

**SİSMİK KIRILMA YÖNTEMİ VE MİKROTREMÖR
ÖLÇÜMLERİNDEN ELDE EDİLEN DİNAMİK ZEMİN
PARAMETRELERİNİN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ
(CBS) KULLANILARAK HARİTALANMASI**

Sunay MUTLU
Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı
Eylül-2012

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1105F095**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Sunay Mutlu'nun "Sismik Kırılma Yöntemi Ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Haritalanması" başlıklı Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 27.07.2012 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Yücel GÜNEY
Üye	: Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU
Üye	: Prof. Dr. Alper ÇABUK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİSMİK KIRILMA YÖNTEMİ VE MİKROTREMÖR ÖLÇÜMLERİNDEN ELDE EDİLEN DİNAMİK ZEMİN PARAMETRELERİNİN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) KULLANILARAK HARİTALANMASI

Sunay MUTLU

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

2012, 126 sayfa

Eskişehir Kent Merkezi'nde yerleşimin büyük bir kısmı alüvyal zemin üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca, bölgenin fay hatlarına yakınlığından dolayı depremden önemli derecede etkileneceği düşünülmektedir. Bu yüzden, alanın yer mühendislik parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sismik yöntemler, bu parametrelerin bulunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, seçilen alan için yer mühendislik parametreleri olarak zeminin dinamik ve elastik özelliklerinin belirlenmesi ve bu parametrelerin CBS kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak, 23 farklı lokasyonda sismik kırılma ve mikrotremör ölçümleri alınmıştır. Elde edilen veriler analiz edilerek sismik dalga hızları hesaplanmış ve bu hızlara bağlı olarak da bazı zemin mühendislik parametreleri bulunmuştur. Bu parametreler ve CBS teknikleri kullanılarak çalışma alanının sismik haritaları oluşturulmuştur. Sismik yöntemlerinin uygulanması ve CBS kullanılarak bu verilerin haritalanması ile şehir merkezinin ilk 30 m'si için ortalama kayma dalgası hızı, zemin büyütmesi, zemin hakim periyodu ve diğer dinamik elastik parametrelerin alansal değişimleri belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Eskişehir'in kentsel dönüşümünde belirlenecek riskli alanların tayininde, deprem master planlarının oluşturulmasında ve yeni yerleşime açılacak alanların belirlenmesinde önemli yer tutacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sismik Kırılma, Mikrotremör, CBS

ABSTRACT

Master of Science Thesis

MAPPING DYNAMIC SOIL PARAMETERS OBTAINED FROM THE SEISMIC REFRACTION METHOD AND MICROTREMOR MEASUREMENTS USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

Sunay MUTLU

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Remote Sensing and Geographic Information Systems Program**

Supervisor: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

2012, 126 pages

A large part of the settlement region of Eskişehir is located on alluvial soil. The region is thought to be significantly affected by the earthquake because of its proximity to the fault lines. Because of the fact that, engineering parameters of the ground should be determined for the study area. Seismic methods are commonly used to find these parameters. In this study, ground engineering parameters such as dynamic and elastic parameters were determined and modeled by using GIS for the selected area. For this purpose, seismic refraction and microtremor measurements were taken on 23 different locations. The data obtained were analyzed and seismic wave velocities were determined. According to the calculated velocities some ground dynamic parameters were determined. By using these parameters and GIS techniques, seismic maps of the study area were created. The average shear wave velocity for the first 30 m of the city, site amplification, dominant period of the ground and other dynamic and elastic parameters of spatial variations were interpolated by using GIS. The results of this study could be used in the determination of risky areas for urban relocation, the creation of earthquake master plans and determination of new settlement areas.

Keywords: Seismic Refraction, Microtremor, GIS

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen, yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren ve tezime danışmanlık yapan sevgili hocam Prof. Dr. Yücel GÜNEY'e,

Çalışma sürecinde hiçbir sorumu cevapsız bırakmayan, karşılaştığım problemlerle yakından ilgilenen, gerek arazi çalışmalarım gerekse de veri işlem aşamalarında bilgi ve tecrübelerinden önemli ölçüde faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU'na,

Maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim sayın hocam Prof. Dr. Alper ÇABUK'a,

Çalışma süresince bilgi birikimini, değerli görüş ve tavsiyelerini benimle paylaşan, yardımlarıyla her zaman yanımda olan değerli hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Emrah PEKKAN, Yrd. Doç. Dr. Uğur AVDAN ve Arş. Gör. Muammer TÜN'e,

Jeofizik verilerin değerlendirilmesinde yardımlarından faydalandığım Jeofizik Müh. Ömer ULUKAMA'ya,

Arazi ve ofis çalışmalarımın kahrımı çeken ve bana yardımlarını hiç esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Resul ÇÖMERT, Hidrojeoloji Müh. Serkan KAHRAMAN, İnşaat Müh. Hüseyin AKDENİZ, Jeoloji Müh. Ebru AKDENİZ, Jeoloji Müh. H. Burak ÖZMEN, İnşaat Müh. Serkan SOLMAZ, Jeofizik Müh. Erhan KÖKSAL, Tekniker Fatih ERKAYA, Tekniker Aytaç GÜNÇAL ve lojistik destek veren şoförümüz Bilal ŞAHİN'e,

Ayrıca çalışmalarım sırasında her zaman yanımda ve destekçim olan nişanlım Ayşe MUTLU'ya ve bugünlere gelmemi sağlayan, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her şeyin üzerinde tuttuğum değerli aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Sunay MUTLU

Eylül-2012

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
3. KURAMSAL TEMELLER	11
3.1. Sismik Yöntemler	11
3.1.1. Cisim Dalgaları	12
3.1.2. Yüzey Dalgaları	14
3.1.3. Dinamik ve Elastik Parametreler	15
3.1.4. Sismik Kırılma Yöntemi	21
3.1.5. Mikrotremör Yöntemi	28
3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yer Bilimlerindeki Uygulamaları	31
3.2.1. Kriging Yöntemi	35
4. MATERYAL VE YÖNTEM	37
4.1. Materyal	37
4.1.1. Sismik Ekipmanlar	37
4.2. Yöntem.....	47
4.2.1. Sismik Arazi Düzeni	48
4.2.2. Sismik Veri Toplama	50
4.2.3. Mikrotremör Verisi Toplama	52
4.2.4. Sismik Verilerin Kalite Kontrolü	53
4.2.5. Sismik Verilerin Analizi	53

4.2.6. CBS Kullanılarak Sismik Verilerin Haritalanması	53
5. İNCELEME ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ	55
5.1. Coğrafi Konum ve Yüzey Şekilleri	55
5.2. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri	56
5.2.1. Stratigrafi.....	56
5.2.2. Alüvyonlar	57
5.3. Yapısal Jeoloji.....	57
5.4. Sismik Arazi Çalışmalarının Yapılacağı Alanların Belirlenmesi	59
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLARI	63
6.1. Sismik Kırılma Yöntemi Verileri.....	63
6.2. Mikrotremör Verileri.....	65
6.3. Hesaplanan Zemin Parametreleri	68
6.4. Elde Edilen Verilerin Haritalanması	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	99
EK 1. Sismik Kırılma Hatları Hız Kesitleri	107
EK 2. Ölçüm Noktalarından Elde Edilen Mikrotremör Kayıtları.....	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1 Ağustos 1999 Gölcük depremi, Kocaeli	1
3.1 P- dalgasının yayılımı (Us, 1998)	13
3.2 Bağlı büyütme faktörlerinin karşılaştırılması (ISSMFE, 1993)	20
3.3 Sismik kırılma yönteminde kullanılan kaynak ve jeofonların yerleşimi (Ercan, 1998).....	21
3.4 Bir katman sınırına gelen ışının yansıması ve kırılması	23
3.5 Sismik kırılma deney düzeneği (Redpath, 1973)	25
3.6 Sismik kırılmada ilk gelen dalgaların dalga cepheleri (Corps of Engineers, 1979).	25
3.7 $x_n > x_c$ olduğu zamanki ilerleme izi (Kramer, 1996)	26
3.8 Çoklu yatay katmanlar için ilerleme zamanı-uzaklık diyagramı (Redpath, 1973).....	27
3.9 Coğrafi Bilgi Sisteminin genel fonksiyonları (Anonim, 2004).....	32
3.10 CBS bileşenleri (Anonim, 2004).....	32
4.1 S-Gun'ın üç boyutlu görünüşü (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011).....	38
4.2 S-Gun'ın önden görünüşü (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011).....	39
4.3 Bir Gun grubuna ait düşey kesit (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011).....	40
4.4 S Gun sismik enerji kaynağı (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011)	41
4.5 P gun sismik enerji kaynağı (Canyaran ve Ecevitoglu, 2011)	42
4.6 Sismik ekipmanlar ve 48 kanallı kurulum şematığı	43
4.7 Sismik ekipmanların arazide kullanımından bir fotoğraf.....	44
4.8 S jeofonu	45
4.9 S jeofonu (solda) ve P jeofonu (sağda)	45
4.10 Çalışmada kullanılan Guralp CMG-6TD ölçüm cihazı ve ekipmanları.....	46
4.11 Değişken aralıklı serim düzeni.....	49
4.12 Sismik kırılma çalışmalarından fotoğraflar.....	51
4.13 Sismik kırılma çalışması sırasında çekilen fotoğraflar	51
4.14 Guralp CMG-6TD kayıtçı sisteminin arazide yerleştirilmesi ve veri kaydı alınmasından bir görüntü	52

5.1 Çalışma alanının Türkiye ve çevre illerle olan konumu ve Mayıs 2009 tarihli Quickbird	55
5.2 Eskişehir ve çevresinin jeolojisi (Orhan, 2005 ve MTA jeoloji haritalarından düzenlenmiştir)	56
5.3 Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası (Altunel ve Barka, 1998).....	59
5.4 Çalışma alanının litolojisi	60
5.5 Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli haritası ve sismik hat lokasyonları.....	61
5.6 Sismik ölçüm noktalarını gösteren harita.....	61
5.7 Sismik çalışmaların yapıldığı lokasyonları gösteren harita	62
6.1 Pickwin modülü görünümü (E_1 hattı uzak ofset kaydı)	63
6.2 Plotrefa modülü görünümü (Sismik kırılma verisi (P dalgası) uzaklık-geçiş zamanı grafiği).....	64
6.3 E_1 Sismik kırılma hattı hız kesiti	65
6.4 S_1 Sismik kırılma hattı hız kesiti	65
6.5 A_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı.....	67
6.6 B_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı	67
6.7 1. Tabaka için P dalgası hızı haritası.....	75
6.8 2. Tabaka için P dalgası hızı haritası.....	75
6.9 3. Tabaka için P dalgası hızı haritası.....	76
6.10 1. Tabaka için S dalgası hızı haritası.....	76
6.11 2. Tabaka için S dalgası hızı haritası.....	77
6.12 3. Tabaka için S dalgası hızı haritası.....	77
6.13 İlk 30 metre için ortalama S dalgası hızı haritası.....	78
6.14 Zemin hakim frekansı haritası.....	79
6.15 Zemin hakim periyodu haritası	79
6.16 1. Tabaka hız oranı	81
6.17 2. Tabaka hız oranı.....	81
6.18 3. Tabaka hız oranı	82
6.19 1. Tabaka poisson oranı.....	82
6.20 2. Tabaka poisson oranı.....	83
6.21 3. Tabaka poisson oranı.....	83

6.22	1. Tabaka young modülü.....	84
6.23	2. Tabaka young modülü.....	84
6.24	3. Tabaka young modülü.....	85
6.25	1. Tabaka kayma modülü	85
6.26	2. Tabaka kayma modülü	86
6.27	3. Tabaka kayma modülü	86
6.28	1. Tabaka bulk modülü.....	87
6.29	2. Tabaka bulk modülü.....	87
6.30	3. Tabaka bulk modülü.....	88
6.31	Midorikawa (1987)'ya göre hazırlanan zemin büyütme haritası.....	89
6.32	Borcherdt ve ark. (1991)'e göre zemin büyütme haritası	89
6.33	Borcherdt' a göre büyütme değerlerini içeren sonuç haritası	90
6.34	Midorikawa'ya göre büyütme değerlerini içeren sonuç haritası	91
6.35	Vs30 değeri sonuç haritası	91
6.36	Zemin hakim periyodu sonuç haritası	92
6.37	Eskişehir kent merkezi büyütme değeri haritası (Borcherdt'a göre)	93
6.38	Eskişehir kent merkezi büyütme değeri haritası (Mikodirawa'ya göre)	94
6.39	Eskişehir kent merkezi için zemin hakim periyodu haritası	94
6.40	Eskişehir kent merkezi için ilk 30 m için kayma dalgası hızıdeğişimini veren harita	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1 P ve S dalga hızlarının bazı kayalarındaki yayınma hızları (Clark, 1966).....	14
3.2 Poisson oranı ve hız oranına göre zemin/kaya sıklığı (Ercan, 2001).....	16
3.3 Elastisite değerlerine göre zemin durumları (ASTM, 1987).....	17
3.4 Kayma modülü değerlerine göre zemin durumu (ASTM, 1987).....	17
3.5 Büyütme oranları ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar (ISSMFE, 1993)	19
5.1 Uygulanan sismik kırılma yönteminin özellikleri.....	62
6.1 Mikrotremör kayıtları.....	66
6.2 Sismik kırılma yönteminden elde edilen sismik hızlar	68
6.3 V_p/V_s hız oranı ve bu hız oranına göre zemin sıklığı sınıflaması	69
6.4 P-Poisson oranı ve poisson oranına göre zemin sıklığı sınıflaması	70
6.5 Elastisite (Young) modülü ve elastisite modülüne göre zemin durumu	71
6.6 G-Kayma (Shear) modülü (kg/cm) ve kayma modülüne göre zemin sınıflaması	72
6.7 Tabakaların bulk modülü (kg/cm ³) değerleri	73

1. GİRİŞ

Dünyamız, içyapısında oluşturduğu enerji birikimlerinden dolayı yanardağ patlamaları ve levha hareketleri gibi olaylarla bu enerjiyi dışa vurmaktadır. Levhaların birbirlerini sıkıştırıp gevşetmesi ile yer kabuğu hareketlenmektedir. Yer kabuğunun oluşturduğu kayaçların bir düzlem boyunca kırılmasıyla oluşmuş fay denilen kırıkların ani yer değiştirmesiyle depremler meydana gelmektedir. Depremler, asırlardır insanoğlunun maruz kaldığı ve en büyük can ve mal kayıplarını yaşadığı afetlerin başında gelir.

Türkiye, üzerinde bulunduğu Anadolu yarımadasının neotektonik konumu nedeniyle, dünyada diri fayların en yoğun olduğu ülkelerden biridir. Ülkemiz topraklarının 2/3'si hasar yapıcı şiddette deprem tehdidi altındadır. Bu yüzden deprem konusu ülkemiz için ciddi bir olgudur. Deprem sonrasında karşılaşılan ağır can ve mal kayıpları konunun önemini arttırmaktadır (TUDAP, 2005 ve Deprem Şurası, 2004). 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi sonucunda yaşadığımız kayıplar bizlere olası bir depreme hazırlıksız olduğumuzu göstermiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Ağustos 1999 Gölcük depremi, Kocaeli

Ülkemizde yaşanan depremlerde karşılaşılan yapısal hasarların ve çökmelerin en önemli nedeni; yapılaşmaya uygun olmayan zeminlerdeki depreme dayanıksız yapı stoku olarak karşımıza çıkmıştır. Bundan dolayı bölgesel deprem tehlike analizlerinin yapılması ve deprem master planlarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar, hızla kentleşen ve endüstrileşen kentsel yaşam alanlarımızda oldukça gerekli ve önemlidir.

Bölgesel deprem tehlike analizi araştırmalarında iki genel yaklaşım vardır. Bunlardan ilki, depremin zemine bağlı olarak değişiklik gösterdiği büyütme etkisidir. Örneğin; kaya zeminler deprem dalgalarını sönmüledikleri için o bölgelerde depremin etkisi daha az hissedilirken, gevşek zeminler deprem dalgalarının genliklerini büyüttüğü için o alanlarda depremin etkisi daha fazla olacaktır. İkinci yaklaşım ise, zeminin depremden etkilenme biçimleri olan sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı gibi yerel zemin koşullarındaki ani değişimlerdir. Soğurgan zeminler, üzerlerinden geçen dalga enerjisini daha çok tutarlar: faylanma, sıvılaşma, heyelan vb. Dalga boyunun kısalması rezonans anlamındaki zemin büyütmesini arttırmaktadır. Kaya zeminlerde; dalga hızı yüksek, dalga boyu uzun, genlik ve soğurganlık düşüktür. Sedimanter zeminlerde ise; dalga hızı düşük, dalga boyu kısa, genlik yüksek ve soğurganlık ise fazladır.

Deprem tehlike analizi çalışmalarının başında zemin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi gelir. Gerek zeminin büyütme etkisi gerekse sıvılaşma analizi gibi değerlendirmelerde sismik yöntemler etkin bir şekilde kullanılan bilimsel araştırma teknikleridir (Mutlu, 2011).

Sismik dalgalar, zeminde farklı tabaka konumlarından geçerek ilerler. İçinden geçtikleri tabakaların oluştuğu jeolojik birimler, zemin sıklığı ve yoğunluk vb. özellikler bu dalgaların hızlarını belirlemektedir. Sismik yöntemler, zemindeki tabakalardan farklı hızlarda ilerleyen sismik dalgaların yayılması temeline dayanır. Bu yöntemler kullanılarak sismik dalga hızları, tabaka kalınlıkları ve zeminin bazı mühendislik özellikleri bulunabilmektedir. Zeminin mühendislik özellikleri, statik ve dinamik özellikler olarak ayrılmaktadır. Statik özellikler; sabit zemine ait yer mühendislik parametreleri (Young modülü, Bulk modülü, Poisson oranı, vb.). Dinamik özellikler ise; hareketli (deprem titreşimleri)

zemine ait yer mühendislik parametreleri (zemin hakim periyodu, zemin büyütmesi, vb.)'dir.

Karasal ortamda, aktif kaynaklı sismik yöntemlerin uygulanmasında çeşitli sismik enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bunların arasında balyoz, ağırlık düşürme, değişik patlayıcılar ve vibro sayılabilir. Bu enerji kaynaklarının, amaca uygun, avantaj ve dezavantajları vardır. Balyoz tipi sismik enerji kaynağı kullanılarak ekonomik ve kolay bir şekilde P ve S dalgaları üretildiği halde, özellikle S dalgalarının nüfuz derinliği birkaç metre ile sınırlıdır. Bu tez çalışmasında kullanılan ve Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü bünyesinde geliştirilen sismik enerji kaynaklarıyla nüfuz derinliği sorununun aşıldığı düşünülmektedir.

Zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesi, olası bir deprem sırasında yerel zemin tabakalarının etkisine bağlı olarak zemin yüzeyinde oluşacak deprem hareketinin özelliklerinin saptanması ve zemin üzerindeki yapının tepkisinin belirlenmesi amacı ile kullanılan önemli parametrelerdir. Yeryüzündeki sismik dalgalar, geçtikleri ortamların özelliklerinden etkilenerek zemin üzerindeki yapılara etkiler. Zemin büyütmesi, zemin yüzeyine ulaşan deprem dalgalarının, tabaka özelliklerinin farklılıklarından dolayı uğradığı kırılma ve yansımaların bir sonucu olarak üst üste yığılması ve zemin tabakaları içerisinde ilerleyen deprem dalgalarının genliklerinin yüzeye doğru artması ile meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, yüzeye gelen deprem etkileri zemin tabakasının fiziksel özelliklerine göre büyütülebilirler ve daha yıkıcı olabilirler. Zemin hakim periyodu, deprem zemin hasarı ile doğrudan bağlantılı bir parametre olmamakla beraber, depremler sırasında zemin ve yapı arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkabilecek rezonans etkileri nedeni ile karşılaşılabilecek hasarın mertebesini arttırıcı rol oynayabilmektedir (Gülerce, 2002).

Bir jeolojik yapıda sismik dalga yayılımı bu yapının özelliklerine bağlıdır. Bunlar tabakaların geometrisi, V_p , V_s hızları, yoğunluk ve soğurma özellikleridir. Ayrıca V_s30 ülkemizde ve birçok ülke depreme dayanıklı yapı standartlarında (Uniform Building Code (UBC), NEHRP, Eurocode 8 (EC8)) dinamik zemin davranışını değerlendirilmesinde elde edilmesi gereken önemli bir parametre olarak belirlenmiştir (Tüzel, 2009).

Çalışma bölgesi olarak seçilen Eskişehir ili, ülkemizin yüksek oranda endüstrileşen ve kentleşen illerinden biridir. Yaklaşık nüfusu 700.000 olan ildeki kentleşmenin Eskişehir ovası olarak tanımlanan bölgede yapılaşmanın yeni alüvyon birimi üzerinde yoğunlaşması nedeniyle doğal afet kaynaklı bazı risklerin oluşabileceği, bölgede daha önceden yapılan çalışmalardan bilinmektedir (Tün ve ark. 2010). Bu bulgular ve değerlendirmeler gözönünde bulundurularak çalışma alanı olarak belirlenen Eskişehir ovası içinde çalışma planı yapılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı, Eskişehir kent merkezinde seçilen alan içerisinde belirlenen noktalarda sismik kırılma ve mikrotremör çalışmaları yapmak ve bu çalışmalardan çıkan veriler yardımıyla zeminin dinamik ve elastik parametrelerini ortaya koymaktır. Bu tez kapsamında, çalışma alanının 23 farklı lokasyonunda sismik kırılma ve mikrotremör ölçümleri alınmıştır. Sismik kırılma yönteminde 48 kanallı ve 5 atışlı serim düzeni kullanılmıştır. Mikrotremör yönteminde ise, herbir nokta için üç bileşenli sismometre ile tek istasyon kayıtları alınmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla zeminin dinamik ve elastik özellikleri bulunmuştur. Son olarak bu parametreler, CBS teknikleri kullanılarak modellenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışmada, sismik kırılma, mikrotremör ve CBS konuları ana başlıkları oluşturmaktadır. Bu başlıklara göre literatür taraması yapılmış olup yararlanılacak ve incelenen kaynaklar aşağıda sıralanmıştır.

Muhammed Emin Karasu'nun "Bakırköy ilçesi" nin Mikrobölgelemesi" adındaki 2009 yılında yaptığı yüksek lisans tezi çalışmasında, İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından İstanbul'un güneyinde yapılan mikrobölgeleme çalışmalarında elde edilen verilerden yararlanarak Bakırköy ilçesinde zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır (Karasu, 2009).

Aykut Tuncel "Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması" adındaki 2008 yılında yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, İzmir ilinde 58 noktada mikrotremör, 29 noktada sismik kırılma ve 15 noktada da MASW yöntemi ile arazide ölçümler alınmış ve elde edilen bu veriler karşılaştırılmış ve CBS ortamında haritalar oluşturulmuştur (Tuncel, 2008).

Sancılı M. ve diğerleri tarafından Kocaeli ilinde 2007 yılında yapılmış "Kocaeli ili için zemin sınıflama ve sismik tehlike değerlendirme çalışmaları ve zemin etütlerinde dikkat edilmesi gerekli parametreler" isimli bildirimlerinde, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ve TÜBİTAK MAM işbirliği ile gerçekleştirilen proje kapsamında bir dizi jeolojik ve jeofizik etüdler gerçekleştirildiğinden bahsedilmektedir. Bu etüdler makrobölgeleme (bölgesel bazda) ölçeğinde;

- ✓ Jeolojik ve Jeofizik yapının taban kaya derinliğine kadar belirlenerek haritalanması,
- ✓ S-dalga hızının en az 30 m derinliğe kadar ortalama hızına göre zemin sınıflamasının yapılması,
- ✓ Zeminin hakim titreşim frekansı ve büyütme değerlerinin saptanması

amaçlarını içermektedir. Bu çalışmada yapılan jeolojik ve jeofizik etüdler, kullanılan yöntem ve teknikler ile elde edilen ön sonuçlara değinilmiştir (Sancılı ve ark. 2007).

