcanism in Anatolia and NW Iran: Orogenic Andesites*. John Wiley Sons, Newyork, 327-349.
- Kanai, K., Tanaka,T. (1961). *On Microtremors* 8. Bulletin of Earthquake Res. Inst., Un. of Tokyo, (39), 97-114.
- Kanai, K., Tanaka, T., Yoshizawa, S. (1965). *On Microtremors* 9. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43, 577-588.
- Kanai, K. (1983). Engineering Seismology. *University of Tokyo*, 251.
- Kayan, İ. (2000). İzmir Çevresinin Morfotektonik Birimleri Ve Alüvyonal Jeomorfolojisi. *Batı Anadolu Depremselliği Sempozyumu*, 103.
- Kobayashi, H., Seo, K., Midorikawa, S. (1986). *Part 1, Estimated strong ground motions in the Mexico city due to the Michoaca, Mexico Earthquake of September 19, 1985 based on Characteristics of Microtremor, Part 2, Report on seismic microzonning studies of the Mexico earthquake of September 19, 1985*. The Graduate School of Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, 34-68.

- Kagami, H., Okada, S., Shino, K., Oner, M., Dravinski, M., Mal, A. K. (1986). Observation of 1 to 5 Second Microtremors and Their Application to Earthquake Engineering. Part III. A Two Dimensional Study of Site Effects in S. Fernando Valley. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76; 1801-1812.
- Konuk, T. (1977). Bornova filisinin Yaşı. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi Seri-B*, 1-1, 65-74.
- Lermo, J., Garcia F. J. (1994). *Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (5); 1350-1364.
- Loke, M.H., (2001). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Penang, Malaysia, Universiti Sains Malaysia, unpublished course notes, 121 pp
- Mirzaoglu, M., ve Dikmen, Ü. (2003). The Seismic Microzonation Map of Yenisehir-Bursa, NW of Turkey by Means of Ambient Noise Measurements, *Journal Of Balkan Geophysical Society*, Vol. 8, No.2, May, 2005, 53-62.
- Nakamura, Y., (1989). *A Method for Dynamics Charecteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface*. QR of RTRI, Vol 30, No:1, 25-33.
- Nakamura, Y., (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. *Wisconsin Center for Environmental Education*, 2656-2660.
- Nerhp Site Classes, (2000).
<http://www.seis.utah.edu/urban/nehrrp.shtml>. 07 Ekim 2010.

- Ozcep, F., Karabulut, S., Alp, H., and Ozel, O. (2009). *A Study on Soil Effect in Avcilar Campus by using H/V technique, seismic refraction, SPAC and MASW Measurements*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-8311-3, 2009, EGU General Assembly.
- Park, C.B., Xia, J., and Miller, R.D. (1998). Imaging Dispersion Curves of Surface Waves on Multichannel Record. *68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts*, 1377-1380.
- Radius Projesi (1999). İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı. <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/izmirrapor.htm>. 15 Ekim 2010.
- Ramazanoğlu, İ. (2008). Balçova İlçesi Ve Çevresinin Aktif Tektoniği Ve Depremselliği: Jeolojik Ve Sismolojik Verilerin Karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Stokoe II, K. H., Wright, S.G., Bay, J.A., and Roesset, J.M. (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*.
- Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö. (2003a). Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) Arasında Uzanan Miyosen Sonrası Yaşlı KD-Doğrultulu Accommodation Zonuna Ait Saha Verileri. *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler Kitabı, Ankara*, 85–86.
- Sözbilir, H., İnci, U., Erkul, F., Sümer, Ö. (2003b). *An Intermittently Active transform zone accommodating N-S Extension in Western Anatolia and its relation to the North Anatolian Fault System*. International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology, 31 Augst to 12 September 2003, Poster Session P:2/2, Ankara.

Türk, N. and Koca, M.Y. (1994). *Slope Stability Assessment of an Andesite Quarry in Izmir, Western Turkey*. 3rd Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection, October 18-20, 1994, p. 871-876, Istanbul.

Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 (2007).

<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf>. 14 Eylül 2010.

Uzel, B., Sözbilir, H. & Özkaymak, Ç. (2010). Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey *Turkish Journal of Earth Sciences* [Turkish J. Earth Sci.]

Wills, C. J., Petersen, M., Bryant, W. A., Reichle, M., Saucedo, G. J., Tan, S. (2000). A Site-Conditions Map for California Based on Geology and Shear-Wave Velocity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90, 187-208.

Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave. *Geophysics*, 64(3), 691-700.