2002 yılında Jülide Şimşek tarafından yapılan “Sismik Kırılma Verilerini Değerlendirme Yöntemleri ve Bunların Antalya Merkez İlçe Hisarçandır Köyü Yapılaşma alanına Uygulanması” adlı yüksek lisans tezi kapsamında inceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmasında; tabakalara ait kalınlıklar, sismik hızlar (V_p ; V_s), dinamik elastik parametreler, zemin taşıma gücü ve zemin büyütme gibi değerler hesaplanmıştır. Ayrıca düşey elektrik sondajı ile de bu tabakaların öz direnç değerleri ve geçirgen olup olmadıkları araştırılmıştır. Araştırma bulgularından yararlanarak inceleme alanının yerleşime uygunluk değerlendirilmesi yapılmış ve yerleşime yönelik öneriler sunulmuştur (Şimşek, 2002).

Ali İsmet Kanlı ve diğerlerinin 2005 yılında yayınlanan makalesinde, Dinar bölgesinde 50 farklı noktada yapılan çok kanallı yüzey dalgası yöntemi ile V_s (kayma dalgası hızı) ve zemin sınıflamasının sismik büyütme etkisine etkileri araştırılmıştır (Kanlı ve ark. 2006).

Umut Ceyhan ve diğerleri tarafından yazılmış “Kayma Dalgası Hızı Kullanılarak Mikrobölgeleme Çalışmaları: Büyükçekmece (İstanbul) Bölgesi” isimli makalede, çalışma alanını Büyükçekmece (İstanbul) ilçesi oluşturmaktadır. Bölgede mikrobölgeleme çalışmaları için, sondaj noktaları yakınında kayma dalgası hızı, sismik kırılma ölçümleri ile belirlenmiştir (Ceyhan ve ark. 2004).

2007 yılında Karavul ve diğerleri tarafından yazılmış “Gölcük İlçesi (İzmit) Sismik Hız Ve Mikrotremor Çalışmalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Hazırlanan Haritalar Üzerinde İncelenmesi” konulu makale çalışmasında, Gölcük ilçesinde yapılmış olan yaklaşık 200 adet sismik kırılma ve 50 adet mikrotremor çalışmasına ait sayısal veriler toplanıp sayısal ortama aktarılmış, Coğrafi Bilgi Sistemleri’nden (CBS) yararlanılarak sismik hız ve mikrotremor haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar karşılaştırılmalı olarak incelenerek Gölcük ilçesi zemin yapısı araştırılmıştır (Karavul ve ark. 2007).

Tün ve arkadaşlarının 2010 yılında yayınlanan “Eskişehir Fayına Yeni Bir Bakış” isimli bildirimlerinde, Eskişehir Vadisi üzerindeki fayları tespit etmek amacıyla Gun ve balyoz enerji kaynakları kullanarak sismik yansıma metodu uygulamışlardır (Tün ve ark. 2010).

Beker ve Sayıl “KTÜ Yerleşkesinin Mikrotremör Yöntemi ile Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi” isimli bildirimlerinde, KTÜ kampüs alanının zemin hakim periyodu ve büyütme parametrelerini belirlemek amacıyla alınan mikrotremör kayıtlarına H/V yöntemini uygulamış ve elde ettiği hakim frekans değerlerinden zemin sınıflaması yapmıştır (Beker ve Sayıl, 2010).

Baş M. ve arkadaşlarının 2010 yılında yayınlanan “Mikrobölgeleme Çalışmaları, Jeofizik Araştırmalar ve CBS (GIS) Uygulamaları” isimli bildirimlerinde İstanbul’ da 2005 ve 2010 yıllarında yapılan mikrobölgeleme çalışmalarından elde veriler kullanılarak yerleşime uygunluk haritaları hazırlanmıştır (Baş ve ark. 2010).

Akgün ve arkadaşlarının 2010 yılında yayınlanan “Sismik Kırılma, Yansıma, Çok Kanallı Yüze Dalgaları Analiz Yöntemi (MASW) ile Down-Hole Yöntemlerinin Zemin Çalışmalarında Birlikte Kullanımına Aliğa-İzmir’ den Bir Örnek” isimli bildirimlerinde, sismik kırılma, sismik yansıma ve çok kanallı yüze dalgaları analiz (MASW) yöntemleri ile Down-Hole yönteminin birlikte kullanımı sonucu zemin araştırmalarında elde edilebilecek sonuçlar, Aliğa-İzmir Bölgesi için araştırılmıştır (Akgün ve ark. 2010).

Övgün Ahmet Ercan’ın 2010 yılında yayınlanan “Titreşimcik Ölçülerinden Yer Davranış Özelliklerinin Türetilmesi-Zeytinbağı-Bursa” isimli bildirisinde, Zeytinbağı Belediyesinden alınan mikrotremör kayıtlarını kullanarak zeminin yer mühendislik özelliklerini (yapı yüksekliğinin uygunluğu, çınlama (rezonans), yerin sarsıntıyı büyütmesi, söndürmesi, ana kaya üzerindeki gevşek toprak etkin kalınlığı, Vs burkma dalga tezliğı, yerbiriminin davranış ayırlaması, yoğunluk, G burkma ile E düşey esneklik direnci, yerin güvenli taşıma gücü ve sıvılaşılabirlik) araştırmıştır (Ercan, 2010).

Levent Taşçı ve Çetin Kaya’ nın 2010 yılında yayınlanan “Bina Yapısal Risk Unsurlarının CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Ortamında İncelenmesi” isimli bildirisinde, lokal bazda yapılan bu çalışma ile mevcut arazilerin jeolojik durumu ile yapılarda oluşabilecek riskler, CBS ortamında görsel olarak ele alınmış ve yapısal veriler ile yapısal risk analizlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir (Taşçı ve Kaya, 2010).

Çabuk S. N. ve arkadaşlarının 2006 yılında yaptıkları “Stratejik Çevresel Değerlendirme Çalışmalarında CBS Olanaklarından Yararlanılması: Eskişehir Toplu Konut Projesi” başlıklı çalışmada, Eskişehir sınırları içindeki toplu konut projeleri için uygun alanların belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin kullanımına ilişkin örnekler verilmiştir (Çabuk ve ark. 2006).

Karavul C. ve arkadaşlarının 2006 yılında yayınlanan “Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak İki Farklı Yaklaşımla Adapazarı Kenti SPT(Standart Penetrasyon Testi) Haritalarının Oluşturulması” isimli bildiri, 17 Ağustos depreminden sonra Adapazarı kent merkezinde yapılmış olan yaklaşık 2000 sondaja ait SPT değerleri toplanarak sayısal ortama aktarılmıştır. Sayısal ortamda bulunan datalar ile CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ’den yararlanılarak iki farklı yaklaşımla çalışma alanının SPT haritaları oluşturulmuştur (Karavul ve ark. 2006).

“Coğrafi Bilgi Sistemlerinde İnteraktif Sismik Modelleme” isimli H.C. Ünen, M.Z. Coşkun tarafından yazılmış bildiri; ArcGIS yazılımının ArcToolbox eklentisi kullanılarak, koordinat ve büyüklük bilgileri kullanıcı tarafından tanımlanacak herhangi bir deprem sonucunda oluşacak en büyük yer ivmesi (PGA) ve çeşitli periyotlarda spektral ivme (SA) değerlerinin İstanbul il sınırları içindeki dağılımını çıkaran bir model oluşturulması anlatılmıştır (Ünen ve Coşkun, 2007).

Recep Nişancı, Volkan Yıldırım ve H. Ebru Çolak, Bilim ve Teknik'te yayımlanan "Coğrafi Bilgi Sistem Uygulamaları" adlı yazılarında güçlü bir bilgi yönetim aracı olan coğrafi bilgi sistemlerinin sağlık, tarım, turizm, planlama ve biyoçeşitlilik gibi birbirinden farklı disiplinlerde kullanımını anlatmaktadırlar (Nişancı ve ark. 2000).

Emrah Pekkan, Uğur Avdan, Muammer Tün, Metin Altan ve Can Ayday tarafından yazılmış “Mühendislik Jeolojisi Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Hazırlanması (Eskişehir Örneği)” isimli bildiri kapsamında jeoloji, zemin tane boyutu dağılımı, zemin türü, yeraltı su seviyesi, N_{60} , makaslama dalgası hızı (V_s) ve sıvılaştırma potansiyeli haritaları oluşturmuştur. Bu haritalar ve elde edilen veriler kullanılarak, Eskişehir yerleşim yerinin deprem ve zemin

özelliklerini esas alan Mühendislik Jeolojisi Haritası hazırlamıştır (Pekkan ve ark. 2006).

Bekir Tüzel, doktora tezi olan “Yüzey Dalgasının Ters Çözümü Yöntemiyle İzmir Menemen İlçesi Yerleşim Alanlarının Kayma Dalgası (Vs30) Haritalaması” başlıklı çalışmasında; Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) ve Uzaysal Özilişki (SPAC) methodları kullanılarak Menemen ilçesi'nin mevcut yerleşim ve yeni yerleşime açılacak alanlarının kayma dalgası hızları (Vs30) haritalamıştır. Ayrıca H/V (Nakamura) metodu ile zemin hâkim periyodu ve zemin büyütme değerleri yine aynı alanlar için haritalamıştır (Tüzel, 2009).

Gökçe Çiçek İnce “Sismik Bölgeleme ve İstanbul'un Deprem Zararlarının Tahmini” isimli doktora tezinde İstanbul, (Fatih ve Eminönü ilçeleri) Bölgesi için geoteknik yerel zemin koşullarından zemin büyütmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşma tehlikesi parametreleri kullanarak sismik mikrobölgeleme haritaları hazırlamış ve geçmişte olan depremlerde meydana gelen hasarlarla karşılaştırarak değerlendirmeler yapmıştır (İnce, 2005).

Tazegül Özçep, doktora tezi olan “Vs30 ve Diğer Zemin Büyütme Kestirimlerinin Karşılaştırılarak Zemin Sınıflamalarında Güven Aralığının Araştırılması” isimli çalışmasında; zeminlerin kayma dalgası hızının yüzeyden itibaren ilk otuz metre için ortalama değeri olan Vs30 değerinin, zemin büyütmesini iyi temsil edip edemeyeceğini ayrıca depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerinde Vs30'a göre tanımlanan farklı zemin sınıflarına bağlı kayma dalga hızı ile elde edilen büyütme ve depremlerin oluşturduğu gerçek büyütme kestirimleri ile karşılaştırarak araştırmıştır (Özçep, 2008).

Ferhat Özçep, Engin Erol, Fatih Saraçoğlu ve Mustafa Haliloğlu “Seismic Landslide Analysis: Gürpınar (İstanbul) As A Case History” isimli makalesinde Gürpınar (İstanbul) bölgesinde sismik toprak kayması analizi sismik kırılma ve MASW yöntemleri kullanılarak araştırmıştır.

Midorikawa (1987), Borchardt ve Ark. (1991), tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi esnasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlenmesi ve analizi sonucunda, açığa çıkan bu hızın ortalama değerinin,

yüzeyde belirli derinlikte yer alan zeminlerde meydana gelen büyütme seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Buket Arı, yüksek lisans tezi olan “Sismik Kırılma Verileri İle Burdur İli Merkezi Yeraltı Yapısının İki Boyutlu Modellemesi” isimli çalışmasında Burdur il merkezinde yapılan sismik kırılma çalışmalarından elde edilen verileri SeisImager2D yazılımı yardımıyla değerlendirmiştir. Ayrıca mekanik sondaj verileri ile sismik kesitler birbirleriyle ilişkilendirmiştir (Arı, 2005).

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından 2008 yılında yayınlanan “İstanbul’un Anadolu Yakası İçin Zemin Sınıflamasına Yönelik Mikrotremör Çalışmaları Nihai Raporu” zemin sınıflandırılmasına dönük olarak mikrotremör ölçümleri yapılarak S dalga hızının derinlikle değişimi, zemin büyütmesi ve zemin hakim periyodu değerlerinin bulunması için yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

Öznur Karaca, doktora tezi olan “Fethiye Yerleşim Alanı Zeminlerinin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Jeoteknik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Hazırlanması” isimli çalışmasında sismik kırılma ölçümlerinden elde edilen verilerle sismik hız, zemin hakim titreşim periyodu, zemin deprem büyütmesi ve Poisson Oranı dağılım haritaları oluşturmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında elde edilen tüm veriler CBS ile değerlendirilerek Fethiye yerleşim alanının yerleşime uygunluk haritası yapmıştır (Karaca, 2007).

Karasu (2009), İstanbul’ un Bakırköy ilçesinde sondaj ve sismik kırılma verileri yardımıyla zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

Mühendislik amaçlı zemin çalışmalarında, temel kaya derinliğinin ve zeminlerin fiziksel özelliklerinin saptanmasında genelde sismik kırılma ve mikrotremör yöntemi gibi sismik yöntemler kullanılmaktadır.

3.1. Sismik Yöntemler

Deprem kaynaklı hasarların yeryüzündeki dağılımı, düzgün olmayan ve çok küçük mesafelerde değişim gösteren, karmaşık fiziksel olayların sonucunda gerçekleşir. Deprem sırasında oluşan hasarı, öncelikle depremin büyüklüğü, mekanizması, yeri ve süresi gibi faktörler, ikincil olarak depremin olduğu yerin fiziksel özellikleri ve yerin bölgesel davranış karakterleri etkiler. Yerel zemin koşulları deprem anında büyük genlikli yer değiştirmelere ve deformasyonlara neden olabilmektedir. Ayrık zeminlerin, gelen deprem dalgasını önemli ölçüde büyüttüğü ve yeryüzünde oluşan hasarlarda önemli rol oynadığı bilinmektedir (Dikmen, 2004).

Zeminin mühendislik özelliklerini yerinde belirlemek için sismik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar ve diğer arazi deney yöntemleriyle karşılaştırıldığında önemli üstünlüklere sahip olan sismik yöntemler zeminlerin elastik davranış sergiledikleri düşük deformasyon genliklerinde üretilen sismik dalga hızlarının bulunmasını içermektedir. Dalga yayılma hızı ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olduğundan zemin hakkında önemli bilgiler içermekte ve kayma modülü gibi zemin davranışını gösteren dalga hızlarından elde edilmektedir (Stokoe, 1989).

Deprem etkilerinin önceden belirlenebilmesi, etkilerinin en aza indirilmesi, yapılarda oluşabilecek hasarların tahmini, zeminlerin ve yapıların deprem esnasında göstereceği davranışların önceden bilinebilmesi gibi birçok araştırmalarda sismik yöntemler etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Mutlu, 2011).

Bu kaynaklar tarafında zeminde oluşan sarsıntılar, sismik dalgaları oluşturmaktadır. Bu dalgalar yayıldıkları ortamlardaki ilerleme özelliklerine göre, cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1. Cisim Dalgaları

Cisim dalgaları P (Boyuna - Birincil) Dalgaları ve S (Enine - İkincil) Dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

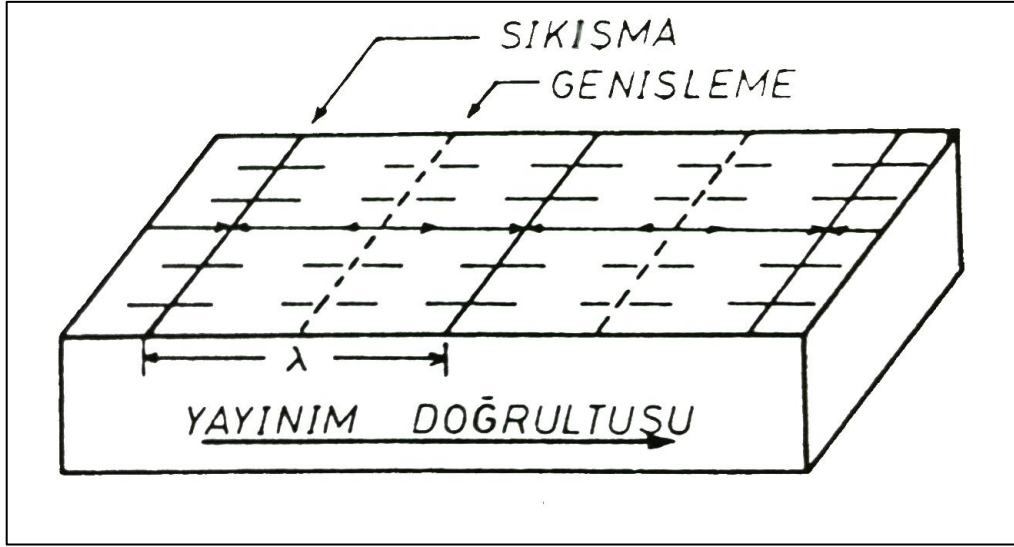
Boyuna Dalgalar

Bu tip dalgalar, sıkışma veya ilk genişleme olarak bilinirler. Bu dalgaların yayılımı sırasında kübik bir genişleme veya hacim değişikliği (deformasyon) olur. Boyuna dalgalarda sıkışma ve genişmeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayılım doğrultusuyla aynıdır (Şekil 3.1). Dalga yayılımında hacim değişimiyle birlikte şekil değişimi de olur. Fakat bu şekil değişimi sırasında açılar değişmez, yani küp şeklindeki bir eleman dikdörtgen prizmaya dönüşür. P dalgaları bir ortam içindeki en hızlı dalgalar olduğundan deprem kayıtlarında en önce kaydedilirler (Tunçel, 2008).

P- dalgalarında sıkışma veya genişmeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayılım doğrultusuyla aynıdır. Bu dalgaların yayılımı sırasında hacim değişikliği olur. P dalgaları, verilen bir ortamdaki en hızlı dalgalar olduğundan deprem kayıtlarında en önce gelip periyot ve genlikleri de diğer dalgalara oranla küçüktür. P dalgası hem katı hem de sıvı ortamlarda yayılır (Şimşek, 2002).

Bu dalgalara boyuna, sıkışma veya birincil (primer) dalgalar denir. P dalgası sıkışma veya genişleme şeklinde hareket eder. 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 basınçlı ikinci bir dalga cephesi ve onu takip eden tekrar yüksek basınçlı dalga cephesi gelerek olay tekrarlanır (Arı, 2005).

P dalgaları diğer dalgalardan daha hızlıdır. Büyük depremlerin etken periyotları 1 s civarındadır (Arı, 2005).



Şekil 3.1 P- dalgasının yayılımı (Us 1998)

Enine Dalgalar

Enine dalgaların yayılımı sırasında elemanlar şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni; dalga yayılımı arasında parçacıkların titreşim doğrultusunun, dalga yayılımı doğrultusuna dik olmasıdır. Bu tür dalgalar S dalgaları olarak adlandırılır (Tunçel, 2008).

S-Dalgasının hızı, P dalga hızından daha düşüktür (Çizelge 3.1). Öte yandan periyot ve genlikleri P-dalgasına oranla daha büyüktür. S-dalgasının yayılımı esnasında ortamdaki tanecikler bir makaslama geriliminin etkisi altındadırlar (Us, 1998).

Bu dalgalara enine, ikincil (seconder) veya makaslama (shear) dalgaları da denir. Tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik olan doğrultudadır. S dalgalarının hareketi düşey (SV) ve yatay (SH) bileşen olarak ikiye ayrılabilir. SH ve SV tanımları dalgaların geldiği ara yüzeyinin konumuna göre yapılır. SH dalgalarının tanecik hareketi yatay ve SV dalgalarının ise düşey düzlemde olur.

S dalgaları P dalgalarından sonra kaydedilir. S-dalgası yer yüzeyine göre dik yönde/düşeyde hareket eder, yani bir yüzme havuzundaki su dalgası gibi (Arı, 2005). Ara yüzeyin illa serbest su yüzeyi gibi yatay olması gerekmez.

Çizelge 3.1 P ve S dalga hızlarının bazı kayalardaki yayınma hızları (Clark, 1966)

Formasyon	P Dalga Hızı (m/s)	S Dalga Hızı (m/s)
Granit	5680	2950
Granodiorit	4780	3100
Diorit	5780	3060
Gabro	6450	3420
Bazalt	6400	3200
Dünit	8000	4080
Kumtaşı	1400-4300	-
Konglamera	2400	-
Kireçtaşı	1700-4200	2955
Kil	1100-2500	-
Gevşek kum	1800	500

3.1.2. Yüzeysel Dalgaları

Yüzeysel dalgaları, Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere iki çeşittir.

Rayleigh (R) Dalgaları

R dalgalarının oluşabilmesi için serbest bir yüzeye sınırlanmış bir yüzeye sınırlanmış yarı sonsuz bir esnek ortamın bulunması gerekir (Tunçel, 2008).

R dalgaları yayılırken geçtiği yol boyunca parçacıklar, elips hareketi çizerek ilerler. Bu elipsin büyük eksenini düşey olup; elipsin büyük eksenini boyunca titreşen, küçük eksenini boyunca da ilerleyen dalgalarıdır. Hareket, yayılım doğrultusunun tersi yönündedir. Bu yayılımı retrograd hareket olarak tanımlanır.

Büyük genlikli ve alçak frekanslı dalgalarıdır. Periyotları 3–10 sn, dalga boyları da 50–100 km arasında değişir. Dalga boyu kadar derinliğe inebilirler (Tunçel, 2008).

İlk defa 1887’ de Lord Rayleigh tarafından araştırılmış olan Rayleigh dalgaları, yüzey boyunca hareket ederler. Bu çeşit dalgalar elastik yarı sonsuz ortamlarda sadece serbest yüzeyde yayılırlar ve yüzey dalgası olarak adlandırılırlar. Rayleigh dalgaları eliptik bir yörünge boyunca parçacık hareketlerinden oluşur. Dalganın yayılım doğrultusu, uzun eksenini düşey olan bir elips şeklinde saat yönünün tersinde bir yörünge çizer. Öte yandan Rayleigh

dalgalarının genliği, derinlikle üssel olarak azalır. Genliğin derinlikle exponansiyel olarak azalması, dalgaların dalga boyuna bağlıdır. Rayleigh dalgalarının hızı, dalga boyuyla değişir yani dispersif özellik gösterir ve hızı ise daima cisim dalgalarının hızından daha düşüktür (Şimşek, 2002).

Love (L) Dalgaları

Love dalgalarının oluşabilmesi için bir düşük hızlı yüzey tabakasının bulunması gerekir. Yerküresinin kabuğu bu görevi görmektedir. Love dalgaları yerin serbest yüzeyi ile kabuğun tabanı arasında ardışık yansımalara uğrayan SH dalgalarının yapıcı girişiminden oluşur. Kabuk içinde hapsedilmiş olan bir tür kanal dalgalarıdır. Love dalgalarının oluşabilmesi için üst tabakadaki S dalgasının hızı alt ortamdaki S dalgasının hızından küçük olması gerekir. Sismolojide bu dalgalara kısaca L dalgaları adı verilir. Sismograflarda da uzun periyot ve geniş genlik verirler. Love dalgasının hızı dalga sayısına dolayısıyla dalga frekansına ya da periyoduna bağlı olarak değişir. O halde her frekans değeri için ayrı bir hız elde edilir. Bu nedenle Love dalgaları dispersiyon gösterirler. Hızları derinlikle artar. Genlikleri eksponansiyel olarak azalır. Bir depremde kayıt istasyonuna ilk gelen dalga P dalgasıdır. Onu S dalgası izler. Sonra yüzey dalgaları belirir. Yüzey dalgalarından önce L dalgası sonra da R dalgası belirir (Tunçel, 2008).

Yüzey dalgalarının bir diğeri de Love dalgalarıdır. Bu dalgalar yarı sonsuz ortamlardaki düşük hızlı yüzey tabakaları içerisinde meydana gelirler ve dispersiyon gösterirler. Love dalgaları, SH dalgaları olarak adlandırılırlar. Ayrıca sismik çalışmalarda kullanılan enerji kaynakları önemli derecede Love dalgası üretmezler (Us, 1998).

3.1.3. Dinamik ve Elastik Parametreler

Arazide sismik kırılma yönteminin uygulamasıyla elde edilen sismik dalga hızları, zeminin dinamik ve elastik parametrelerinin tayininde kullanılır. Ayrıca mühendislik çalışmalarında zeminin taşıma kapasitesi, oturması ve depreme dayanıklılığı gibi problemlerin çözümünde dinamik ve elastik parametrelerden yararlanır. Öte yandan zeminin yapısal özellikleri olan

faylanma, kırık ve çatlak durumlarının bilinmesi için elastik parametreleri bulmak gerekir (Şimşek, 2002).