EK

EK - Sondaj Kuyu Logu

TEME L SONDAJ KUYU LOGU BORING LOG										DÖKÜMAN NO : REVİZYON : 01 REVİZYON TARİH : 16.06.2008 YAYIN TARİHİ : 08.03.2008 SAYFA NO : 1/2												
Proje Adı / Project Name			KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARI			İşveren / Contractor			D.E.Ü.													
Yeri / Location			Başlangıç Tarihi / Start Date			Bitiş Tarihi / Finish Date			Kuyu No Bore Number													
İli / City			06.06.2008			12.06.2008			01-BLC													
Kotu / Gr. Elevation			Makina Tipi / Rig Type			Sondör / Driller			Yeraltı suyu ölçüm Ground water													
Coordinate			Logu Hazırlayan / Logged by			Tarih / Date			12.06.2008													
Derinliği / Depth			Saniye Muh / Site Eng			Derinliği / Depth			5.0 m													
Derinliği / Depth			Tarih / Date			Derinliği / Depth			15.06.2008													
Derinliği / Depth			Derinliği / Depth			Derinliği / Depth			6.1 m													
Derinlik / Depth (m)	İlerleme / Drilling (m)	Su seviyesi / Water level	Kuyu çapı / Bore diameter	Munafaza borusu / Casing	Sondaj suyu rengi / Colour of bore water	Basınç / Pressure (kg/cm ²)	1. Sıkı Kayış / 1st. S.S. (I)	2. Sıkı Kayış / 2nd. S.S. (II)	Toplam kayış / Total S.S. (I)	Lugeon	Su kaybı / Water loss (l/20dak)	K (cm/s)	Vane Den. / Vane Test	Standart Penetrasyon Deneyi / Standard Penetration Test	GRAFIK / GRAPHIC	Kayıp yüzdesi / Core recovery (%)	RQD (%)	Çatlak sıklığı / Joint density (1/m)	Ayrışma derecesi / Weathering	Örnek alınan seviyeler / Sample Depth	Jeolojik Kesit / Geological Section	Tanımama / Description
0	06.06.2008																				BITKİSEL TOPRAK (0,0-0,3 m)	
2																					DOLGU (kumlaşı bloklu, kili, inşaat malzemesi içerikli dolgu) (0,3-3,0 m)	
4																					KİL (grimsi siyahimsi renkli, bitki kökleri içerikli, 6,0-6,5 m arası az ince çakilli) (3,0-6,5 m)	
6																					KUMLU ÇAKIL (6,5-7,5 m)	
8																					KUMLU KILLI ÇAKIL (grimsi renkli, ince çakilli) (7,5-8,0 m)	
10																					KUMLU ÇAKIL (kahverengimsi gri renkli, çakıl dane boyu max 5 cm) (8,0-12,0 m)	
12																					KILLI ÇAKIL (kahverengi, ince çakilli) (12,0-12,5 m)	
14																					KUM (kahverengi, in daneli kum) (12,5-17,5 m)	
16																					ÇAKILLI KUM (kahverengi, max çakıl dane boyu max 2 cm) (17,5-20,0 m)	
18																						
20																						

GEÇİRLİLİK / PERMEABILITY (LUGEON)	KAYA NİTELİĞİ YÜZDESİ / ROCK QUALITY (RQD)	AYRIŞMA DERESESİ / WEATHERING (W)	ÇATLAK SIKLIĞI / JOINT DENSITY (#/m)
<1 Geçirimsiz / Impermeable	0-25 Çok Zayıf / Very poor	W-1 Taze / Fresh	<1 Masif / Massive
1-5 Az Geçirimsiz / Slightly permeable	25-50 Zayıf / poor	W-2 Az ayrışmış / Slightly weathered	1-3 Az çatlaklı-kırık / Slightly joint-fractured
5-25 Geçirimsiz / Permeable	50-75 Orta / Fair	W-3 Orta derecede ayrışmış / Mod weathered	3-10 Kırık / Fractured
>25 Çok Geçirimsiz / Highly permeable	75-90 İyi / Good	W-4 Çok ayrışmış / Highly weathered	10-50 Çok çatlaklı-kırık / Highly joint-fractured
	90-100 Çok İyi / Excellent	W-5 Tamamen ayrışmış / Comp Weathered	>50 Parçalanmış / Comp. fractured

TEMEL SONDAJ KUYU LOGU BORING LOG										DÖKÜMAN NO : REVİZYON : 01 REVİZYON TARİHİ : 16.06.2008 YAYIN TARİHİ : 08.03.2008 SAYFA NO : 2/2	
Proje Adı/Project Name			KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARI			İşveren / Contractor			D.E.Ü.		
Yeri / Location			DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ-İNCİRALI			Başlangıç Tarihi/Start Date			06.06.2008		
İli / City			İZMİR			Bitiş Tarihi / Finish Date			12.06.2008		
Kotu / Gr. Elevation			Z			Makina Tipi / Rig Type			ROTARY		
Kordinatı			X			Sondör / Driller			İmza		
Coordinate			Y			Logu Hazırlayan / Logged by			Signature		
Derinliği / Depth			40,0 m			Santiye Muh./Site Eng.			Tarih / Date		
									12.06.2008		
									Derinliği/Depth		
									5,0 m		
									Tarih / Date		
									15.06.2008		
									Derinliği/Depth		
									6,1 m		
Derinlik / Depth (m)			Lugeon Den. Lugeon Test			Basıncız su den. Unpressure test			Vane Den. Vane Test		
İlerleme/Drilling (m)			Su kaybi Water loss (220kPa)			K (cm/s)			Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test		
Su seviyesi / Water level			Lugeon						Darbe sayısı: No of blows		
Kuyu çapı/çatlatıcı çatlatıcı Boring diameter			Su kaybi Water loss (220kPa)						0 - 15 cm		
İçerideki boru/Çatlatıcı			Su kaybi Water loss (220kPa)						15 - 30 cm		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						30 - 45 cm		
Çatlatıcı/Çatlatıcı			Su kaybi Water loss (220kPa)						N ₆₀		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						GRAFIK / GRAPHIC		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Kerel İzmesi/Core recovery (%)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						RQD (%)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Çatlatıcı Sıklığı/Joint density (1/m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Ayrışma Derecesi / Weathering		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Ornak alınan örnekler Sample Depth		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Jeolojik Kesit Geological Section		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Tanımlama Description		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						KILI KUMLU ÇAKIL (kahverengi) (20,0-22,0 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						ÇAKILLI KUM (kahverengi, max çakıl dane boyu:2,5 cm) (22,0-23,5 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						KUM (kahverengi, in daneli kum) (23,5-24,5 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						KILI KUMLU ÇAKIL (Kahverengi, max çakıl dane boyu:3 cm) (24,5-31,0 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						KUM (çakılı, max çakıl dane boyu:1 cm, in daneli kum) (31,0-32,0 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						ÇAKILLI KİL (Kahverengi,max çakıl dane boyu:1,5 cm) (32,0-34,0 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						KILI ÇAKIL (grimsi kahverengi) (34,0-36,5 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						ÇAKILLI KİL (Kahverengi) (36,5-40,0 m)		
Sondaj suyu rengi (%)			Su kaybi Water loss (220kPa)						Kuyu sonu:40,0 m		
GEÇİRLİLİK / PERMEABILITY (LUGEON)			KAYA NİTELİĞİ YÜZDESİ / ROCK QUALITY (RQD)			AYRIŞMA DERESESİ / WEATHERING (W)			ÇATLAK SIKLIĞI / JOINT DENSITY (# m)		
<1 Geçirimsiz/Impermeable			0-25 Çok Zayıf / Very poor			W-1 Taze ayrılmamış/Fresh			<1 Masif / Massive		
1-5 Az Geçirimsiz/Slightly impermeable			25-50 Zayıf / poor			W-2 Az ayrılmış/Slightly weathered			1-3 Az çatlaklı-kırıktı / Slightly joint-fractured		
5-25 Geçirimsiz/Impermeable			50-75 Orta / Fair			W-3 Orta derecede ayrılmış/Mod weathered			3-10 Kırıktı / Fractured		
>25 Çok Geçirimsiz/Highly permeable			75-90 İyi / Good			W-4 Çok ayrılmış/Highly weathered			10-50 Çok çatlaklı-kırıktı / Highly joint-fractured		
			90-100 Çok İyi / Excellent			W-5 Tamamen ayrılmış/Comp weathered			>50 Parçalanmış / Comp. fractured		

SİMGELER

A_h, A_v	Yüzey dalgalarına bağlı yatay ve düşey hareketlerin büyütme faktörü
A_0	Büyütme faktörü
C_b	Basenin S dalga hızı
C_s	Yüzey tabakasının S dalga hızı
E_{RW}	Rayleigh dalga etkisi
F_0	QTS'e ait frekans
H_f, V_f	Sedimanter basenin yüzey tabakasındaki yatay ve düşey spektrumları
H	Anakaya derinliği
H_s	Zemindeki deprem kayıtlarının yatay bileşeni
H_B, V_B	Havzanın altındaki taban içindeki yatay ve düşey hareketlerin spektrumları
H_s, V_s	Rayleigh dalgalarının yatay ve düşey yöndeki spektrumları
H/V	Yatay-düşey genlik büyütme (H/V) oranları
S_E	Yer etkisi
S_R	Spektral oran
T_0	Hakim Periyot
T_h	Yatay büyütme
V_P	P dalga hızı
V_S	S dalga hızı
V_{S30}	Yüzeyden 30 metreye kadar olan V_S hızı
QTS	SH dalgalarının yüzey tabakaları içindeki çoklu yansımaları ile büyütme faktörüne ait birinci sıradaki uygun frekansı