Poisson Oranı

Poisson Oranı, gözeneklilik ile doğru orantılıdır. Derinlik ve su doygunluğunun artmasıyla artar. Poisson oranı 0-0,5 arasında değişir. Bu oran gevşek, gözenekli ve su ile doygun kayalarda yüksek olup (değeri 0,45 - 0,5), kayalar sertleştikçe değeri düşer. Granit, bazalt gibi sert kayalarda (<0,25) daha düşüktür (Tablo 2). Kayaların yoğunlukları dikkate alınmadan sadece hızlarına (V_p ve V_s) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Poisson oranı,

$$\sigma = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (3.1)$$

bağıntısıyla ifade edilir.

Bu oran, bir gerilme- deformasyon ilişkisinin ölçüsü olmayıp, bir geometrik şekil değişiminin ifadesidir. Enine daralmanın, boyuna uzamaya oranı olarak tanımlanır. Kayalar içerisindeki boşluk ve çatlaklar, Poisson oranını çok etkiler ve kayacın kırıklı olup olmadığını, ayrıca kayacın gözeneklerinde su taşıyıp taşımadığını gösterir. Poisson oranı 0 (Hacimce önemli bir değişimi belirtir) -0,5 (Hacimsel bir değişimin olmadığını belirtir) arasında değişir. Çoğu elastik katılar için ortalama değeri, 0,25 civarındadır (Tunçel, 2008).

Poisson oranı, izotropik malzemeler için her zaman pozitifdir. Poisson oranı ve hız oranına göre zemin/kaya sıklığı Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Poisson oranı ve hız oranına göre zemin/kaya sıklığı (Ercan, 2001)

Poisson Oranı	Zemin/Kaya Sıklığı	V_p/V_s
0.5	Cıvık-Sıvı	Sonsuz
0.4 - 0.49	Çok Gevşek	Sonsuz - 2.49
0.3 - 0.39	Gevşek	2.49 - 1.87
0.2 - 0.29	Sıvı - Katı	1.87 - 1.71
0.1 - 0.19	Katı	1.71 - 1.5
0 - 0.09	Sağlam	1.5 - 1.41

Elastisite Modülü

Sıkışma ve genişleme kuvvetleri altında, boyuna gerilmenin boyuna deformasyona oranıdır. Yani, basit bir germe (çekme) veya sıkıştırma şeklinde gerilme- deformasyon (stress-strain) oranının ölçüsüdür (Tunçel, 2008).

Elastisite (young) modülü, yoğunluk ve sismik hızlardan hesaplanmaktadır.

$$E_d = G_d \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right) \quad (3.2)$$

Bu parametre, jeofizik birimlerinin (formasyonun) sertliğinin ve sağlamlığının bir ölçüsüdür. Eğer, elastisite modülü yüzeyden derinliğe doğru değişik değerler alıyorsa, zeminin farklı derinliklerde farklı sıkılıkta olduğunu gösterir (Keçeli, 1990). Elastisite modülüne göre zemin durumu Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Elastisite değerlerine göre zemin durumları (ASTM 1987)

Elastisite Modülü	Zemin Durumu
>1700	Gevşek
1700 - 10000	Orta Sağlam
10000 - 30000	Sağlam
>30000	Çok Sağlam

Bulk Modülü

Bulk Modülü, bir cismin sıkıştırılabilirlik kapasitesidir. Bu modül, hidrostatik basınç (P) altında kalan bir kayaçtaki gerilme - deformasyon ölçüsüdür. Diğer bir deyişle materyalin hacim değişikliğine karşı mukavemetinin ölçüsüdür (Tunçel, 2008).

$$K_d = \frac{d \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)}{100} \quad (3.3)$$

Bazı kayaçların sıkıştırılabilirlik kapasitesi farklıdır, bu nedenle bazı kayaçlar, sismik dalgaları farklı hızlarla iletirler.

Kayma Modülü

Kayma modülü, Gerilme - Deformasyon oranı ölçüsüdür. Kayma kuvveti, yer değiştiren yüzeye teğettir. Kayma gerilmesi ise, birim alandaki kayma deformasyonunun hacimce meydana gelen yer değiştirmedir. Bu modül, sıvıların kaymaya karşı direnci olmadığından sıfırdır (Tunçel, 2008).

Kayma Modülü, yalnız enine dalga hız ile yoğunluğa bağlıdır. Yoğunluk (d) gr/cm^3 ve kayma dalgası hızı (V_s) m/s olarak alındığında kayma modülü (G_d) nin birimi kg/cm^2 olur,

$$G_d = \frac{dV_s^2}{100} \quad (3.4)$$

denklemini ile ifade edilir (Keçeli, 2000).

Kayma Modülü, makaslama gerilmelerine karşı formasyonun direncini gösterir. Kayma modülü ne kadar yüksek ise, formasyonun makaslama gerilmelerine karşı direnci de o kadar fazla demektir. Deprem hasarlarını tahmin etmede, kayma modülünün belirlenmesi önem taşımaktadır. Elastik dalgaları denetleyen önemli bir parametredir (Keçeli, 1990).

Kayma modülü değerlerine göre zemin durumu Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kayma modülü değerlerine göre zemin durumu (ASTM 1987)

Kayma Modülü	Zemin Durumu
< 600	Gevşek
600 - 3000	Orta Sağlam
3000 - 10000	Sağlam
>10000	Çok Sağlam

Zemin Hakim Periyodu

Zemin hakim titreşim periyodu, zemin tabakalarının sertlik sıklık veya yumuşaklığı gibi fiziksel özelliklerinin elastik malzeme davranış kabulleri esas alınarak hesaplanan önemli bir parametredir. Zemin hakim periyodu, deprem zemin hasarı ile doğrudan bağlantılı bir parametre olmamakla beraber, depremler sırasında zemin ve yapı arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkabilecek rezonans etkileri nedeni ile karşılaşılabilecek hasarın mertebesini arttırıcı rol oynayabilmektedir (Gülerce, 2002).

Zemin Büyütmesi

Zemin büyütmesi terimi, sismik dalgaların yeryüzüne yakın yumuşak zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinin artmasına karşılık gelir. Bunun nedeni zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluktan kaynaklanmaktadır. Yüzeeye yakın tabakaların kayma dalgası hızları bu arazinin sismik büyütmesi için oldukça yararlı bir indeks olarak kabul edilmektedir. Çizelge 3.5 ve Şekil 3.2’de, değişik araştırmacılar tarafından önerilen, bağlı büyütme ile yüzeeye yakın tabakaların ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Büyütme oranları ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar (ISSMFE, 1993)

Araştırmacılar	Eşitlikler
Midorikawa (1987)	$A = 68V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100$ m/sn) $= 1.0$ ($V_1 > 1100$ m/sn)
Joyner&Fumal (1984)	$A = 23V_2^{-0.45}$
Borcherdt vd.(1991)	$AHSA = 700/V_1$ (zayıf hareket için) $= 600/V_1$ (kuvvetli hareket için)

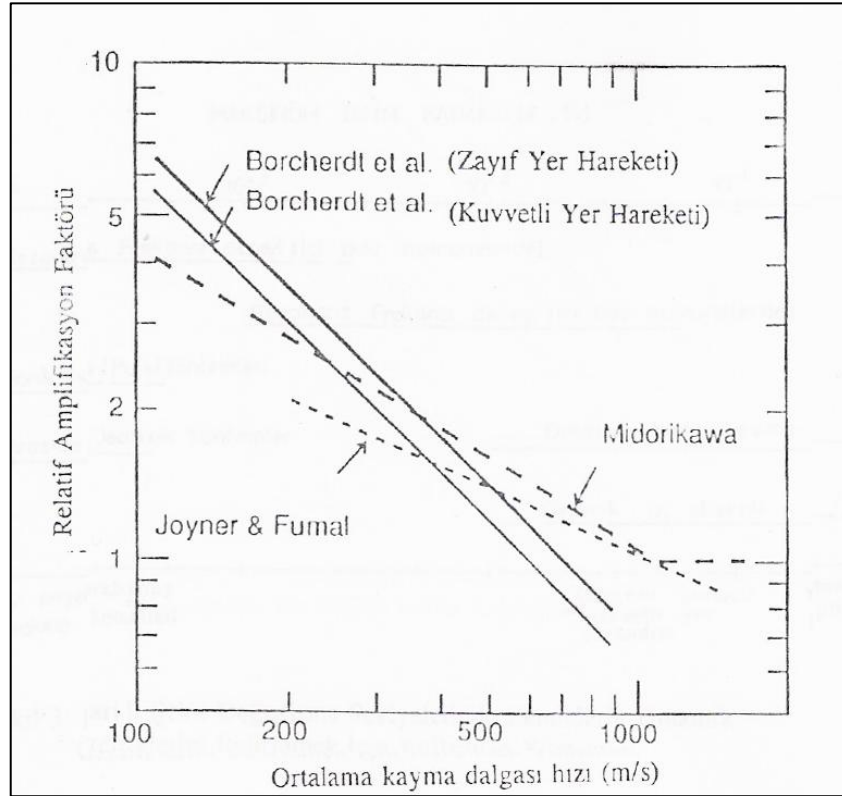
Shima (1978), yüzeyde ölçülen kayma dalgası hızı ile anakayada ölçülen kayma dalgası hızı oranına bağlı olarak büyütme faktörünün analitik olarak hesaplanabileceğini göstermiştir. Buna göre anakayadaki kayma dalgası hız değerinin sabit olduğu bölge üzerinde büyütme neden olan etkinin, yüzeydeki kayma dalgası hızından kaynaklandığını belirtmiştir.

A: Zemindeki en büyük hız için bağıl büyütme faktörü

AHSA: 0.4 ~ 2.0 s periyod aralığında ortalama yatay spektral büyütme

V_1 : 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/sn)

V_2 : Bir saniye periyodlu dalga için $\frac{1}{4}$ dalga boyu derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı (m/s)



Şekil 3.2 Bağıl büyütme faktörlerinin karşılaştırılması (ISSMFE, 1993)

Bir bölgedeki zemin tabakalarının büyütme potansiyelinin yüksek olması, bölgede yer alan yapıların depremler esnasında hasar göreceği anlamına gelmez. Hasar, depremin, üst yapının ve zemin tabakalarının frekansa bağlı davranışları arasındaki etkileşimin derecesine ve depremin büyüklüğüne bağlı

olarak çeşitli derecelerde meydana gelebilir ya da hiç hasar görmez (Lav, 1994). Zemin tabakaları ile üst yapının aynı periyotta hareket etmesi, hasar potansiyelini arttıran önemli bir durumken, deprem dalgalarının hakim periyodunun da aynı değerde olması da önemli bir durumdur. Bu hem zemin tabakalarının hem de üst yapının rezonansa uğramasına neden olur ve çifte rezonans olarak adlandırılır (Elton ve Martin, 1989).

Mikrobölgeleme çalışmalarında, büyütme ölçütüne göre tehlike düzeyi haritalanırken, A, B, C şeklinde üç tehlike düzeyi belirlenir (ISSMFE, 1993 ve Özçep, 2007).

0.0-2.0 büyütme değeri için, tehlike düzeyi C (düşük tehlike)

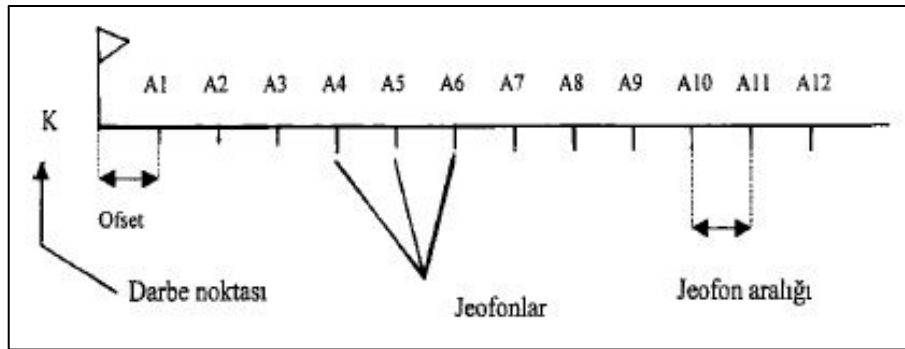
2.0-4.0 büyütme değeri için, tehlike düzeyi B (orta tehlike)

4.0-6.5 büyütme değeri için, tehlike düzeyi A (yüksek tehlike)

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

3.1.4. Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi yeryüzünde veya çok sığ derinliklerde meydana getirilen sismik dalgaların yeraltında kırılarak yayıldıktan sonra yüzeydeki jeofonlara ulaşmaya kadar geçen süreden yararlanarak yeraltındaki jeolojik yapıyı belirlememizi sağlar. Kısacası, dalganın yer içerisindeki seyahat zamanı ölçülmüş olur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Sismik kırılma yönteminde kullanılan kaynak ve jeofonların yerleşimi (Ercan 1998)

Sismik kırılma yönteminde, bir sismik kaynaktan yayılan sismik dalgaların alıcılara ulaşması için geçen zaman, jeofonların kaynaktan olan uzaklıklarının bir fonksiyonu olarak çizilir. Bu zaman-uzaklık grafiklerinin değerlendirilmesinden sığ yer altı yapısı hakkında bilgiler elde edilir (Şimşek, 2002).

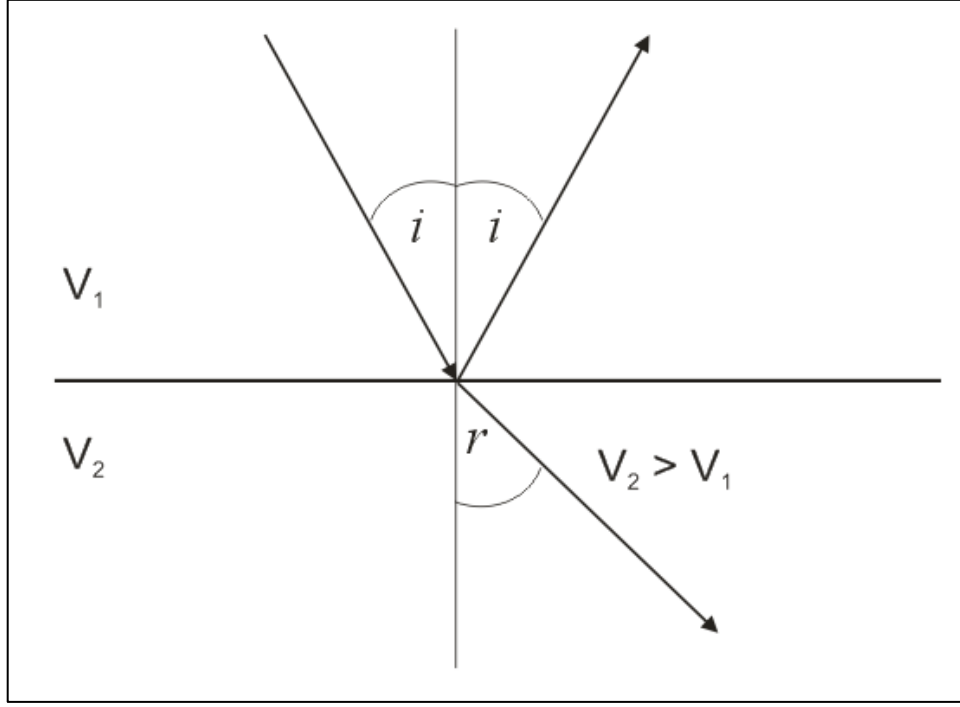
Huygens İlkesi

Huygens ilkesine göre, ilerleyen bir dalganın her noktası yeni bir dalga kaynağı olarak alınır. Böylece her nokta uzayda küresel dalga yayan kaynak olur. Çeşitli noktalardan bu şekilde yayılan dalgalar, girişim yaparak bâzı noktalarda birbirlerini yok ederken bâzı noktalarda üst üste gelerek kuvvetlenirler. Çeşitli noktalardan yayılan dalgalar arasındaki çizgisel yol farkı yarım dalga boyunun tek katları kadarsa birbirlerini yok eder tam dalga boyunun katları ise birbirlerini kuvvetlendirirler (Keçeli, 2009).

Snell Yasası

Sismik kırılma yönteminin temel ilkesidir. Herhangi bir dalga yer katmanlarının ara yüzeyine çarptığında bu yüzey boyunca her nokta yeni bir yarı-küresel elastik dalganın merkezi olmakta ve bu yeni dalgalar ikinci bir ortamın içine doğru farklı bir hızla yayılmaktadırlar.

Bir sismik dalga ışını, iki farklı katmanın bir ara yüzeyine geldiğinde ara yüzeyde sismik enerjinin bir kısmı yansiyarak birinci ortamda yayılır. Dalganın diğer kısmı ise, kırılarak ara yüzeyden geçer ve ikinci ortamda yayılır. Bir dalga, düzgün iki ortam arasındaki sınırdan geçerken dalganın yayılma doğrultusu değişir. Bu değişim, Şekil 3.4'de görülmektedir. Değişimde oluşan açı ile iki farklı ortamın hızları arasındaki ilişki, Snell yasası olarak bilinir ve (3.5) deki bağıntı ile ifade edilir (Keçeli, 2009).



Şekil 3.4 Bir katman sınırına gelen ışının yansımaları ve kırılması

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.5)$$

Sismik Kırılma Yönteminin Esası

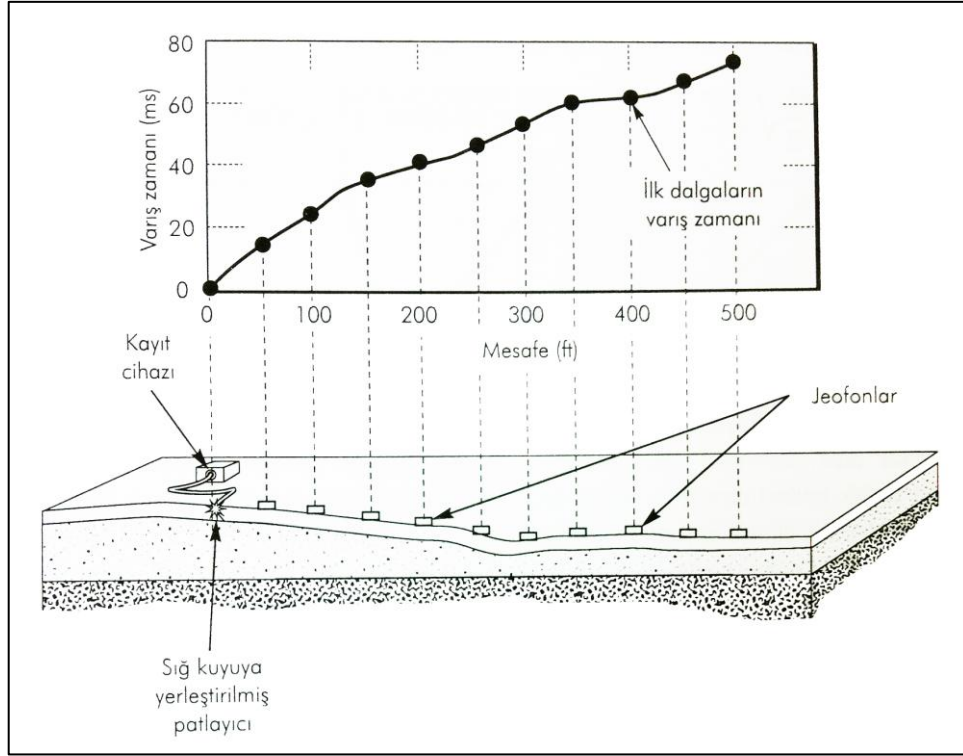
Sismik kırılma çalışması, yapay olarak oluşturulan sismik dalgaların yeraltı tabakalarının sınırlarından kırılarak alıcılara gelmesi için geçen zamanı ölçerek, yeraltında bulunan jeolojik tabakaların P ve S dalga hızlarını, yüzeyden olan derinlik ve kalınlıklarını tespit eder. Elde edilen P ve S dalga hızlarının kullanımı ile belirlenen tabakaların dinamik mühendislik özellikleri (elastik sabitler, periyot, zemin büyütmesi, yoğunluk, yerin karakteristik periyotları, vs.) belirlenir. Ayrıca yerin kazılabilirlik, sökülebilirlik özelliğinin belirtilmesinde, zemin sıvılaştırma analizinde, kırık, boşluk ve yüzey pürüzlülüğü araştırmalarında, oturma ve yatak katsayısı hesaplarında, heyelan yerçekimi ve alan sınıflaması çalışmalarında kullanılır (Kurtuluş, 2002).

Jeofiziksel araştırmaların sismik kırılma yöntemi, yapay kurallandırılmış sismik sinyaller aracılığıyla sismik hız ve soğrulma gibi petro-fiziksel parametrelerin uzaysal değişimlerini araştırmaktadır. Bu petro-fiziksel parametreler kaya tipi, porozite, nemlilik ve diğer jeolojik faktörlerle ilişkilidir ve jeolojide üçüncü bir boyut sağlamak için kullanılabilir. Yöntem, yerin derinliklerine kadar iner. Sismik enerji, bir patlama yüklemesiyle başlar ve ses ortamındaki tüm yönlerde yayılır. Sismik enerjinin yayıldığı ortam ile henüz ulaşmadığı ortam, dalga cephesi denilen bir yüzeyle ayrılır. Dalga cephesi üzerindeki tüm noktalar, kaynaktan seyahat zamanına sahiptir. Dalga cephesi yayılımı, sismometre, jeofon ve hidrofona gibi detektörlerle gözlemlenebilir. Bir gözlem noktasından geçen dalga cephesi koridoru sinyal amplitüdü içerisindeki ani artışlar ile işaretlenebilir. Dalga cephesi üzerindeki bir noktadaki hız, dalga cephesine normal olan hat boyunca ölçülür (Tunçel, 2008).

Sismik kırılma yönteminin esası; yeryüzünde veya çok sığ derinliklerde yapay olarak meydana getirilen sismik dalgaların, yer içerisinde kırılarak yayıldıktan sonra yeryüzündeki alıcılara (jeofon) gelmeleri için geçen zamandan yararlanılarak, yeraltındaki tabakalı yapıların saptanmasıdır. Kırılma yöntemi için serim boyunun, tahmin edilen derinliğin 3-4 katı olması gerekmektedir.

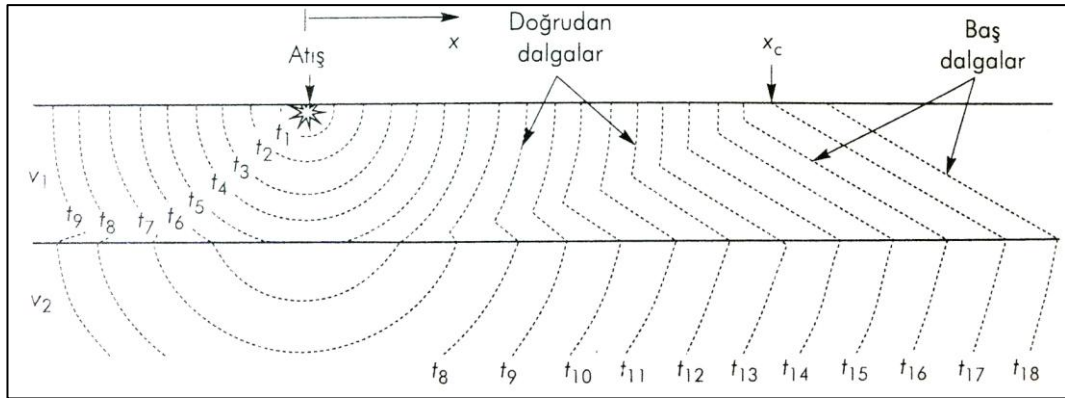
Sismik kırılma yöntemi, özellikle mühendislik işlerinde temel kaya derinliğinin araştırılmasında ve yeraltındaki kayaçların fiziksel özelliklerinin saptanmasında geniş ölçüde kullanılır. Öte yandan tuz domlarının haritalanmasında da kırılma yönteminin çok yararlı olduğu görülmüştür (Alptekin, 1981 ve Öztürk, 1993). Pekçok avantajlarına rağmen, kırılma yöntemi petrol araşmalarında sismik yansıma nazaran çok daha az boyutta kullanılır. Bunun en önemli sebebi, büyük ölçekli arazi çalışmalarını için daha büyük miktarda patlayıcıya gereksinim duyulması ve yöntemden elde edilebilir yapısal bilgideki daha düşük duyarlılık sayılabilir (Şimşek, 2002).