KISALTMALAR

DEU	Dokuz Eylül Üniversitesi
MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves
SASW	Spectral Analysis of Surface Waves
DES	Düşey Elektrik Sondaj
TDY2007	Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program

ŞEKİLLER

- Şekil 2.1 İzmir ve yöresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Genç ve diğ., 2001)
- Şekil 2.2 Çalışma alanı yakın çevresinin jeolojisi (Ramazanoğlu, 2008'den değiştirilmiştir.)
- Şekil 3.1 Akım (A ve B) elektrotlarından yer içine elektrik verilmesiyle oluşan eş potansiyel yüzeylerin gerilim (M ve N) elektrotlarına ilerlemesi
- Şekil 3.2 DES tekniği elektrot diziliminin şematik gösterimi.
- Şekil 3.3 Çok elektrotlu öz direnç cihazı ile arazide ölçü alımı
- Şekil 3.4 Öz direnç Tomografi yönteminin ana bileşenleri ve elde edilen 2B görüntü
- Şekil 3.5 MASW veri toplama şeması
- Şekil 3.6 Jeofonların arazideki konumu ve uygulama şeması.
- Şekil 3.7 MASW tekniğinin arazide uygulanması.
- Şekil 3.8 Sismik dalgaların görünümü. (A-Hava dalgası B-Direk dalga C-Yüzey dalgası D-Yansıma E-Kırılma F-Yüzey dalgası geri saçılımları G-Kültürel çevre Gürültüsü
- Şekil 3.9 Tipik bir sedimanter basen yapısı
- Şekil 3.10 Dört Zemin sınıfı için, En Büyük periyod - Ortalama periyod ve En büyük Genlik Hakim Periyod Grafikleri (Kanai ve Tanaka,1961'den değiştirilmiştir)
- Şekil-3.11 Nakamura Tekniğiyle elde edilmiş spektrumlar
- Şekil 4.1 Çalışma alanının yerbulduru haritası
- Şekil 4.2 Çalışma alanının krokisi
- Şekil 4.3 Balçova deprem istasyonu sondaj logu
- Şekil 4.4 BLC istasyonunun DES profil eğrisi
- Şekil 4.5 Öz direnç tomografi profil1'in yer elektrik kesiti
- Şekil 4.6 Öz direnç tomografi profil2'in yer elektrik kesiti
- Şekil 4.7 Öz direnç tomografi profil3'in yer elektrik kesiti

Şekil 4.8	Den-1 Yer Hız Kesiti ($V_s(m/s)$)
Şekil 4.9	Den-2 Yer Hız Kesiti ($V_s(m/s)$)
Şekil 4.10	Den-3 Yer Hız Kesiti ($V_s(m/s)$)
Şekil 4.11	Den-4 Yer Hız Kesiti ($V_s(m/s)$)
Şekil 4.12	a) M1, b) M2 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri
Şekil 4.13	a) M3, b) M4, c) M6, d) M7 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri
Şekil 4.14	a) M8, b) M8, c) M10, d) M11 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri
Şekil 4.15	a) M12, b) M13, c) M14, d) M15 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri
Şekil 4.16	a) M16, b) M17, c) M18, d) M19 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri
Şekil 4.17	a) M20, b) M21, c) M22 mikrotremor ölçüm noktalarından elde edilen H/V grafikleri
Şekil 5.1	Yatay-düşey genlik büyütme (H/V) oranları kontur haritası
Şekil 5.2	Hakim Periyot kontur haritası (T_0)

TABLolar

Tablo 3.1	Yerel zemin sınıfı (Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 – (http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf)
Tablo 3.2	Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) (Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 – (http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf)
Tablo 3.3	Zemin grupları (Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 – (http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf)
Tablo 3.4	NEHRP'e göre zemin sınıflama kriterleri (http://www.seis.utah.edu/urban/nehrrp.shtml)
Tablo 3.5	Eurocode 8'e göre zemin sınıflama kriterleri. (http://www.eurocodes.co.uk/EurocodeDetail.aspx?Eurocode=8)
Tablo 5.1	Zemin birimlerinin MASW ve öz direnç tomografi yöntemiyle karşılaştırılması
Tablo 5.2	V_{s30} (m/sn) hızlarına göre zemin sınıflaması
Tablo 5.3	Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen spektral genlik oranı ve hakim periyot değerleri