Sismik kırılma yönteminde, kaynaktan bir atış ile oluşturulan P ve/veya S dalgalarının, kaynaktan farklı mesafelerde bulunan ve zemin yüzeyinde bir hat üzerine yerleştirilmiş olan jeofonlara geliş zamanları ölçülür (Kramer, 1996). Tipik bir sismik kırılma düzeneği Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Sismik kırılma deney düzeneği (Redpath 1973)

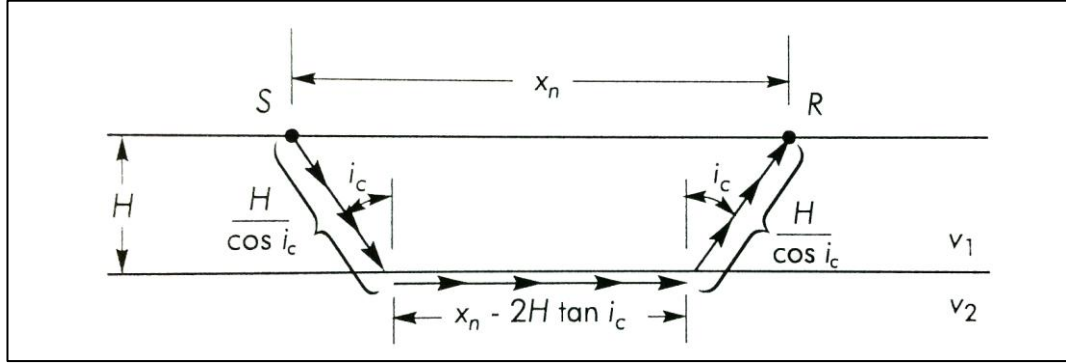
Kaynağa yakın noktalardaki ilk gelişler doğrudan dalgalar, kritik mesafe x_c 'den uzak noktalardaki ilk gelişler baş dalgalarıdır (Corps of Engineers, 1979) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Sismik kırılmada ilk gelen dalgaların dalga cepherleri (Corps of Engineers, 1979)

Baş dalgasının n. Jeofona (Şekil 3.7) ulaşması için geçen zaman:

$$T_{hn} = \frac{H}{v_1 \cos i_c} + \frac{x_n - 2H \tan i_c}{v_2} + \frac{H}{v_1 \cos i_c} \quad (3.6)$$



Şekil 3.7 $x_n > x_c$ olduğu zamanki ilerleme izi (Kramer 1996)

şeklinde yazılabilir. Snell yasasından kritik geliş için $\sin i_c = v_1/v_2$ 'yi yerine koyup, $\cos^2 i_c = 1 - \sin^2 i_c$ ilişkisinden yararlanarak terimlerin düzenlenmesiyle

$$T_{hn} = \frac{x_n}{v_2} + 2H \sqrt{\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}} \quad (3.7)$$

elde edilir (Kramer, 1996). n. jeofona geliş zamanı:

$$t_n = x_n/v_1 \quad (3.8)$$

Burada v_1 : 1 No'lu katmanın dalga yayılma hızıdır. Buna göre (3.7) ve (3.8) eşitliklerinden,

$$\frac{x_c}{v_1} = \frac{x_c}{v_2} + 2H \sqrt{\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2}} \quad (3.9)$$

Ve bu denklem düzenlenerek de,

$$H = \frac{x_c}{v_2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} \quad (3.10)$$

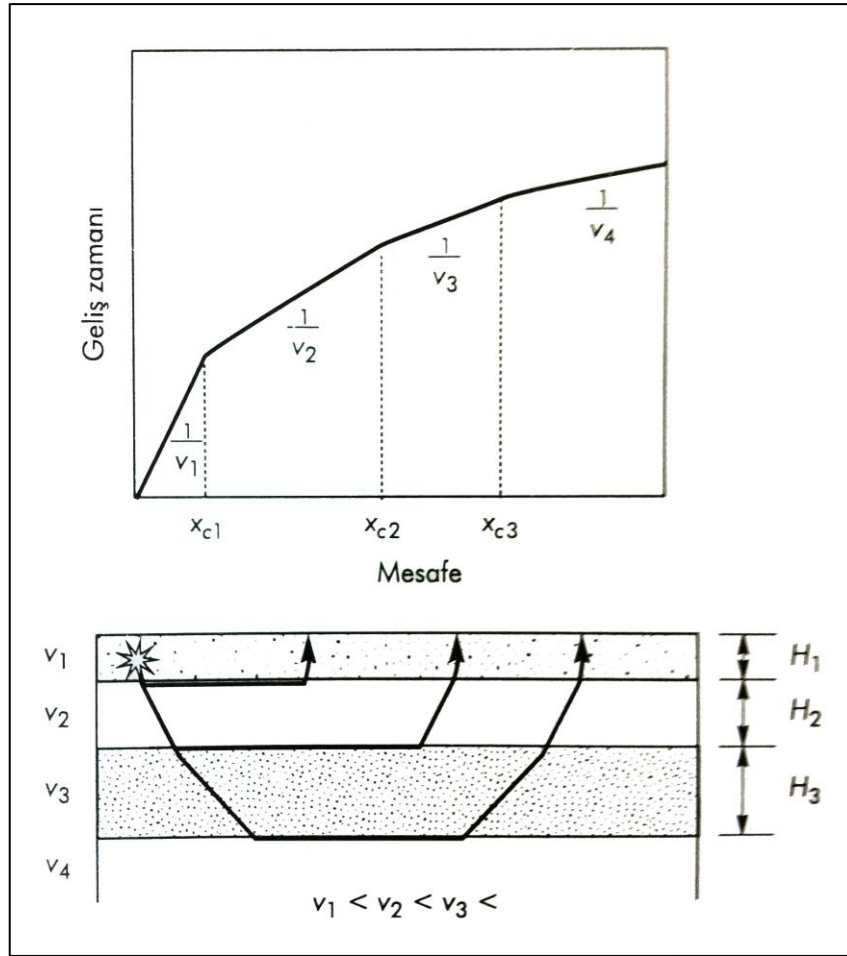
bulunur. H ifadesi tabaka kalınlığıdır (Kramer, 1996).

Çok sayıda yatay tabakanın bulunduğu durumda Şekil 3.8'de görüldüğü gibi birden fazla kırılma noktası bulunur. Eğimin değiştiği noktalara karşılık gelen

mesafeler, daha derin katmanların kalınlıklarını bulmada eğim ile birlikte kullanılabilirler (Kramer 1996).

n.tabaka kalınlığının hesaplanması için genel denklem:

$$H_n = \frac{v_n}{2\sqrt{v_{n+1}^2 - v_n^2}} \left(t_n v_{n+1} - x_n - 2 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{h_k}{v_k} \sqrt{v_{n+1}^2 - v_k^2} \right) \quad (3.11)$$



Şekil 3.8 Çoklu yatay katmanlar için ilerleme zamanı-uzaklık diyagramı (Redpath, 1973)

Her katmanın hızının, altındaki katmanın hızından küçük olduğu varsayılmıştır. Çoğu jeolojik ortam için bu iyi bir varsayım olabilir. Fakat şartın sağlanmadığı durumlarda sismik kırılma yöntemi yanıltıcı olabilmektedir. Yüksek hızlı bir katmanın altında düşük hızlı bir katmanın (hız terslenmesi) zaman uzaklık

diyagramında tek bir segmenti olmayacaktır. Bunun yerine, hesaplanmış derinliklerin, gerçek derinliklerden büyük çıkmasına neden olacaktır (Redpath, 1973). Ayrıca, yeraltında bulunan fakat zaman-mesafe diyagramında ifade edilemeyen kör kuşaklar yetersiz katman kalınlığı veya yetersiz hız kontrastından kaynaklanabilirler (Soske, 1959). Böyle durumlarda daha derin katmana ait baş dalga, ara katmana ait baş dalgadan önce yüzeye yetişecektir. Tespit edilemeyen kör kuşak, daha derinde bulunan katmanın derinliğinin gerçek derinlikten daha küçük çıkmasına neden olacaktır (Redpath, 1973). Hızın derinlikle birlikte devamlı olarak arttığı durumlarda (örnek; kumlar, çakıllar, normal konsolide killer) ışın izleri daha önce düz olarak varsayıldıklarının aksine eğrili olacaktır. Yani ışın izleri dairesel yaylar şeklinde görülecektir. Bunlardan elde edilen zaman-uzaklık eğrileri, hız-derinlik eğrilerine dönüştürülebilmektedir (Redpath, 1973 ve Corps of Engineers, 1979).

3.1.5. Mikrotremör Yöntemi

Mikrotremör Tanımı

Yeryüzünde hiçbir olay durağan olmadığı gibi, yeryüzünün kendisi de durağan değildir, sürekli hareket halindedir. Yeryüzündeki bu hareket, açığa çıkan enerjiye ya da oluşan titreşim genliklerinin büyüklüğüne göre çeşitlilik gösterir. Açığa çok büyük enerjiler çıkıyorsa ve yer hareketi ile yeryüzünde fark edilir ve hasar oluşturan salınımlar hissediliyorsa, bunlar deprem ya da kuvvetli yer hareketi olarak isimlendirilir. Bu hissedilir ve açığa büyük enerjiler çıkaran yer hareketlerinin yanında, yeryüzünde insan tarafından algılanamayan sürekli salınımlar da etkindir. Bu tür salınımlara, mikrotremör (titreşimcik) denir (Tokgöz, 2002).

Mikrotremörler, meteorolojik değişimler, rüzgâr, okyanus dalgaları, jeotermal reaksiyonlar, küçük magnitüdü yer sarsıntıları gibi doğal etkiler yanında kültürel gürültü olarak tanımlanan ve başta trafik hareketleri olmak üzere insanların yaşam sürecinde neden oldukları hareketlilikten kaynaklanan titreşimlerdir (Katz, 1976). Bütün bu etkenler, yeryüzünde titreşim olarak algılanabilir. Bu titreşimlerin genlikleri 0.1 mikron ile 1 mikron, periyotları ise 0.05 saniye ve 2 saniye arasında değişir (Kanai ve Tanaka, 1961).

Mikrotremör Özellikleri

Mikrotremörler, trafik, endüstri makineleri, rüzgâr gibi etkenler nedeni ile oluşmakta, gündüzleri geceden daha etkin olup, dalga biçimleri düzensizdir. Sert yerlerde dönem ve genlikleri, yumuşak yerlere oranla daha küçüktür. Dolayısıyla baskın dönem süresi de o denli kısadır. Mikrotremörlerin periyot spektrumları, alınan zemin yapısına bağlı olarak benzer özellikler gösterebilmektedir (Tunçel, 2008).

Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu alanlarda diğer jeofizik yöntemlerin uygulanabilirlik ve güvenilirlik açısından elverişsiz olması, mikrotremör yöntemini ön plana çıkarmaktadır (Demirci, 2007).

Mikrotremör yöntemi ile belirlenebilen zemin dinamik parametreleri, aynı zamanda geleneksel sismik kırılma/yansıma yöntemleri ile belirlenen S dalgası hız bilgisiyle de ortaya konulabilmektedir. Fakat sismik enerjinin derin katmanlara etkin iletiminin yumuşak sedimanlardaki yüksek soğurulmadan dolayı sınırlı olması, maliyet ve iş gücü açısından yüksek gereksinimlere ihtiyaç duyulması, kentsel alanlarda yeterli serim uzunluğuna sahip bölgelerin azlığı ve sinyal/gürültü oranının sağlıklı olmaması nedeniyle bu tür çalışmalarda sismik yöntemler kullanışsız bir hale gelmektedir (Demirci, 2007).

Buna karşın, zeminin doğal titreşimlerinin ölçülmesi ilkesine dayanan mikrotremör yöntemi; kullanım kolaylığı, düşük maliyet, daha az iş gücü ve daha güvenilir sonuçlar üretmesi sebebiyle mikrobölgeleme çalışmalarında başlıca kullanılan yöntem haline gelmiştir (Demirci, 2007).

Yer içersinde yayınan sismik dalgaları, yer gürültüsü adı verilen mikroseizim ve yüzey dalgaları oluşturmaktadır. Bu gürültülerin kaynağı farklı yerlerden ve yönlerden gelmektedir. Gelen sinyallerin salınımları kısa ve uzun periyodlu olmaktadır. Uzun periyodlu salınımları atmosferik olaylar yaratmaktadır. Diğer salınımlar ise yerel ve uzak kaynaklı olabilir (trafik böyle bir kaynağı oluşturabilir). Değişik kaynaklar nedeniyle oluşan yerdeki salınımlar zeminin yapısına bağlı olarak bir hakim frekansına sahiptir. Doğal olan bu titreşimi ölçmek için yapay kaynaklı yerel gürültülerden uzak alanlar seçilmelidir. Yerleşim alanlarında mikrotremör ölçülerin alınması için en uygun zaman

çevresel gürültünün en az olduğu gece saat 12 ile sabah 6 saatleri arası veya trafiğin az yoğun olduğu tatil günleridir. Bu saatler dışında da ölçüler alınabilir. Ölçüler içersideki yüksek genlikli anlık sinyaller veriden arındırılarak doğal yerel gürültü elde edilebilir. Bunun içinde kayıt süresinin uzun tutulmasında yarar vardır. Alınan ölçülerdeki hakim doğal frekans etkilenmemekle beraber genlik değerleri biraz yüksek çıkmaktadır. Ölçülerin gürültünün az olduğu zamanlarda alınması daha sağlıklı sonuçların alınmasını sağlayabilir. Normal bir mikrotremör kaydı yüksek genlikli yakın alan gürültüleri içermemelidir. Bu tür gürültüler çok yüksek frekanslı olduklarından dalgaların derinlere nüfuz etmesi mümkün değildir. Derinlerden bilgi alabilmek için sinyallerin derinlerde yayılması gerekmektedir. Yüzey dalgalarının derinlikle değişimleri, yer altı yapısının heterojen olmasına bağlıdır. Ayrıca tek bir dalga yerine farklı dalgalar farklı hızlarda yayındıkları için yayındıkları ortam hakkında bilgi taşımaktadırlar. Bu nedenle dispersif özellik taşımaktadırlar. Mikrotremör ölçümlerindeki amaç, bu dalgaları kayıt etmektedir. Gürültü olarak algılanmalarına rağmen gerçekte arzu edilen bir sinyal türüdür. Bu dalgaların üretilebilmesi için uzak bir kaynak ve tabakalı bir yapının var olması söz konusudur. Değişik ortam ve şartlardaki doğal ve yapay kaynaklar bu dalgaların üretilmesine neden olabilir. Önemli olan bu dalgaların kayıt edilebilmesidir (Gürbüz ve Ark. 2008).

Mikrotremörlerin Değerlendirilmesi

Kanai ve Tanaka (1961), geliştirmiş olduğu bir yöntemle mikrotremörler ile depremler arasında yakın bir ilişkinin olduğunu; depremler sırasındaki yerin baskın dönemlerinin, mikrotremör ölçümlerinden elde edilen yerin baskın dönemi ile yakın bir ilişki içerisinde olduğunu, özellikle yerin yalın ve tekdüze olması durumunda bu benzerliğin daha çok olduğunu belirtmiştir (Tunçel, 2008).

Mikrotremör kayıtlarının çözümlenmesinde ağırlıklı olarak spektral çözümleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere spektral çözümleme sonucunda yer içinde ilerleyen bir dalganın frekans içerikleri hakkında bilgi almak olanaklıdır. Buna bağlı olarak gelen dalganın yer içinde geçtiği ortamların etkisi belirlenebilmekte ve zemin koşulları hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Mikrotremor verilerinin çözümlemesinde yaygın olarak dört teknik kullanılmaktadır.

Bunlar;

1. Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının yorumlanması,
2. Referans noktasına göre spektral oran,
3. Yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura, 1989),
4. Sıfır Kesme (Kanai, 1961)

yöntemleridir.

Bu çalışmada, mikrotremör verilerinin değerlendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan, yukarıda 3. yöntem olarak bahsedilen, yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı yani diğer H/V spektral oranı yöntemi kullanılmıştır.

H/V Spektral Oranı

Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen tek istasyon yatay (Horizontal) ve düşey (Vertical) kayıtları spektrumlarının birbirine oranlanması esasına dayanan teknik H/V ya da Quasi Transfer Spektrumu olarak bilinir. Aynı noktada 3-bileşen sismometre ile toplanan mikrotremor verilerinin yatay-düşey spektral oranı analizi ile (Nakamura, 1989), ölçüm alınan noktadaki zeminin frekansın fonksiyonu olarak 1-boyutlu yatay-düşey genlik oranı eğrileri (spektral oran eğrileri) belirlenmektedir. Bu analiz ile elde edilen spektral oran eğrilerinin değerlendirilmesiyle, zemin hakim frekansı ve bu frekansa karşı gelen yatay-düşey genlik büyütme oranı saptanır (Field ve Jacob, 1995).

3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yer Bilimlerindeki Uygulamaları

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); birçok meslek disiplininin çalışmalarında amaçlarına yönelik kullandığı çok güçlü bir araçtır. Bu araç sayesinde konumsal veya konumsal olmayan verilerin toplanması, görelleştirilmesi, depolanması, analiz edilmesi, sorgulanması, yönetilmesi ve çıktılarının alınması etkili bir şekilde yapılabilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Coğrafi Bilgi Sisteminin genel fonksiyonları (Anonim, 2004)

CBS, yeryüzünün herhangi bir noktasıyla ilişkili olan yani belirli bir lokasyona sahip her türlü verinin analizini yapmaya, haritalamaya, depolamaya ve sorgulamaya yarayan çok güçlü bir bilgi sistemidir. Bu sistem bize aynı zamanda bu verileri güncelleştirme, grafikleme, raporlama ve yeni verilerinde türetilmesi imkânlarını sunmaktadır. CBS; yazılım, donanım, veri, personel ve yöntem bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 CBS bileşenleri (Anonim, 2004)

Dünyada ve ülkemizde afet zararlarını en aza indirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu çalışmaların başında o bölgenin afet tehlike durumunu ortaya koymak ve mevcut planları buna göre yapmak gelir. Bu amaçla kent ölçeğinde yapılacak olan imar planlamalarında kullanılmak üzere, sağlıklı kentleşme ve güvenli yapılaşma için kentsel mikrobölgeleme çalışmaları yürütülür. Sismik yöntemler, kentsel mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında yürütülen arazi çalışmalarından biridir. Mikrobölgeleme çalışmalarından edilen verilerin depolanması, coğrafi veri formatında değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve yorumlanmasında CBS teknikleri etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Avdan, 2011).

CBS yeryüzünde coğrafya ile ilişkilendirilecek her tür veriyi haritalamaya ve konumsal veriler arasında ilişki kurmaya yönelik bir bilgi sistemidir. Bu sistemler çok miktarda konumsal ve tablosal veri biriktirme, üzerinde değişiklikler yapabilme, bu verilere yönelik istatistiksel çözümleme ve gösterebilme özelliğine sahiptir. CBS ile sistem harici bir program ve yüksek seviyeli bir veri tabanı sistemi ile bağlantı kurulabilir. Bütün bu özellikleri ile CBS, diğer bilgi sistemlerinden ayrılır ve sonuçların kolay ve hızlı algılanması açısından da diğer sistemlere göre üstünlük sağlar. CBS kapsamlı bir bölgesel sismik bölgeleme, tehlike ve risk çalışmaları içinde ideal bir ortam oluşturur. Sistem sismik mikrobölgelemeye yönelik her bir adımın birbirinden bağımsız ele alınarak birleştirilmesinde kullanılabilir. Kapsamlı bir sismik mikrobölgeleme çalışmasında pek çok faktörün etkisi birleştirilmelidir. Bu faktörlerin her biri konumsal ve tablosal verilerin modellemesini ve çözümlemesini kapsar (Ulutaş ve Ark. 2005).

Mikrobölgeleme çalışmalarında, yerel zemin koşullarını tanımlayan parametrelerin bölgedeki değişiminin belirlenmesi ve analizi sonucu elde edilen veri tabakalarının birleştirilerek aralarındaki ilişkilerin anlaşılması gerekmektedir. Elde edilen tüm veriler, coğrafi koordinatlar ile ilişkilendirilmelidir. Bütün bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi ve uygulanabilmesi için istatistiksel veya matematiksel coğrafi veri analizlerine ve verilerin görsel olarak sunularının yapılmasına gereksinim vardır. Bu amaç için kullanılan en iyi araçlardan birisi, CBS'dir (Karasu, 2009).

Karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülebilmesi için tasarlanan; mekândaki konumu belirlenmiş verilerin kapsanması, yönetimi, işlenmesi, analiz edilmesi, modellenmesi ve görüntülenebilmesi işlemlerini kapsayan donanım, yazılım ve yöntemler sistemine CBS denir. CBS araştırma, planlama ve yönetimdeki karar verme yeteneklerini arttırmak ve ayrıca zaman, maliyet ve personel tasarrufu sağlamak amacıyla coğrafi nesnelere ait grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analizi ve sunulması fonksiyonlarının bütünleşik olarak yerine getiren donanım, yazılım, coğrafi veri ve personelden oluşan bir bütündür. Daha basit ifade ile ele alırsak, CBS dünya üzerindeki bölgeleri tarif eden, verileri saklayan ve kullanan bilgisayar sistemi olarak da tanımlanabilir (Karasu, 2009).

Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak zemin haritaların oluşturulmasında en önemli ve de ilk adım, çalışılacak bölgenin zeminine ait verilerin toplanması ve bu verilerin sayısal ortama aktarılmasıdır (Karavul ve ark. 2007).

Zemin özelliklerini gözler önüne sürmek adına CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanılarak oluşturulacak zemin parametre haritaları ile yerleşim alanının zemin durumu ayrıntılı şekilde belirlenebilmekte ve bu sayede güvenilir yorumlar yapılabilmektedir.

Tüm dünya genelinde son yıllarda depremlerin yukarıda açıklanan etkilerini azaltmak amacıyla güvenli yerleşim alanlarının tespiti ve yapılaşmada her bölgeye uygun bina tasarımları oluşturmak için sismik mikrobölgeleme çalışmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmalar bir bölgedeki deprem tehlikesi ile belirlenecek olan yerleşime uygunluk ve arazi kullanım ilkeleri için etkin bir yaklaşımdır. Sismik mikrobölgeleme çalışmalarındaki en önemli nokta deprem tehlikesini belirlemeye yönelik farklı etkilerin nasıl birleştirileceği ve her bir etkinin ağırlıklarının birbirine göre hangi oranda olacağıdır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesine yönelik kapsamlı bir sismik tehlike ve sismik mikrobölgeleme çalışmaları için için ideal bir ortam oluşturan CBS kullanılmaktadır (Ulutaş ve ark. 2005).

CBS haritaları oluşturulurken, enterpolasyon tekniği olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, temel prensip olarak kullanılan enterpolasyon metoduna göre, herhangi bir veri bulunmayan noktalar için ara

değer hesaplaması yapmaktadırlar. Doğal komşuluk (NN), Uzaklıkla Ters Orantılı Ağırlıklama (IDW) ve Kriging yöntemleri en çok kullanılan enterpolasyon teknikleridir. Kriging yöntemi, diğer metodlara oranla daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar verdiği için bu çalışmada enterpolasyon tekniği olarak seçilmiştir.

3.2.1. Kriging Yöntemi

Kriging enterpolasyon yöntemi bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon yöntemidir (Barton ve Ark. 1999). Kriging yöntemine BLUE (Best Linear Unbiased Estimator) adı verilir. Bu ismin altında yatan kestirim hatasının minimum olması şartına göre ağırlıkların belirlenmesidir. Bu durum, Kriging yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en büyük olanak özelliklerinden biridir (İsaak ve Srivasta, 1989; İnal ve Yiğit, 2003).

Bu yöntemde hem doğrudan ölçüm değerleri hem de istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak otokorelasyon oluşturularak bunlara yönelik tahminler yapılmaktadır. Bir başka ifadeyle, kısaca uzaysal enterpolasyon yapılmaktadır. Bu yöntemde uzaysal ilişkiler kullanılarak tahminlerdeki hata oranları ve aynı zamanda yaklaşım miktarlarını da test edilebilmektedir (Korkmaz ve Başel, 2009).

Kriging yöntemi birçok alanda kullanılabilirliğini ve popülaritesini kanıtlamış geoistatistiksel bir enterpolasyon yöntemidir (Yiğit, 2003). Kriging tekniği diğer kestirim tekniklerine göre daha yansız sonuçların yanı sıra minimum varyanslı ve kestirime ait standart sapmanın hesaplanmasına vermektedir (Deutsch ve Journel, 1992; Abtew ve ark. 1993; Başkan, 2004).

Kriging yönteminin temeli bölgesel değişkenler teorisine dayanır. Yükseklikler tarafından temsil edilen olaylarda konumsal değişim yüzey boyunca istatistiksel olarak homojendir. Kriging yönteminde, en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konumsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu konumsal bağımlılık ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir variogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir (Deutsch and Journel, 1992; İnal, 2005). Kriging yöntemi ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki

noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağrılık modeli kullanır (İnal ve ark. 2003).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması sismik kırılma ve mikrotremör gibi jeofizik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.1. Materyal

4.1.1. Sismik Ekipmanlar

S-Gun

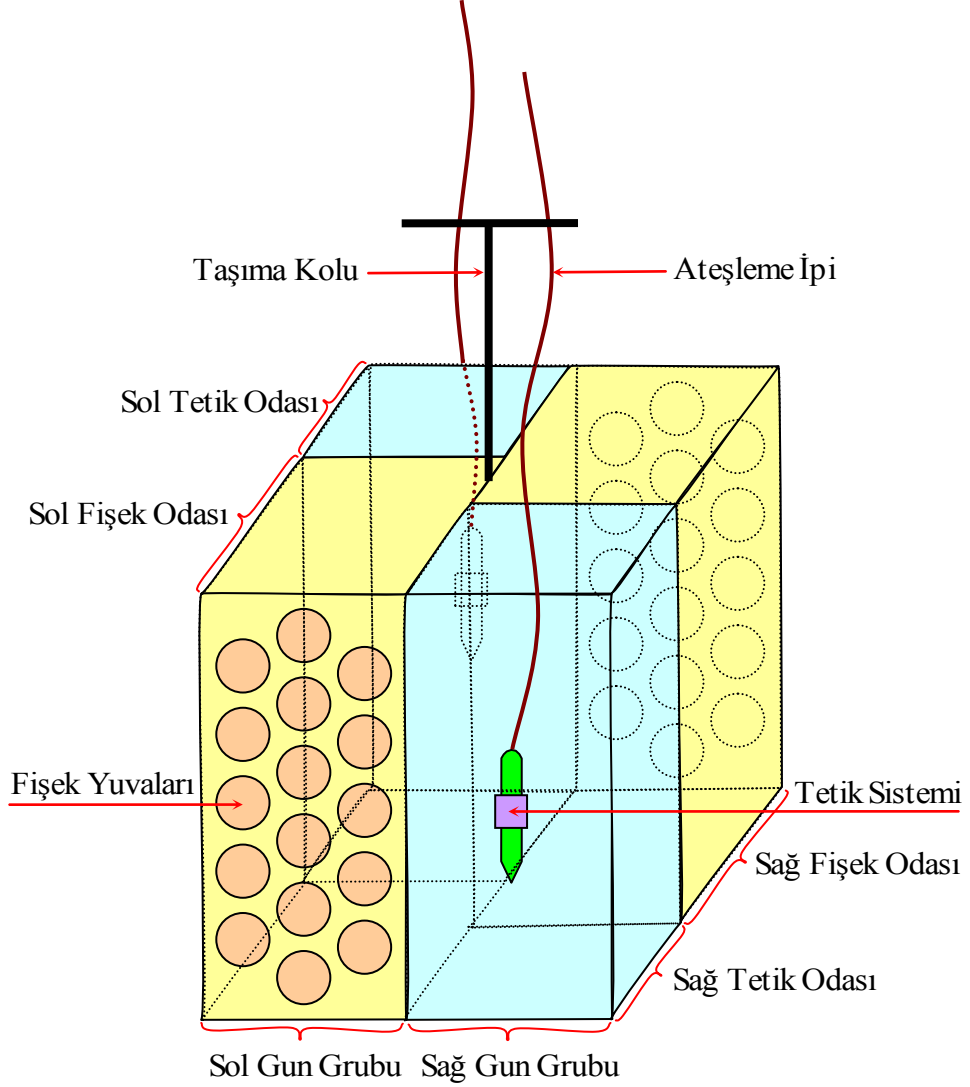
Çalışma alanının zemin özelliklerinin belirlenmesinde sismik kırılma ve mikrotremör yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmalar dahilinde, Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü bünyesinde geliştirilen ve patentleri alınmış olan P-Gun (Canyaran ve Ecevitoglu, 2002) ve S-Gun (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011) sismik enerji kaynakları kullanılmıştır. İşlem, belirlenen noktalarda gerçekleştirilmiş ve belirlenen alan sınırları içindeki P ve S dalga hız profili mümkün olduğunca derinden belirlenmiştir.

Mühendislik jeofiziğinde, zeminin elastik parametrelerinin belirlenmesinde S-dalga hızlarının ölçülmesi son derece önemlidir. S-dalgası üretilmesi, P-dalgası üretilmesinden daha zordur. S-dalgası kaynağı olarak balyoz kullanılması, sismik enerjinin yeraltına yeterince nüfuz etmesini sağlayamamaktadır. Bu nedenle, balyoz yardımıyla yüzey tabakasına ait S-hızı ölçülebildiği halde, çoğu kez daha derinlerdeki tabakaların S-hızları ölçülememektedir.

S-Gun güçlü bir enine dalga enerji kaynağıdır. S-Gun'la ideale yakın yönlü sismik enerji üretebildiğinden, çok az miktarda P-fazı ve diğer dönüşmüş fazlara ait enerji sızmaları oluşmaktadır. Özellikle 'polarite atışı' olarak bilinen zıt yönlü atışlara ait sismik izler cebrik olarak toplandığında (vertical stack), söz konusu enerji sızmaları hemen hemen tümüyle yok edilmekte, böylece zamanda önleri boşalan S-varışları çok az hatayla okunabilmektedir. Önerilen S-Gun

tasarımı, tek bir gömüšte, zıt yönlü iki atışa olanak tanımaktadır. Őekil 4.1'de S-Gun'ın perspektif bir çizimi verilmiştir.



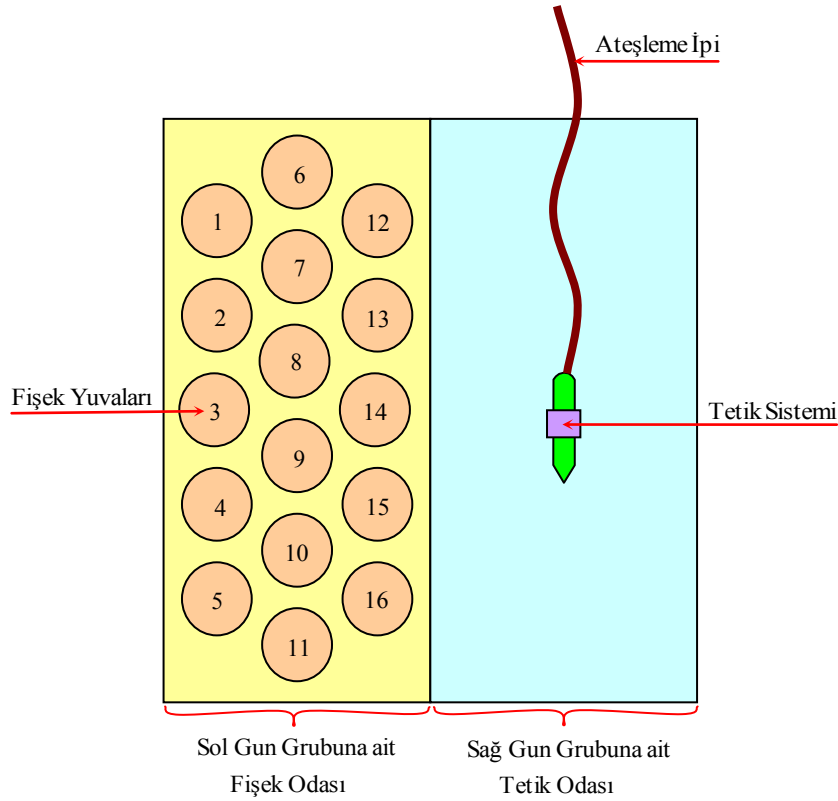
Şekil 4.1 S-Gun'ın üç boyutlu görünüşü (Ecevitöğlü ve Aldaş, 2011)

S-Gun, birbirlerine göre zıt yönde konumlanmış iki ayrı Gun'ın bileşiminden oluşmaktadır. Her Gun'a ait ayrı tetik ve fişek odaları bulunmaktadır. Değişik bölümlerin birbirleriyle nasıl kenetlendikleri gösterilmemiştir.

Çizimler üzerinde herhangi bir ölçüm verilmemiş ve bazı ayrıntılar atlanmıştır. Örneğin tetik sistemi üzerindeki düşey sürgülü periskopik muhafaza çizilmemiştir. Söz konusu muhafaza, S-Gun'ın içine gömüldüğü yaklaşık 50

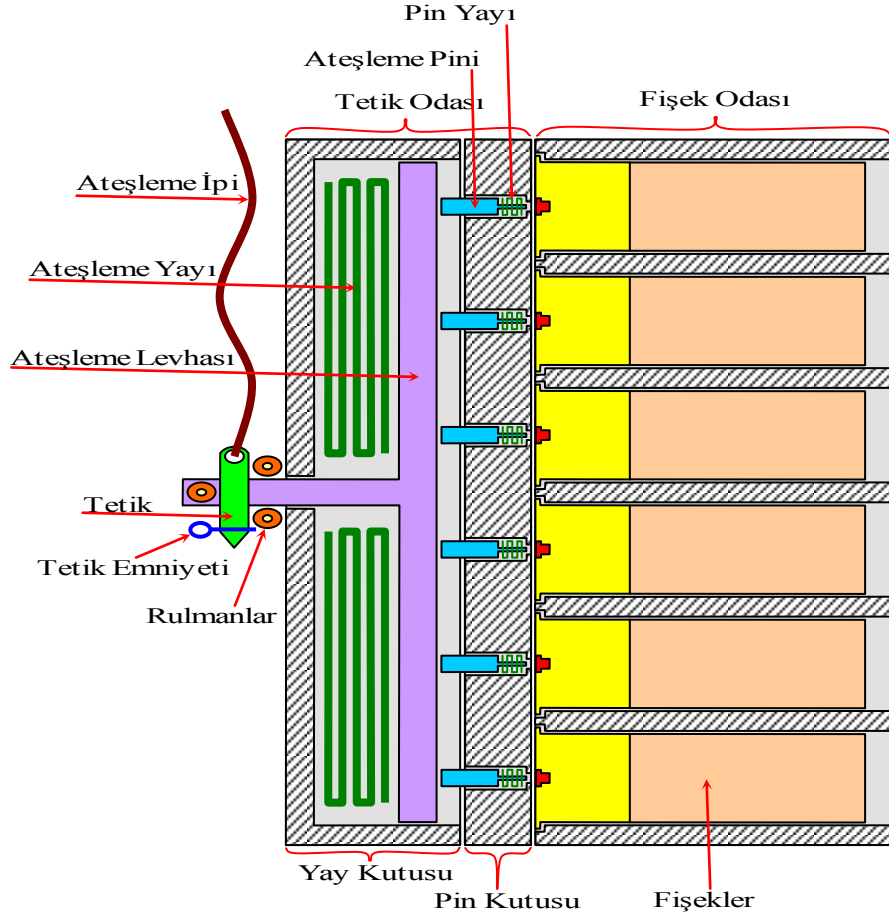
cm'lik çukur doldurulduğunda, tetik sisteminin toprakla olan temasını önlemekte, yeryüzünde kalan periskopik uzantısı ise tetikleme ipine klavuzluk etmektedir.

Fişeklerin doldurulup-boşaltılmaları için, sol ve sağ fişek odaları S-Gun'dan düşey sürgülü kızaklarla ayrılıp-birleştirilebilmelidirler. Bu yöntem, somunlu yönleme göre çok daha hızlı, pratik ve az sorunlu olacaktır. Şekil 4.2'de S-Gun'ın önden görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.2 S-Gun'ın önden görünüşü (Ecevitöglü ve Aldaş, 2011)

Şekil 4.3'de bir Gun grubunun düşey kesiti verilmiştir. Gun kurulu durumdadır. Tetik emniyeti açılıp ateşleme ipi yukarıya doğru çekildiğinde, tetik rulmanlar üzerinde kayarak yuvasından kurtulur, serbest kalan ateşleme levhası, genişleyen ateşleme yayının itişiyile ateşleme pinlerine çarpar, pinler ise karşılarındaki fişekleri ateşlerler. Genleşen barut gazı ve kurşun saçmalar Gun'ın sağ yüzünden dışarı atılır, böylece S-dalgası yayını başlar.



Şekil 4.3 Bir Gun grubuna ait düşey kesit (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011)

Fişek yuvaları, en az yüzey kaplayan geometrik şekil olan altıgenler şeklinde tasarlanmıştır. S-Gun, her gömülüşünde, iki zıt yönde, farklı zamanlarda, toplam en çok $16 \times 2 = 32$ fişek atmaktadır. Bu sayı daha az da olabilir.

Gun, şekilde gösterilmeyen bir kaldıraç kolu yardımıyla tekrar kurulduğunda, genişleyen pin yayları, ateşleme pinlerini geri iterler. Fişek odası, doldur-boşalt işlemleri için düşey kızaklar üzerinde hareketliken, tetik odasını oluşturan yay kutusuyla pin kutusu birbirlerine vidalanmışlardır. Gerekliğinde bakım için birbirlerinden ayrılabilirler (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 S Gun sismik enerji kaynağı (Ecevitoglu ve Aldaş, 2011)

Atış sonrası, boş kovanları fişek yuvalarından hızla ve kolayca çıkartmak için, fişek yuvalarının erkek karşılıklarından oluşan yekpare bir kitin bulunması gereklidir.

P-Gun

P Gun (Multi-Head-Buffalo-Gun) güçlü bir sismik enerji kaynağı olmasına karşın (36 fişekli Multi-Head-Buffalo-Gun'ın darbe kuvveti 121 tondur) yerleşim alanlarında güvenli olarak kullanılacak biçimde tasarlanmıştır. Ateşleme elektronik olarak doğrudan sismik kayıçı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Atışlar doğrudan yeryüzünde yapıldığından herhangi bir delme işlemi gerekmemektedir. Multi-Head-Buffalo-Gun asfalt, beton, kaldırım, v.b. üzerinde rahatlıkla kullanılabilir.

Multi-Head-Buffalo-Gun yeryüzünde atıldığı halde, yüzeyde atılan diğer impulsif sismik kaynaklarda istenmeyerek ortaya çıkan 'paging' olayına (ilk darbeyi takiben, kaynağın kontrolsüz bir şekilde birçok kez yere vurmasıyla veri kalitesinin bozulması) maruz değildir. Dinamit kullanımında istenmeyerek ortaya çıkan 'kuyu-fişkırması' (blow-out) olayı, Multi-Head-Buffalo-Gun'da oluşmamaktadır.

Multi-Head-Buffalo-Gun'da bilinen av fişekleri kullanılmaktadır. Av fişeği satın almak, bulundurmak, taşımak ve kullanmak yasalarımıza göre sakıncalı değildir. Yalnızca av tüfeği bulundurmak ruhsata tabidir. Öte yandan Multi-Head-Buffalo-Gun bir av tüfeği veya silah olmadığından, kullanıcıyı

dinamitin getirdiği kanuni yükümlülüklerden (zorunlu bildirim, gözetim, kısıtlama, kontrol ve benzeri resmi-işlemler) muaf tutmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 P gun sismik enerji kaynağı (Canyaran ve Ecevitoğlu, 2011)

Multi-Head-Buffalo-Gun atışları, üzerinde patlatma yapılan zeminde çok az plastik deformasyona (parçalanmaya) neden olmaktadır. Bu önemli özellik, kaynağın ürettiği sinyalin yüksek frekans içeriği bakımından zengin olmasını (çözünürlük), ve birbirini takip eden atışlara ait sinyallerin tekrarlanabilir (benzer) olmasını sağlamaktadır. Multi-Head-Buffalo-Gun üzerinde değişik sayıda fişek kullanarak kaynak gücü ve frekans içeriği değiştirilebilir.

Multi-Head-Buffalo-Gun'da enerji, istenilen doğrultuya yönlendirilebilmektedir. Son derece önemli olan bu özellik, Multi-Head-Buffalo-Gun'ı aynı zamanda etken bir S-dalgası kaynağı olarak da kullanılmasını sağlamaktadır.

Multi-Head-Buffalo-Gun, çok-kaynaklı atışların (birden fazla Multi-Head-Buffalo-Gun'ın belli bir geometrik düzen içinde eşzamanlı atılması) gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 4.7 Sismik ekipmanların arazide kullanımından bir fotoğraf

Jeofonlar

Yerdeki sismik titreşimleri algılayarak elektrik sinyallere dönüştüren aygıtlardır. Bu işlev, jeofon içine yerleştirilmiş sabit bir mıknatıs ve bunun içinde hareket eden bir bobin tarafından gerçekleştirilir. Ancak amaca göre değişik şekil, frekans ve sönüm oranlarında değişik dizaynlarda üretilmektedirler. Çalışmalarda, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görülen 14 Hz'lik S jeofonları ve P jeofonları kullanılarak veri alınmıştır.



Şekil 4.8 S jeofonu



Şekil 4.9 S jeofonu (solda) ve P jeofonu (sağda)

Mikrotremör Ölçümü İçin Gerekli Ekipmanlar

Mikrotremör verileri, Guralp CMG-6TD serisi kayıtçı sistemleri kullanılarak kaydedilmiştir. Guralp CMG-6TD kayıtçılar, yüksek çözünürlüklü sayısallaştırıcı olup 3-bileşen kayıt yapabilme (KG, DB, Z bileşeni) özelliğine sahip, GPS bağlantısı ile uydu kontrollü zaman ayarlama ve yüksek hacimli saha verileri toplama yeteneğine sahip günümüz bilim ve teknolojisinde geliştirilmiş sistemlerden biridir (URL 2). Şekil 4.10'da, bu çalışmada kullanılan Guralp CMG-6TD ölçüm cihazları ve ekipmanları; 1 cihaz bağlantı kablosu, 2 veri aktarma kablosu, 3 GPS ve kablosu, 4 güç bağlantı kablosu gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında sismometre tarafından 3 bileşende alınan sinyaller, "Scream" arayüz yazılımı kullanılarak grafik veriye dönüştürülmüş ve *.gcf uzantılı dosyalar şeklinde kaydedilmiştir. Scream programı, sismometre yapılandırılması, gerçek zamanlı veri alımı ve izlenmesi için yazılmış uygulamadır. Scream, her hangi bir Guralp Sistemi sayısal aletinden elde edilen GCF verilerini sıkıştırma, görüntüleme, yazdırma, kaydetme ve yeniden görüntüleme işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılabilir (URL 3).



Şekil 4.10 Çalışmada kullanılan Guralp CMG-6TD ölçüm cihazı ve ekipmanları

4.2. Yöntem

Zeminin dinamik parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan sismik kırılma çalışmalarında 48 kanallı ve 5 atışlı serim düzeni kullanılmıştır. Her atış noktasında ise hem P Gun hemde S Gun kullanılarak sismik enerji üretilmiştir. Yani bir serimde toplam 10 atış yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, P ve S dalgaları elde edilirken her ikisi için de ayrı jeofonlar kullanılarak kayıt alınmıştır. P dalgası elde edilirken P jeofonları, S dalgası elde edilirken de S jeofonları hat boyunca serilmiştir.

P dalgası üretilirken P Gun sismik enerji kaynağı kullanılmıştır. P Gun da uzun serim için 36 adet, kısa serim için ise 18 adet magnum fişegi kullanılarak 50 cm derinlikli kuyu içinde yere dik olacak şekilde ateşleme yapılmıştır ve boyuna sismik dalga kayıtları elde edilmiştir.

S dalgası üretilirken S Gun sismik enerji kaynağı kullanılmıştır. S Gun da uzun serim için 16 adet magnum fişegi, kısa serim için ise 8 adet magnum fişegi kullanılarak, 50 cm derinlikli kuyu içinde yatay yönde ateşleme yapılmıştır ve enine sismik dalga kayıtları elde edilmiştir. S-Gun sismik enerji kaynağı, yatayda tek yönlü ve çok güçlü bir kuvvet uygulayabildiği için, önemli derecede Love dalgaları üretebilmektedir.

Sismik kırılma çalışmasında, yeryüzünde veya çok sığ derinliklerde yapay olarak meydana getirilen sismik dalgaların yer içerisinde yayıldıktan sonra yeryüzündeki alıcılara gelmeleri için geçen zamandan faydalanarak, yer altındaki tabakalı yapı ortaya çıkarılmıştır. Dalgaların jeofonlara ulaşması için geçen zaman, jeofonların kaynaktan olan uzaklıklarının bir fonksiyonu olarak çizilmiş ve zaman-uzaklık eğrileri (x-t) elde edilmiştir. Buradan sismik hızlar ve dinamik elastik parametreler elde edilmiştir.

Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen tek istasyon yatay ve düşey kayıtları spektrumlarının birbirine oranlanması esasına dayanan teknik olan H/V kullanılmıştır. Aynı noktalarda 3-bileşen sismometre ile toplanan mikrotremör verilerinin yatay-düşey spektral oranı analizi ile (Nakamura, 1989), ölçüm alınan noktadaki zeminin frekansın fonksiyonu olarak 1-boyutlu yatay-düşey genlik oranı eğrileri (spektral oran eğrileri) belirlenmiştir. Bu analiz ile elde edilen

spektral oran eğrilerinin değerlendirilmesiyle, zemin hakim titreşim frekansı belirlenmiştir.

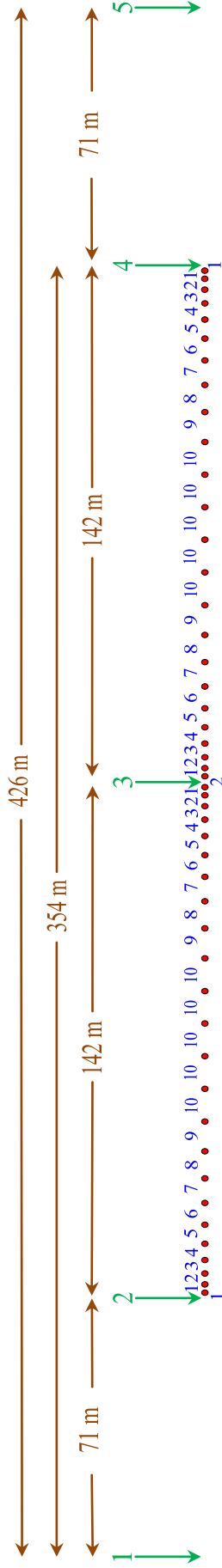
4.2.1. Sismik Arazi Düzeni

Ölçümlerde uzunluğu 284 m'lik uzun serim ve 142 m'lik kısa serim olarak iki farklı serim düzeni kullanılmıştır. Uzak ofset atışları da hesaba katılırsa, bu uzunluklar uzun serim 426 m ve kısa serim 213 m olarak hesaplanabilir. Kısa serim (213 m) uzun serimin(426 m) $\frac{1}{2}$ oranında ölçeklenmiş halidir (Şekil 4.11).

Jeofonlar arasındaki mesafeler düzgün değişkenlik göstermektedir. İlk iki jeofon arası mesafe 1m' dir ve bu aralık her jeofonda 1'er metre artmaktadır, hat ortasında 10 m'ye ulaşan bu mesafe 5 aralık boyunca mesafeyi koruduktan sonra tekrar azalarak devam etmekte ve 23. ve 24. jeofonlar arasındaki mesafede tekrar 1 m olarak sonlanmaktadır. Hattın diğer yarısında da yani 25. ve 48. Jeofonlar arasında da bu düzen kendini tekrarlamaktadır (Şekil 4.11).

Alıcı düzeni, değişken aralıklı sismik kırılma yöntemi kullanarak 2,3 ve 4 numaralı atış noktalarına yakın kısa aralıklı jeofonların yardımıyla yeryüzüne çok yakın ve ince tabakaları belirlenebilmektedir. Bununla beraber, aynı serimin uzun aralıklı alıcıları ve uzak-atışlarını kullanarak, daha derin kırıcı yüzeylerin görüntülenmesini de olanak sağlamıştır (Ecevitoğlu, 2002).

Ecevitoğlu (2002)'ye göre sığ ve derin yapıların aynı sismik kırılma serimi kullanılarak çözümlenebilmesi için değişken aralıklı sismik kırılma yöntemi iyi bir alternatif oluşturmaktadır.



Şekil 4.11 Değişken aralıklı serim düzeni

4.2.2. Sismik Veri Toplama

Eskişehir zemininin yer mühendislik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla sismik arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla P-Gun ve S-Gun adını verdiğimiz sismik enerji kaynaklarımızla (S-Gun tip sismik enerji kaynağı dünyada ilktir ve patenti alınmıştır) patlatma yaparak sismik veri toplanmıştır. Patlatmalar 9 adet av fişeginin eş-zamanlı yere ateşlenmesiyle sağlanmaktadır. Bu amaçla yere 40 cm derinlikli delikler açılmakta, Gun'lar içine yerleştirilmekte, geri tepmenin önlenmesi için Gun'ların üzerlerine ağırlık konulmaktadır. Ayrıca taş ve toprak sıçramasını önlemek için Gun'ların çevresi kevlar battaniye ile kamufle edilmektedir.

Sismik kırılma yöntemi ile arazide ölçüm alınırken kullanılan 48 kanallı ve 5 atışlı serim düzeni Şekil 4.11'de görülmektedir. Arazi düzeninde 48 kanallı yani 48 adet P ve S jeofonları (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9) kullanılarak yapılan serimde 5 noktada atış yapılarak, her nokta için ayrı ayrı S Gun ve P Gun sismik kaynaklarından çıkan enerji kullanılarak jeofonlar yardımıyla veriler zeminden toplanmaktadır.

Arazi çalışmaları sırasında çekilen bazı fotoğraflar (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13) aşağıda verilmiştir. Şekil 4.12'de bulunan 1 nolu fotoğrafta sismik kayıtçılar, arazi bilgisayar, güç kaynağı ve arayüz kabloları arazide kayıt alırken görülmektedir. 2 nolu fotoğrafta ise bir lokasyonundaki sismik hattın dizilimi fotoğraflanmıştır. 3. fotoğraf bir S jeofonunun kayda hazır hali verilmiştir ve 4. fotoğraf da bir P-Gun atışı sırasında çekilmiştir, atışın yapılacağı çukurun üzeri kevlar battaniyesi ile kamufle edildiği görülmektedir.



Şekil 4.12 Sismik kırılma çalışmalarından fotoğraflar



Şekil 4.13 Sismik kırılma çalışması sırasında çekilen fotoğraflar

4.2.3. Mikrotremör Verisi Toplama

Sismik kırılma yönteminin uygulandığı 23 noktada tek istasyon mikrotremör ölçümleri de alınmıştır. Bu ölçümleri sismometreler ile ortalama 45 dakikalık kayıtlar şeklinde alınmıştır. Ayrıca ölçümler yağışsız, rüzgârsız havalarda ve mümkün oldukça sürekli titreşim üreten yüzey gürültü kaynaklarından uzak noktalarda alınmaya çalışılmıştır.

Mikrotremör verileri Guralp CMG-6TD serisi kayıtçı sistemleri kullanılarak kaydedilmiştir. Toprak zeminlerde sismometreyi açığımız çukura gömerek ve üzerine kutu kapatılarak çevreden izole edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Guralp CMG-6TD kayıtçı sisteminin arazide yerleştirilmesi ve veri kaydı alınmasından bir görüntü

Mikrotremör ölçümleri, gürültü seviyesinin fazla olduğu noktalarda gece ölçümleri yapılarak sürdürülmüştür.

Elde edilen verilerin işlenmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan, GEOPSY (URL 4) adlı yazılım kullanılmıştır.

Mikrotremör ölçümlerinde verilerin gürültüsüz kısımlarının kullanılması tercih edilmekte ve geçici gürültülerin (yakın trafik, yayalar, Endüstriyel v.b.) sakınılması gerekmektedir. Bu seçme işleminin manüel olarak yapılması tercih edilmekle birlikte, çok miktarda verinin olduğu durumlarda çok zaman kaybettirici bir işlemdir. Programın özelliklerinden biri de verideki gürültüsüz kısımların seçiminin verilen parametreler doğrultusunda her üç bileşen için otomatik yapılabilmesidir.

4.2.4. Sismik Verilerin Kalite Kontrolü

Araziden toplanılan sismik kırılma verilerinin kalitesini hemen belirleyebilmek için, Fortran programı kullanılarak bir yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım sayesinde değişken aralıklı serim düzeni kullanılarak yapılan sismik kırılma verilerinde kolaylıkla ve sağlıklı bir biçimde hız ölçümleri yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında toplanılan sismik verilerin hepsi bu program yardımıyla kalite kontrolü yapıldıktan sonra veri işlem sürecine başlanmıştır.

4.2.5. Sismik Verilerin Analizi

Çalışmanın ofis çalışmaları kısmında ise sahadan toplanan sismik kırılma ve mikrotremör verilerinin çözümlenme ve analizleri yapılmıştır. Sismik kırılma verileri SeisImager yazılımı yardımıyla tabaka çözümlenmesi yapılmıştır, tabaka sayıları, kalınlıkları ve sismik hızları belirlenmiştir. Mikrotremör verileri ise Geopsy programı kullanılarak zeminin hakim titreşim periyodları bulunmuştur.

4.2.6. CBS Kullanılarak Sismik Verilerin Haritalanması

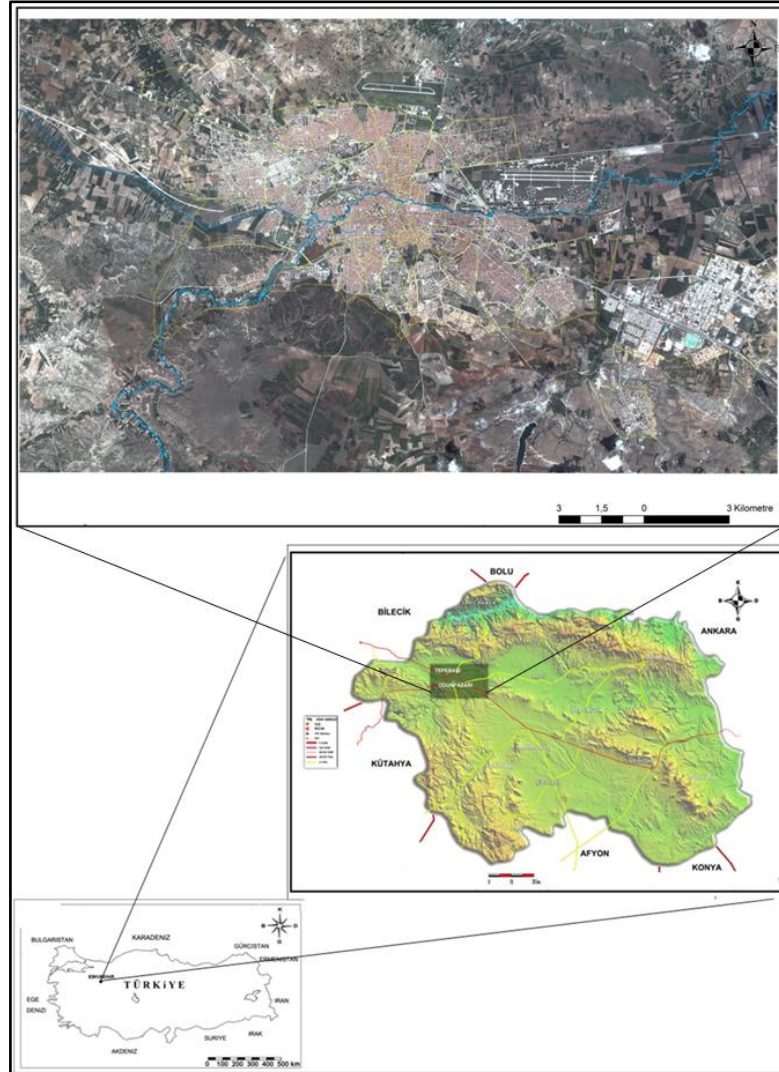
Sismik verilerin görüntülenmesi, haritalanması ve analiz edilmesinde bir coğrafi bilgi sistemi programı olan ArcGIS 10 kullanılmıştır. Çalışmalarda Quickbird'un Mayıs 2009 tarihli yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü altlık

olarak kullanılmıştır. Sismik kırılma ve mikrotremör çalışmaların yapıldığı lokasyonlar bu uydu görüntüsü üzerinde belirlenmiştir ve analizler sonucunda elde edilen verileri yine ArcGIS ortamında Kriging tekniği kullanılarak enterpolasyon yapılmış ve haritalar oluşturulmuştur.

5. İNCELEME ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

5.1. Coğrafi Konum ve Yüzey Şekilleri

Çalışma bölgemiz olan Eskişehir havzası, Orta Anadolu bölgesinin kuzey batı kesiminde 39°31' - 39°56' kuzey enlemleri ile 30°17' -30°45' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Eskişehir İli'nde en önemli akarsu Porsuk Çayı, Eskişehir İli'ne güneybatıdan girer ve şehir merkezinden geçerek şehrin doğusundan çıkmaktadır. Çalışma alanının kotu 779m ile 800m arasında değişmektedir (Tün, 2003) (Şekil 5.1).



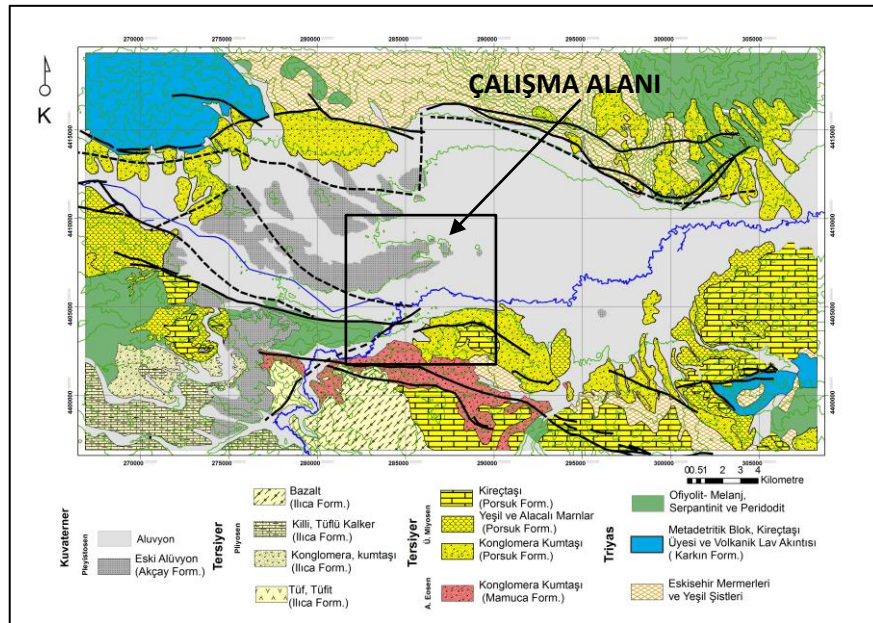
Şekil 5.1 Çalışma alanının Türkiye ve çevre illerle olan konumu ve Mayıs 2009 tarihli Quickbird uydu görüntüsü. (Tün ve ark. 2010)

5.2. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri

Önceden yapılan çalışmalara bakıldığında Eskişehir bölgesinin jeolojik özelliklerinin stratigrafi ve yapısal jeoloji olmak üzere iki alt başlıkta ele alındığı görülmektedir.

5.2.1. Stratigrafi

Eskişehir İli sınırlarında bulunan formasyonlar; gençten yaşlıya doğru, Alüvyon, Akçay Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Mamuca Formasyonu ve Karkın Formasyonu'dur (Akdeniz ve ark. 2011). Bu formasyonlar içerisinde yaşları Triyas ile Holosen arasında değişen birimler yer almaktadır. En altta Triyas'da oluşmuş metamorfik-ofiyolitik-metadetritik tektonik birliği yer almaktadır. Bunların üzerine Jura-Kretase-Eosen-Miyosen- Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalar yer almaktadır. Bölgedeki en genç birimleri ise Pleyistosen yaşlı, önceki araştırmacılar tarafından eski alüvyon olarak tanımlanan Akçay Formasyonu (gevsek tutturulmuş kil, silt, kum ve çakıl) ile güncel alüvyon (kil, silt, kum ve çakıl) oluşturmaktadır (Tosun ve Orhan, 2007) (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Eskişehir ve çevresinin jeolojisi (Orhan, 2005 ve MTA jeoloji haritalarından düzenlenmiştir)

Bölgedeki alüvyon malzemeyi, Sarısu Deresi ile Porsuk Çayı'nın getirdiği malzeme oluşturmaktadır. Alüvyon, Eskişehir yerleşim yeri için geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon malzeme kil, silt, kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır.

5.2.2. Alüvyonlar

Porsuk Çayı Eskişehir il merkezine girmeden il merkezinin güneybatısında Sarısu Deresi ile birleşmektedir. Bu iki derenin getirdiği malzeme Eskişehir İli'nin zeminini oluşturmaktadır. Elde edilen sondaj sonuçları değerlendirildiğinde, çalışma alanında ki Alüvyon birimi içindeki malzemenin kil, silt, kum ve çakıldan oluştuğu görülmektedir. Bu değerlendirme detaylandırıldığında ise, inceleme alanında genel olarak 5-6 m' ye kadar yüksek plastisiteli kil-silt mevcuttur, bu 5-6m'den sonra ise kil-silt dereceli olarak azalırken yerini kum ve çakıla bırakmaktadır. Yüzeyden itibaren 6 m' de bulunan kil-siltin büyük bölümü düşük plastisiteli kil ve silt bulunurken alt seviyelerde killi-siltli kum bulunmaktadır.

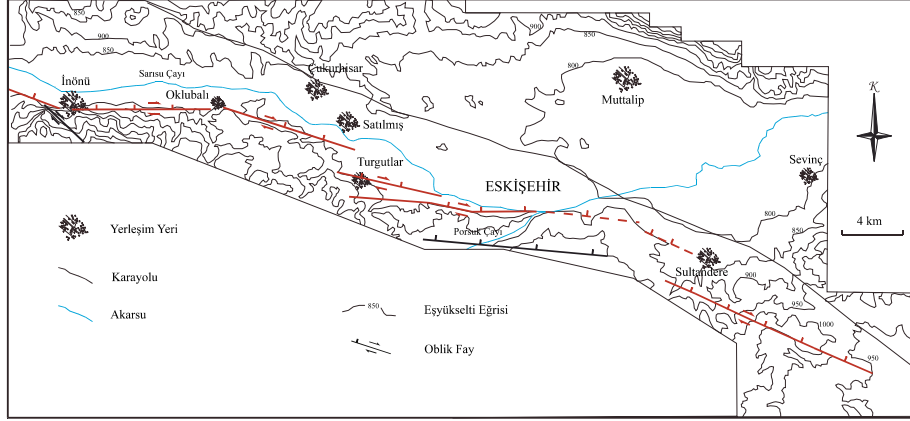
5.3. Yapısal Jeoloji

Eskişehir ve çevresi, Tetis Okyanusu Triyas sonunda kapanması (kuzeye dalan) neticesinde gelişen olayların neticeleri Sivrihisar'ın kuzeybatısında bulunan bölgelerde ekaylı yapılar ve bindirmeler oluşturmuştur (Tosun ve Orhan, 2007). Ancak Triyas sonunda oluşumunu tamamlamış bu ekaylı sistem, daha sonraki yapısal hareketlerden de etkilenmiştir. Triyas sonunda hâkim olan K-G istikametindeki sıkışmalar neticesi D-B yönlü fay sistemleri gelişmiştir. Üst Kretase veya sonrasında Sakarya vadisi ve batısında gelişen yine K-G yönlü sıkışmalar bölgeyi etkilemiş ve de özellikle Triyas, Jura, Üst Kretase birimlerinde doğrultu atımlı faylar gelişmiştir (Gözler ve ark. 1985). Bu tektonizmalar sonucu Eskişehir'de İnönü-Oklubalı-Turgutlar-Sultandere hattı boyunca ilerleyen "Eskişehir Fay Zonu (EFZ)" meydana gelmiştir. Bu fay zonu Sultandere ile İnönü arasında birbirini takip eden segmentler halinde devam etmektedir. Genel doğrultusu BKB-DGD olan EFZ, ayrıntılı incelendiğinde doğrultu D-B ile KB-

GD arasında değişir. EFZ, İnönü'nün batısında KB-GD; İnönü-Oklubalıarasında yaklaşık D-B; Oklubalı-Turgutlar-Eskişehir arasında BKB-DGD; Eskişehir'in güneyinde yaklaşık D-B ve Eskişehir-Sultandere arasında KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır (Altunel ve Barka, 1998).

EFZ'da İnönü-Çukurhisar segmenti ve Turgutlar-Eskişehir segmenti olmak üzere iki adet segment bulunur. İnönü-Çukurhisar segmenti; İnönü-Oklubalı arasında doğu batı doğrultulu uzanırken, Oklubalı-Turgutlar arasında BKB-DGD doğrultulu uzanmaktadır. Fay, İnönü'nün güneyinde iki kola ayrılmaktadır. K142° doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı güney kol Triyas yaşlı kireçtaşlarında yaklaşık dik bir yüzey oluşturur ve bu yüzeydeki fay çiziklerinin hemen hemen yatay olması bu kol üzerindeki hareketin sadece doğrultu boyunca olduğunu, yani hareketin normal bileşeninin olmadığını göstermektedir. Fay, Çukurhisar'ın güneyinde kuzeye eğimli yayvan bir topoğrafya sunan Miyosen birimlerinde 1 m ile 3 m arasında değişen topografik farklılıklar oluşturur (Altunel ve Barka 1998). BKB-DGD doğrultulu fay Turgutlar köyünün doğusundan Eskişehir'e varmadan kaybolur. Turgutlar Köyü'nün güneyinden BKB-DGD doğrultusunda başlayan başka bir segment Eskişehir civarında yaklaşık D-B doğrultusunda, Eskişehir ile Sultandere arasında KB-GD doğrultusunda uzanır. Bu fay, Turgutlar ile Porsuk Çayı'nın Eskişehir havzasına girdiği yere kadar Triyas yaşlı ofiyolitler (Gözder ve ark. 1985) ile Eskişehir havzasındaki sınırı oluşturur (Şekil 5.3) (Altunel ve Barka, 1998).

Ayrıca Eskişehir ve çevresi için bindirme fayları, normal faylar ve doğrultu atımlı faylar olmak üzere 3 türlü fay sisteminin bulunduğuna işaret edilmektedir (Gözler, 1996).

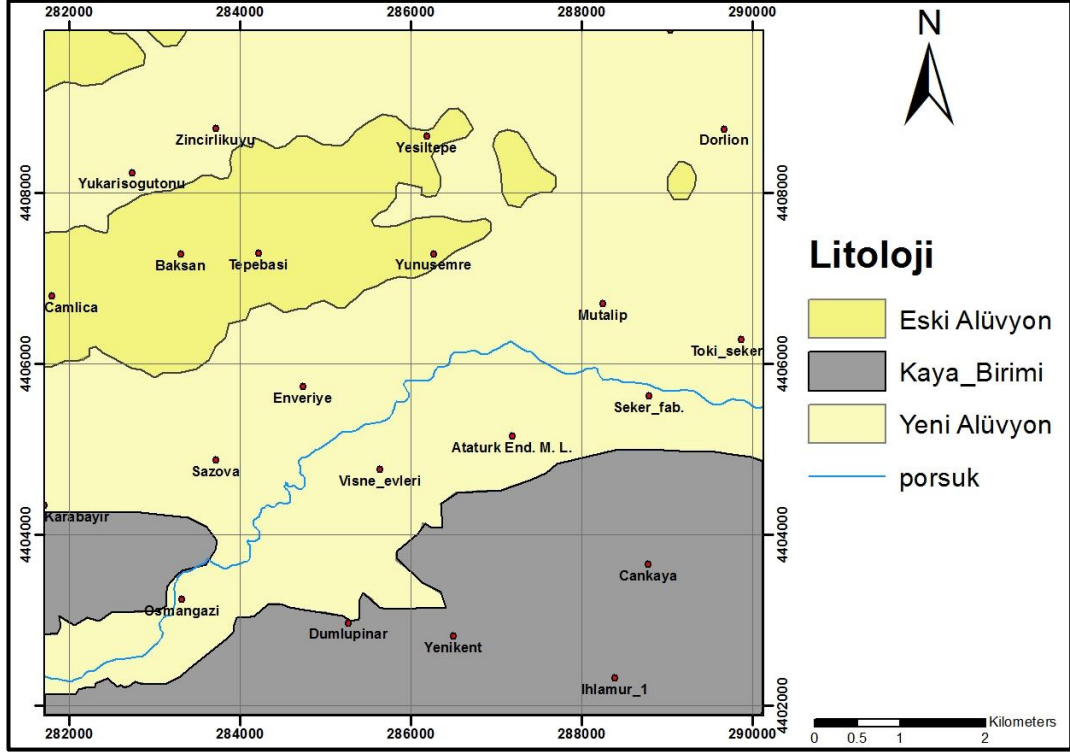


Şekil 5.3 Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası (Altunel ve Barka, 1998)

Daha önceden yapılmış olan Eskişehir ve çevresindeki tektonik çalışmalarda görülen bu tektonik yapıların varlığı, bölgenin deprem tehlikesi ile karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Bu sebeple tez kapsamında yapılan eski alüvyon ve yeni alüvyon sınırı içerisinde seçilen alanlarda yapılacak sismik yöntemler ile zeminin dinamik parametrelerinin belirlenmesi çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

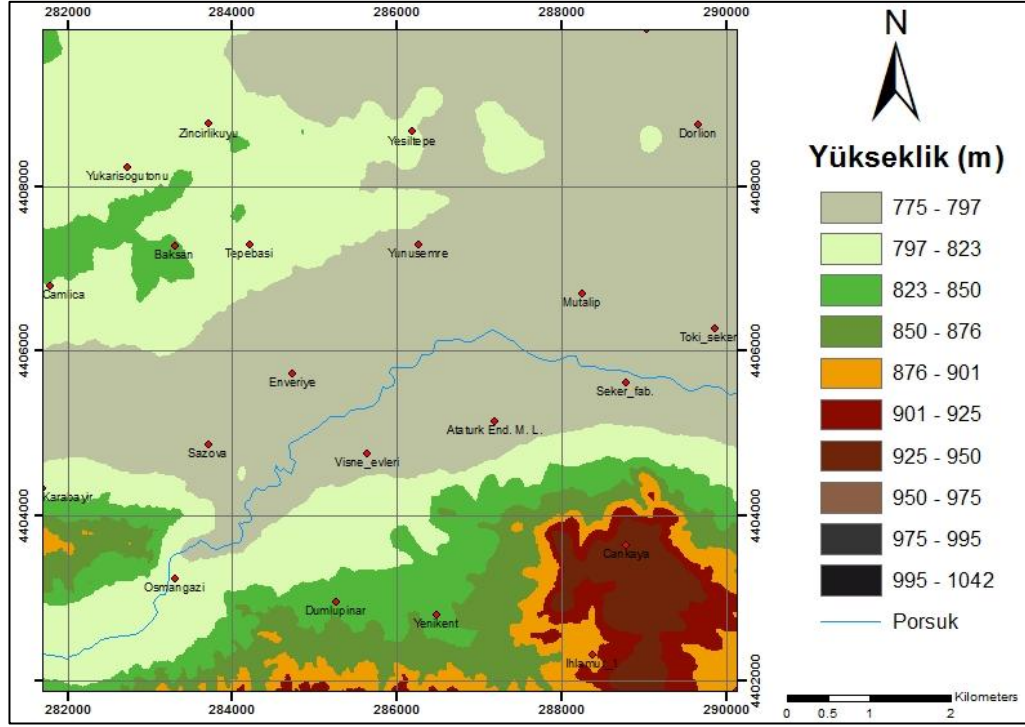
5.4. Sismik Arazi Çalışmalarının Yapılacağı Alanların Belirlenmesi

Sismik arazi çalışmalarının yapılacağı noktalar belirlenirken alanın jeolojisine ve yöntemin uygulanabilmesi için gerekli arazi şartlarına bakılmıştır. Çalışma alanının genelini akarsu çökellerinin oluşturduğu eski alüvyon ve yeni alüvyon birimleri oluşturmaktadır (Şekil 5.4).



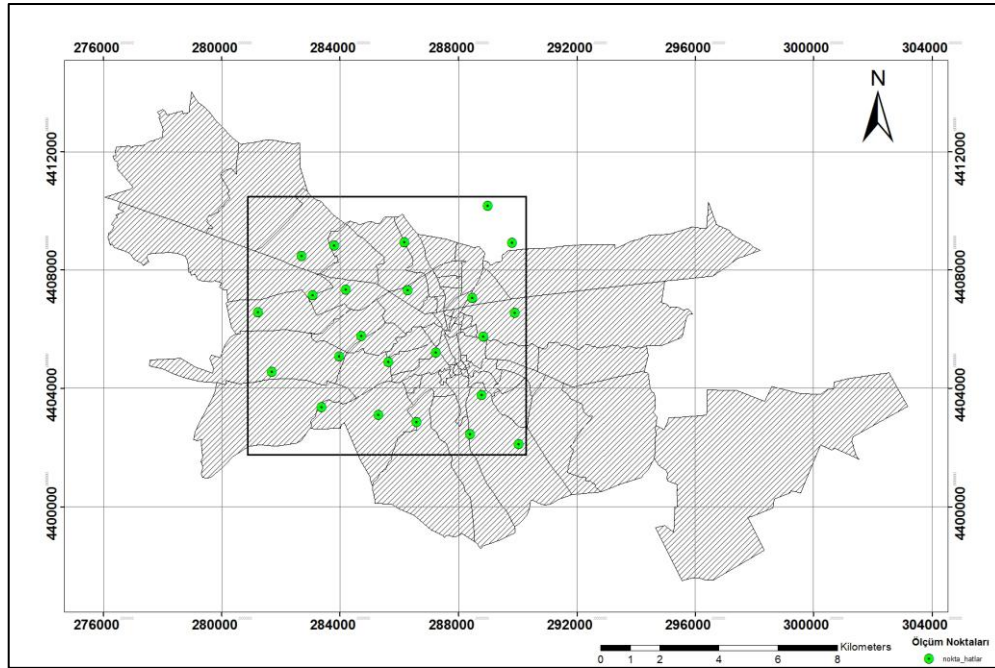
Şekil 5.4 Çalışma alanının litolojisi

Ölçüm noktaları, inceleme alanının morfolojik yapısı ve jeolojik birimlerin dağılımı göz önünde bulundurularak, hız ölçümleri, inceleme alanının genelini temsil edebilecek dağılımdaki lokasyonlarda yapılmıştır. Sismik kırılma yöntemi uygulanacak sahalar büyük açıklık için 426 m, küçük açıklık için ise 213 m den büyük araziler seçilmiş ve bu noktalar çalışma alanına eşit olarak dağıtılacak şekilde seçilmeye özen gösterilmiştir. Şekil 5.5’de çalışma alanına ait yükseklik haritası ve mikrotremör noktaları ve sismik hatların bulunduğu lokasyonlar gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli haritası ve sismik hat lokasyonları

Bu alanlar belirlenirken sismik kırılma ve mikrotremör yöntemlerinin uygulanabileceği ve Eskişehir yerleşim yerini kapsayan 23 adet ölçüm noktası seçilmiştir (Şekil 5.6).

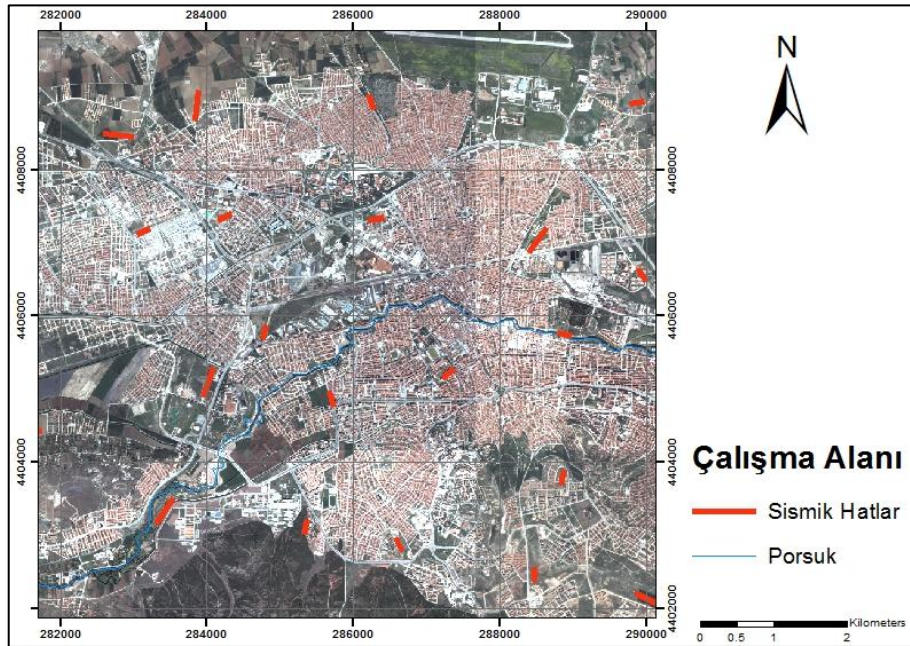


Şekil 5.6 Sismik ölçüm noktalarını gösteren harita

Sismik hatlar belirlendikten sonra sahada ölçümlere başlanmıştır. 23 adet ölçüm noktasından her birine bulunduğu yeri tanımlayan kodlar verilmiştir. Sismik çalışmaların yapıldığı lokasyonlar ve lokasyonların adları Şekil 5.7 ve Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Uygulanan sismik kırılma yönteminin özellikleri

Yer_Adi	Kanal_Sayısı	Jeofon_Araligi	Jeofon_Turu	Jeofon_Frekansı	Deney_Tarihi	Serim_Uzunlugu(m)
A_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	01.10.2011	213
B_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	22.09.2011	213
C_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	05.10.2011	426
C_2	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	20.09.2011	213
D_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	06.10.2011	213
D_2	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	27.09.2011	213
E_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	03.10.2011	213
I_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	29.09.2011	213
I_2	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	29.09.2011	426
I_3	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	14.10.2011	213
K_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	07.10.2011	213
M_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	01.11.2011	426
O_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	12.09.2011	426
S_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	15.09.2011	426
S_2	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	08.10.2011	213
T_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	19.09.2011	213
T_2	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	28.09.2011	213
V_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	27.09.2011	213
Y_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	21.09.2011	213
Y_2	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	06.10.2011	213
Y_3	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	03.10.2011	426
Y_4	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	14.09.2011	213
Z_1	48	degisken	P ve S	P=14 Hz S=14 Hz	13.09.2011	426

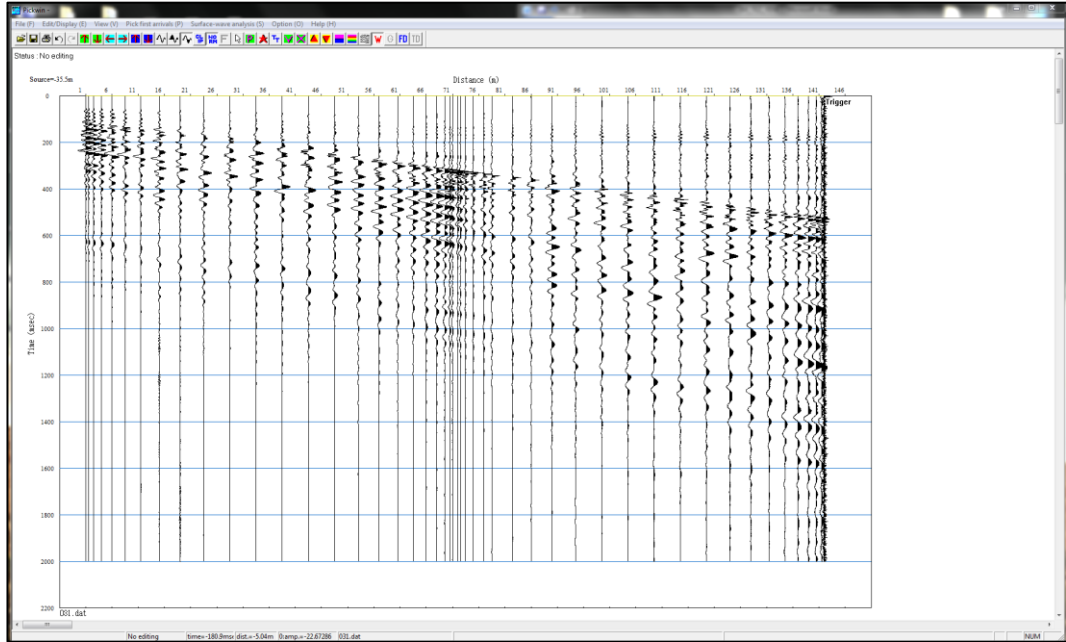


Şekil 5.7 Sismik çalışmaların yapıldığı lokasyonları gösteren harita

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLARI

6.1. Sismik Kırılma Yöntemi Verileri

Sismik kırılma yönteminden elde edilen veriler, SeisImager 2D yazılım paketi yardımıyla hız kesitleri çıkartılmıştır. Yazılım paketinin içinde 2 modül bulunmaktadır. Bunlar PICKWIN (dalga veri işlem amaçlı) ve PLOTREFA (kırılma analizi amaçlı) modülleridir. PICKWIN modülünün amacı sismik dalgaların ilk varış (first break) değerlerinin belirlenerek PLOTREFA modülüne seyahat zamanı giriş verisi oluşturmaktır (Şekil 6.1).

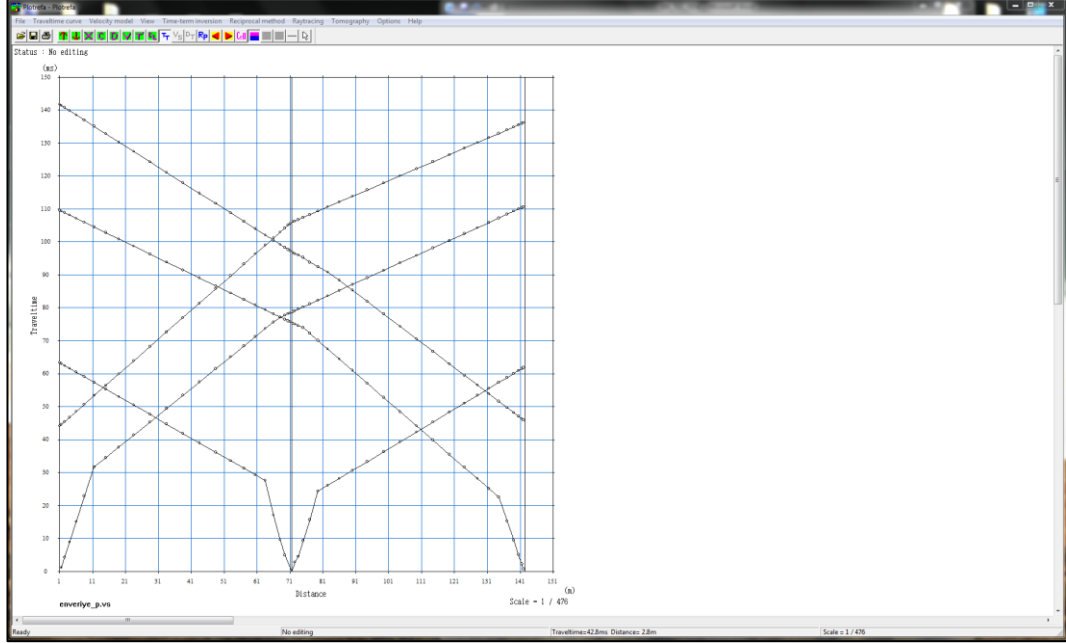


Şekil 6.1 Pickwin modülü görünümü (E_1 hattı uzak ofset kaydı)

Pickwin modülü, tüm işlemlerde veriye ait tüm izleri ekranda gösterir. Ölçüm noktalarımızın tamamında 5 atışlı serim düzeni uyguladığımızdan dolayı her kırılma hattında 5 adet P hızı verisi ve 5 adet S hızı verisi bulunmaktadır. Bu veriler 2 adet uzak ofset, 2 adet yakın ofset ve bir adet de orta atıştan oluşmaktadır.

Bir sismik hattın hız kesiti oluşturulurken, ilk olarak o noktanın P hızı verileri Pickwin modülünde açılmıştır. Daha sonra bu verilerden ilk varış (first

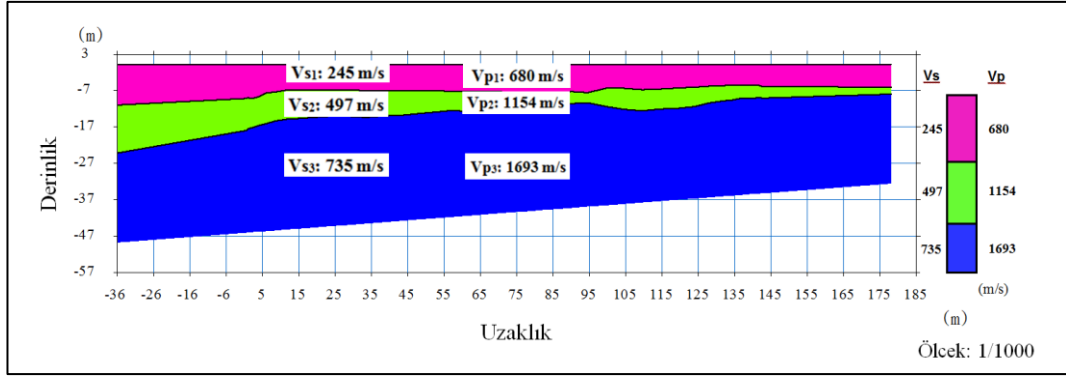
break) değerleri belirlenerek, Plotrefa modülüne seyahat zamanı giriş verisi oluşturulmuştur. Bu veri, Plotrefa modülünde açılmış ve 3 tabakalı çözümlene seçilmiştir. Ardından verilerin seyahat zamanlarını gösteren (Şekil 6.2) ekranda, hız değerlerinin değiştiği noktalar işaretlenmiştir.



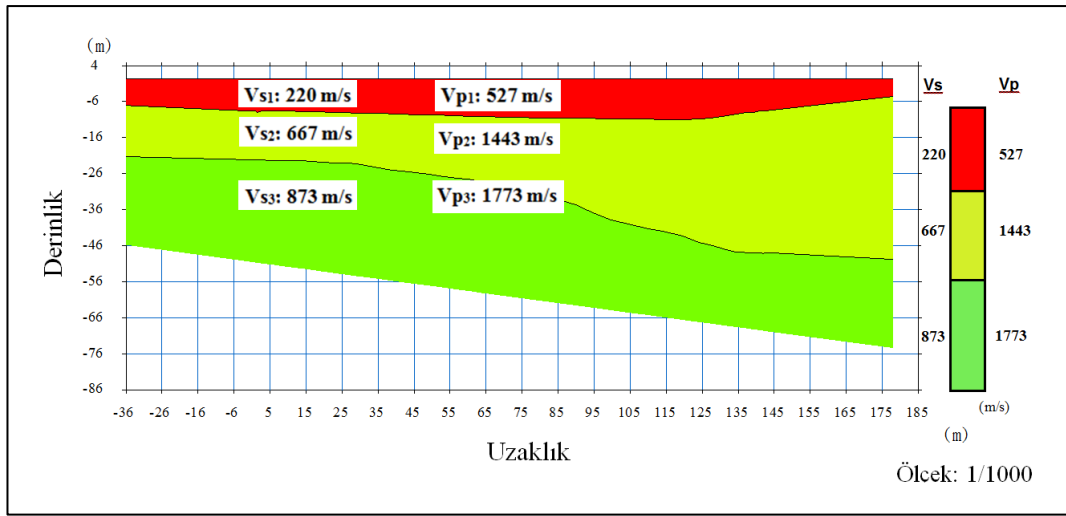
Şekil 6.2 Plotrefa modülü görünümü (Sismik kırılma verisi (P dalgası) uzaklık-geçiş zamanı grafiği)

Son olarak ise modeli oluştur seçeneği kullanılarak, hız kesiti elde edilmiştir.

Sismik kırılma yöntemi verilerinin işlenmesiyle elde edilen hız kesitleri, bazı örnek noktalar için Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’ de görülmektedir. Bu kesitler, P hızı verilerinin 3 tabakalı modele göre çözümünden elde edilmiştir. Çözümlenelerin 3 tabakalı olarak yapılmasının sebebi ise ölçülen değerlerin karakteristiği bu modeli desteklediği görülmüş ve buna göre kesitler oluşturulmuştur. Her bir tabakanın S hızı ise hız ölçüm aracı (Linear Velocity Line) ile ölçülmüştür. Sismik kırılma çalışmasının yapıldığı 23 farklı loksayonun hız kesitleri Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 6.3 E_1 Sismik kırılma hattı hız kesiti



Şekil 6.4 S_1 Sismik kırılma hattı hız kesiti

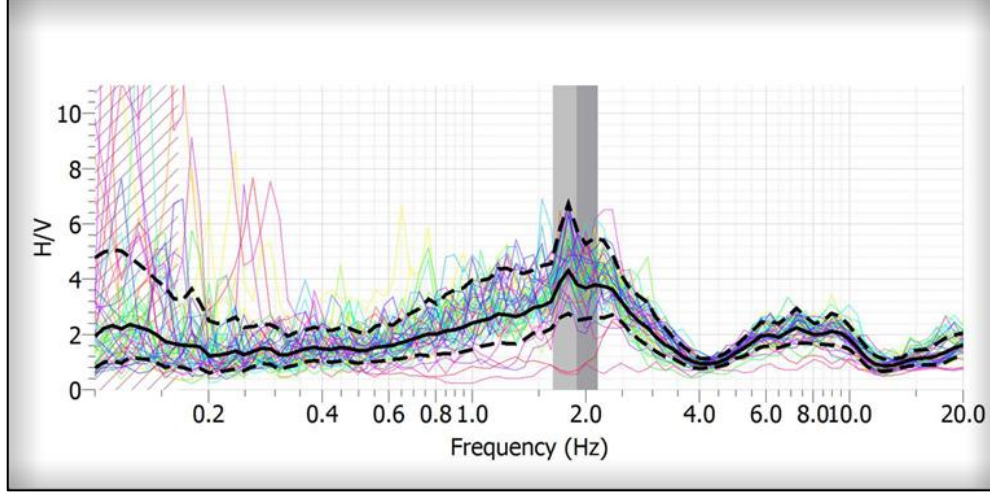
6.2. Mikrotremör Verileri

Tez çalışmasının bu bölümünde mikrotremör ölçüm verileri yer almaktadır. Mikrotremör yöntemi arazi uygulamaları seçilen 23 noktada uygulanmıştır. Seçilen yerlerin koordinatları alınmış ve arazi aşamasında nokta yerlerini tespit etmek için GPS cihazı kullanılmıştır. Çizelge 6.1'de bu verilerin her bir noktası için hangi cihaz ile ölçüm alındığı, ölçüm zamanı ve elde edilen hakim frekans değerleri verilmiştir. Ayrıca örnek iki noktadan alınan kayıtlar (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6) görülmektedir. 23 noktada mikrotremör ölçümünden elde edilen H/V-frekans grafiklerinin tamamı Ek 2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Mikrotremör kayıtları

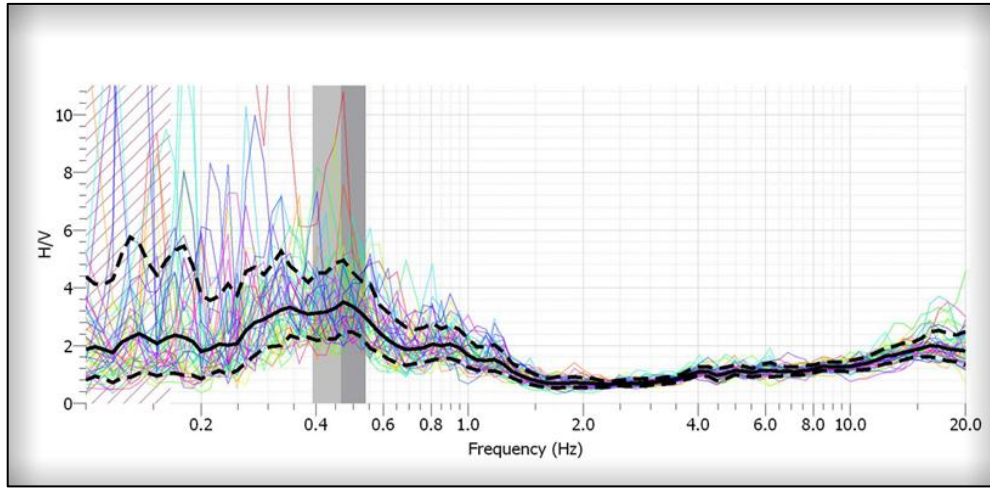
Yer Kodu	Cihaz Türü	Zaman	Hakim Frekans
A_1	Güralp CMG 6TD	18.10.2011-00:15	1.9
B_1	Güralp CMG 6TD	26.11.2011-10:45	0.46
C_1	Güralp CMG 6TD	21.10.2011-15:55	0.57
C_2	Güralp CMG 6TD	24.10.2011-16:40	11
D_1	Güralp CMG 6TD	23.10.2010-14:20	0.56
D_2	Güralp CMG 6TD	31.10.2011-17:40	5.5
E_1	Güralp CMG 6TD	30.11.2011-9:50	0.8
I_1	Güralp CMG 6TD	06.11.2011-18:45	6.75
I_2	Güralp CMG 6TD	03.12.2011-11:00	5.5
I_3	Güralp CMG 6TD	23.10.2011-13:40	0.71
K_1	Güralp CMG 6TD	02.12.2011-16:20	1.4
M_1	Güralp CMG 6TD	11.11.2011-15:35	0.87
O_1	Güralp CMG 6TD	13.11.2011-13:15	3.5
S_1	Güralp CMG 6TD	03.12.2011-14:35	1
S_2	Güralp CMG 6TD	12.11.2011-16:20	0.65
T_1	Güralp CMG 6TD	26.11.2011-14:05	0.39
T_2	Güralp CMG 6TD	10.11.2011-10:45	0.93
V_1	Güralp CMG 6TD	06.11.2011-16:35	4
Y_1	Güralp CMG 6TD	31.10.2011-12:00	5.2
Y_2	Güralp CMG 6TD	23.11.2011-12:55	0.5
Y_3	Güralp CMG 6TD	02.12.2011-09:55	0.5
Y_4	Güralp CMG 6TD	17.10.2011-12:30	0.47
Z_1	Güralp CMG 6TD	22.11.2011-15:50	0.55

Çalışma alanın merkezinde bulunan A_1 noktası UTM koordinatlar olarak 287192 - 4405145 değerlerinde yer almaktadır. Mikrotremör kayıtlarının değerlendirilmesi ile zemin hakim titreşim periyodu 1.9 olarak bulunmuştur (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 A_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı

Bölgenin kuzeybatısında UTM koordinatlar olarak 283303 - 4407280 noktasında bulunan B_1 ölçüm yerinde yapılan mikrotremör kaydının değerlendirmesi sonucunda, zemin hakim titreşim periyodu 0.46 olarak ölçülmüştür (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 B_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı

6.3. Hesaplanan Zemin Parametreleri

P ve S sismik dalgalarının hız değerleri (Çizelge 6.2) belirlendikten sonra, bu değerlere bağlı zemin özellikleri tespit edilmiştir. Hız değerleri ile ilgili 4.1.3. bölümünde verilen eşitlikler kullanılarak sismik ölçümü yapılan lokasyonların dinamik elastik özellikleri ve zemin sınıflamaları Çizelge 6.3, Çizelge 6.4, Çizelge 6.5, Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de gösterildiği gibi verilmiştir.

Çizelge 6.2 Sismik kırılma yönteminden elde edilen sismik hızlar

Yer_Kodu	Kayma Dalgası Hızı(m/s)			Sıkışma Dalgası Hızı(m/s)		
	V _{s1}	V _{s2}	V _{s3}	V _{p1}	V _{p2}	V _{p3}
A_1	143	308	556	303	743	1381
B_1	230	700	825	477	1259	1338
C_1	340	438	753	805	978	1493
C_2	341	553	896	746	1009	1360
D_1	214	447	595	632	1122	1312
D_2	276	632	953	619	1125	1628
E_1	245	497	735	680	1154	1693
I_1	419	723	1226	780	1282	1976
I_2	481	1020	1097	1018	1812	1983
I_3	172	445	576	483	1555	1777
K_1	168	384	686	394	835	1480
M_1	237	434	576	609	1036	1238
O_1	352	756	1220	980	2204	3070
S_1	220	667	873	527	1443	1773
S_2	148	515	775	429	1684	2449
T_1	347	481	748	729	783	1135
T_2	212	483	834	526	1127	1516
V_1	243	578	645	623	1427	1529
Y_1	276	627	1073	584	1081	1786
Y_2	349	591	1011	663	1085	1627
Y_3	238	622	1193	531	1153	2150
Y_4	243	626	971	642	1412	1945
Z_1	289	679	952	553	1250	1625

Çizelge 6.3 V_p/V_s hız oranı ve bu hız oranına göre zemin sıklığı sınıflaması

Yer_Kodu	Hız Oranı			Vp/Vs Hız Oranına Göre Sınıflama		
	V_{p1}/V_{s1}	V_{p2}/V_{s2}	V_{p3}/V_{s3}	1.tabaka	2.tabaka	3.tabaka
A_1	2.12	2.41	2.48	Gevşek	Gevşek	Gevşek
B_1	2.07	1.80	1.62	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
C_1	2.37	2.23	1.98	Gevşek	Gevşek	Gevşek
C_2	2.19	1.82	1.52	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
D_1	2.95	2.51	2.21	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Gevşek
D_2	2.24	1.78	1.71	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
E_1	2.78	2.32	2.30	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
I_1	1.86	1.77	1.61	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı	Katı
I_2	2.12	1.78	1.81	Gevşek	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı
I_3	2.81	3.49	3.09	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
K_1	2.35	2.17	2.16	Gevşek	Gevşek	Gevşek
M_1	2.57	2.39	2.15	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
O_1	2.78	2.92	2.52	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
S_1	2.40	2.16	2.03	Gevşek	Gevşek	Gevşek
S_2	2.90	3.27	3.16	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
T_1	2.10	1.63	1.52	Gevşek	Katı	Katı
T_2	2.48	2.33	1.82	Gevşek	Gevşek	Sıvı-Katı
V_1	2.56	2.47	2.37	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
Y_1	2.12	1.72	1.66	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
Y_2	1.90	1.84	1.61	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
Y_3	2.23	1.85	1.80	Gevşek	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı
Y_4	2.64	2.26	2.00	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
Z_1	1.91	1.84	1.71	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı

Çizelge 6.4 P-Poisson oranı ve poisson oranına göre zemin sıklığı sınıflaması

Yer_Kodu	P-Poisson Oranı			Poisson Oranına Göre Sınıflama		
	P-1	P-2	P-3	1.tabaka	2.tabaka	3.tabaka
A_1	0.36	0.40	0.40	Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
B_1	0.35	0.28	0.19	Gevşek	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı
C_1	0.39	0.37	0.33	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
C_2	0.37	0.29	0.12	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
D_1	0.44	0.41	0.37	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Gevşek
D_2	0.38	0.27	0.24	Gevşek	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı
E_1	0.43	0.39	0.38	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
I_1	0.30	0.27	0.19	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
I_2	0.36	0.27	0.28	Gevşek	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı
I_3	0.43	0.46	0.44	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
K_1	0.39	0.37	0.36	Gevşek	Gevşek	Gevşek
M_1	0.41	0.39	0.36	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Gevşek
O_1	0.43	0.43	0.41	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
S_1	0.39	0.36	0.34	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
S_2	0.43	0.45	0.44	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
T_1	0.35	0.20	0.12	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
T_2	0.40	0.39	0.28	Çok Gevşek	Gevşek	Sıvı-Katı
V_1	0.41	0.40	0.39	Çok Gevşek	Çok Gevşek	Çok Gevşek
Y_1	0.36	0.25	0.22	Gevşek	Sıvı-Katı	Sıvı-Katı
Y_2	0.31	0.29	0.19	Gevşek	Sıvı-Katı	Katı
Y_3	0.37	0.29	0.28	Gevşek	Gevşek	Sıvı-Katı
Y_4	0.42	0.38	0.33	Çok Gevşek	Gevşek	Gevşek
Z_1	0.31	0.29	0.24	Gevşek	Gevşek	Sıvı-Katı

Çizelge 6.5 Elastisite (Young) modülü ve elastisite modülüne göre zemin durumu

Yer_Kodu	E-Young Modülü(kPa)			Elastisite Modülüne Göre Sınıflama		
	E-1	E-2	E-3	1.tabaka	2.tabaka	3.tabaka
A_1	718	4288	16396	Gevşek	Orta Sağlam	Sağlam
B_1	2067	23096	30456	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
C_1	5312	9143	29051	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Sağlam
C_2	5154	13735	33749	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
D_1	2043	10078	18105	Orta Sağlam	Sağlam	Sağlam
D_2	3241	18206	44329	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
E_1	2709	12373	29732	Orta Sağlam	Sağlam	Sağlam
I_1	7462	24567	73755	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
I_2	10989	53367	63706	Sağlam	Çok Sağlam	Çok Sağlam
I_3	1227	11221	19249	Gevşek	Sağlam	Sağlam
K_1	1083	6713	24669	Gevşek	Orta Sağlam	Sağlam
M_1	2441	9233	16617	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Sağlam
O_1	6129	34800	96595	Orta Sağlam	Çok Sağlam	Çok Sağlam
S_1	2005	23191	41086	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
S_2	885	15258	37837	Gevşek	Sağlam	Çok Sağlam
T_1	5250	9082	22472	Orta Sağlam	Orta Sağlam	Sağlam
T_2	1872	11628	34524	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
V_1	2579	17847	22448	Orta Sağlam	Sağlam	Sağlam
Y_1	3149	17421	56502	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Y_2	5014	16021	47714	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Y_3	2317	18098	76765	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Y_4	2610	20519	51787	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Z_1	3295	21938	44193	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam

Çizelge 6.6 G-Kayma(Shear) modülü(kg/cm) ve kayma modülüne göre zemin sınıflaması

Yer_Kodu	G-Kayma(Shear) Modülü(kg/cm ²)			Kayma Modülüne Göre Sınıflama		
	G-1	G-2	G-3	1.tabaka	2.tabaka	3.tabaka
A_1	264	1535	5842	Gevşek	Orta Sağlam	Sağlam
B_1	766	9048	12761	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
C_1	1909	3326	10926	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
C_2	1884	5343	15113	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
D_1	712	3585	6605	Orta Sağlam	Sağlam	Sağlam
D_2	1178	7171	17884	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
E_1	950	4463	10742	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
I_1	2876	9696	31066	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
I_2	4051	21043	24895	Sağlam	Çok Sağlam	Çok Sağlam
I_3	430	3855	6678	Gevşek	Sağlam	Sağlam
K_1	390	2457	9048	Gevşek	Orta Sağlam	Sağlam
M_1	865	3313	6101	Orta Sağlam	Sağlam	Sağlam
O_1	2149	12140	34345	Orta Sağlam	Çok Sağlam	Çok Sağlam
S_1	719	8500	15331	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
S_2	309	5267	13098	Gevşek	Sağlam	Çok Sağlam
T_1	1940	3794	10067	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
T_2	667	4190	13455	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
V_1	915	6365	8065	Orta Sağlam	Sağlam	Sağlam
Y_1	1161	6988	23202	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Y_2	1916	6214	20124	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Y_3	843	6989	30044	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Y_4	921	7447	19410	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam
Z_1	1256	8498	17838	Orta Sağlam	Sağlam	Çok Sağlam

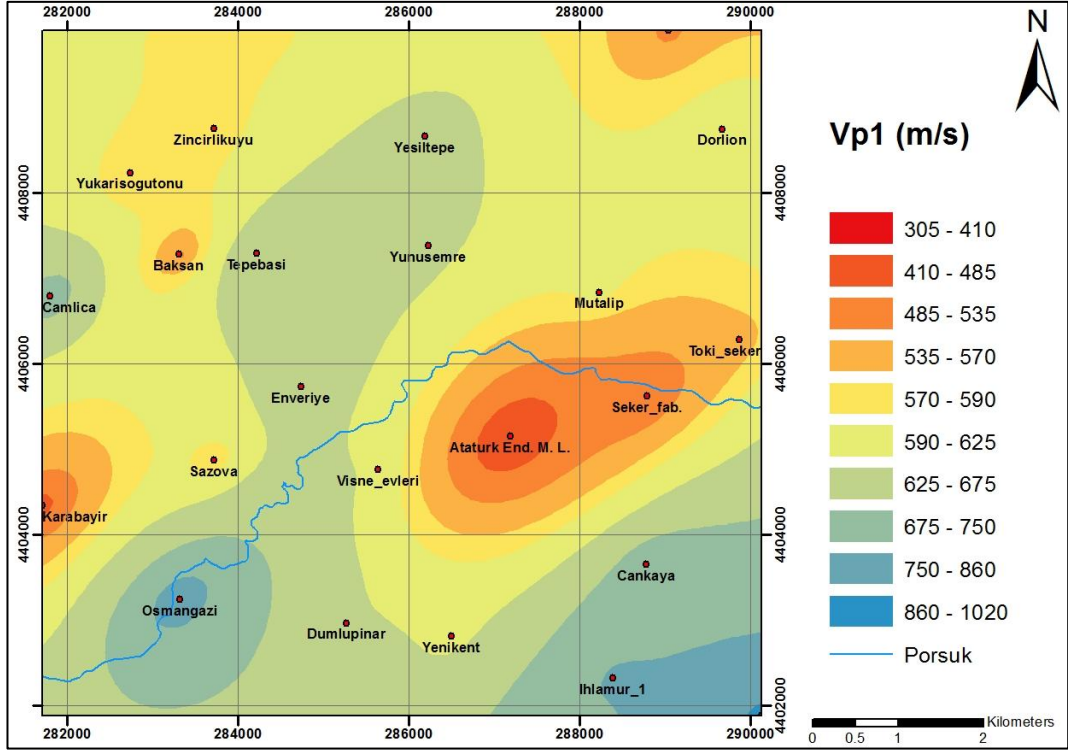
Çizelge 6.7 Tabakaların bulk modülü(kg/cm³) değerleri

Yer_Kodu	K-Bulk Modülü(kg/cm ³)		
	K-1	K-2	K-3
A_1	835	6888	28252
B_1	2274	17205	16550
C_1	8155	12147	28385
C_2	6504	10664	14668
D_1	5259	17806	23309
D_2	4354	13161	28344
E_1	6053	18111	42672
I_1	6132	17558	39280
I_2	12745	38351	48153
I_3	2817	41931	54653
K_1	1624	8342	30052
M_1	4558	14460	20048
O_1	13792	86992	171688
S_1	3167	28451	42794
S_2	2184	49293	113329
T_1	5974	4995	9756
T_2	3218	17226	26517
V_1	4792	30311	34566
Y_1	3650	11454	33346
Y_2	4360	12659	25286
Y_3	3072	14696	57519
Y_4	5203	27958	52001
Z_1	2923	17470	28189

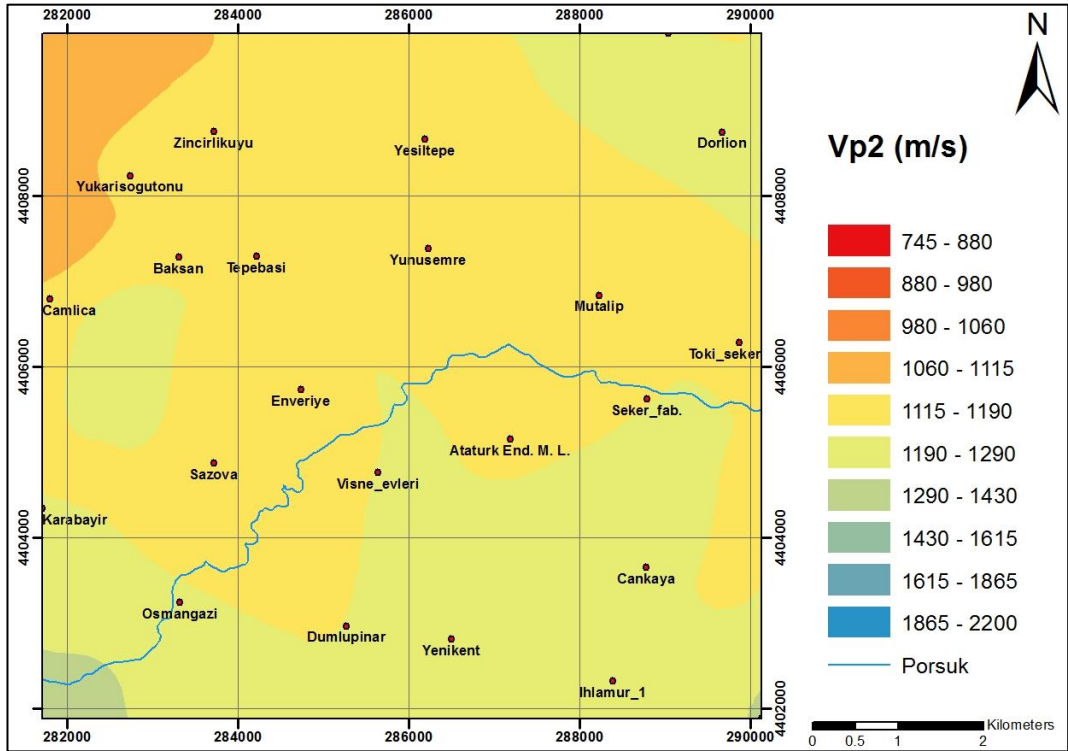
6.4. Elde Edilen Verilerin Haritalanması

Bu bölümde sismik kırılma ve mikrotremör yöntemlerinden elde edilen verilerin haritaları oluşturulmuştur. Sismik kesitlerin 3 tabaka için ölçülen S ve P dalga hızları ayrı ayrı haritalanmıştır. 23 ölçüm noktasının P dalgası hızı değerleri Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da ayrı ayrı 3 tabaka için hızların alansal değişimleri modellenmiştir. Haritalar, Kriging yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Yöntemde regresyon katsayısı değerleri 0.35 ile 0.8 arasında değişmektedir.

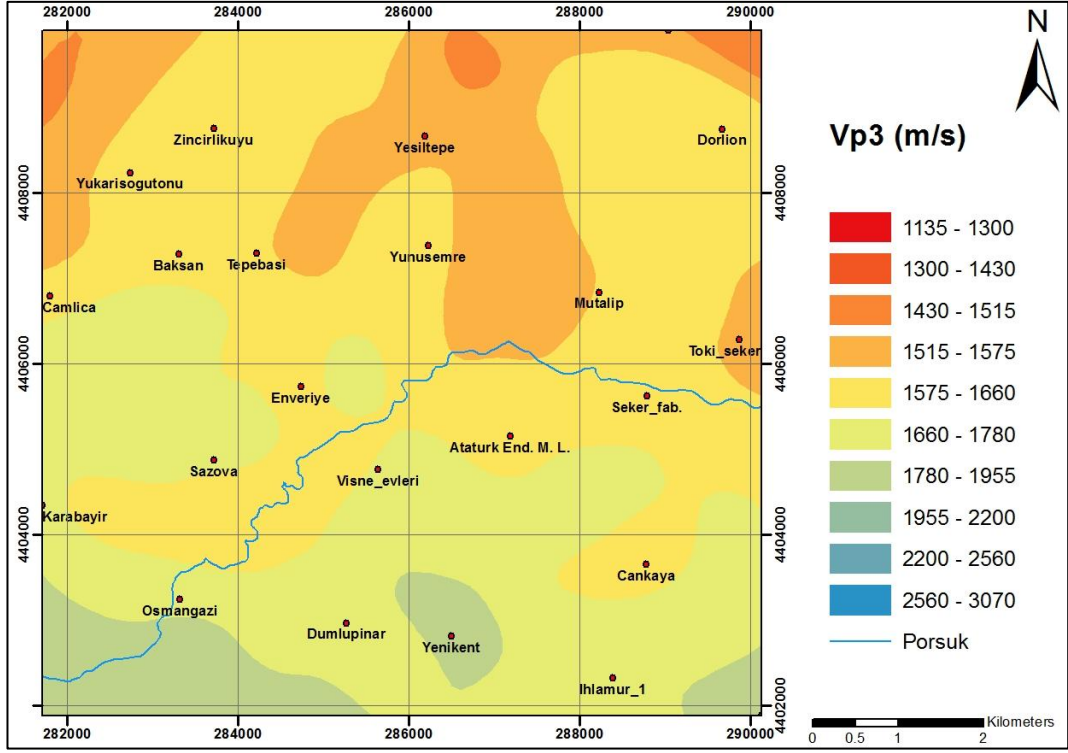
1. tabaka için P dalgası hız haritası incelendiğinde, Atatürk End. Mes. Lisesi ve çevresinin düşük hızlı olduğu, alüvyondan kayalık birimlere doğru gidildikçe hızların arttığı, eski alüvyon biriminde alınan ölçümlerin yeni alüvyona oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir. 2. Tabaka da ise, bu değişimler daha normalleşmektedir. 3. Tabakada, ise yüksek hızlı seviyelerin yine kayalık birimlere doğru arttığı gözlemlenmiştir. Zeminlerin sınıflanmasında önemli bir parametre olan S dalgası hızı değerleri de Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de görüldüğü gibi ayrı ayrı 3 tabaka için hız değişimleri haritalanmıştır. Haritalar incelendiğinde, 1. tabaka için p dalgasının alansal değişimine benzer bir karakteristik göstermektedir. Porsuk çayının getirdiği çökellerin oluşturduğu yeni alüvyon birimi üzerinde özellikle Köprübaşı bölgesinde düşük hızlı seviyeler gözlemlenmektedir. 2. ve 3. tabakalarda 1. tabaka ile oldukça benzer oranda bir değişim göstermektedir. 3. Tabakanın S dalgası hızları, topoğrafyanın yükseldiği güney ve kuzey kesimlerde yüksek değerler almıştır.



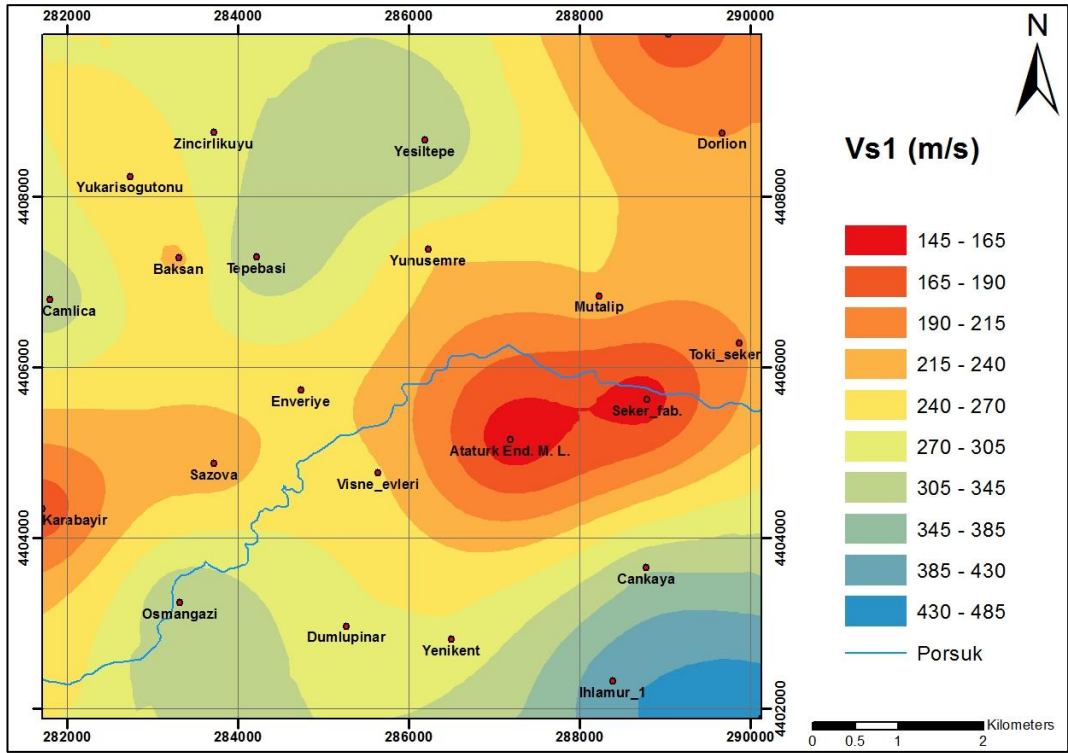
Şekil 6.7 1. Tabaka için P dalgası hızı haritası



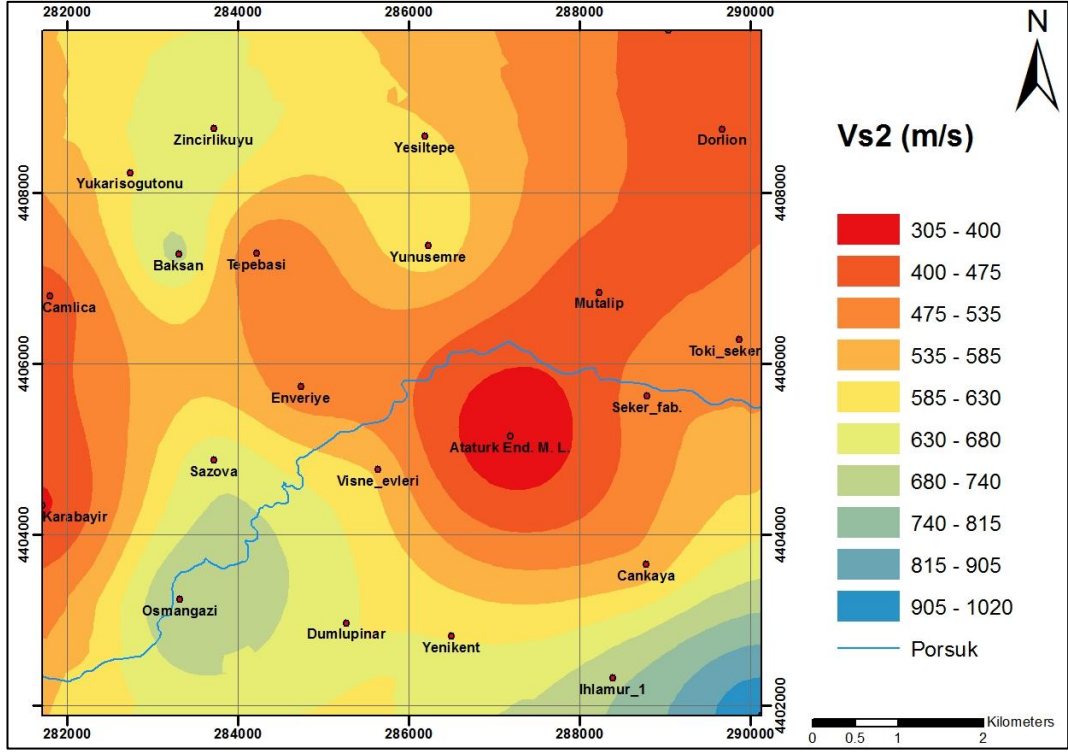
Şekil 6.8 2. Tabaka için P dalgası hızı haritası



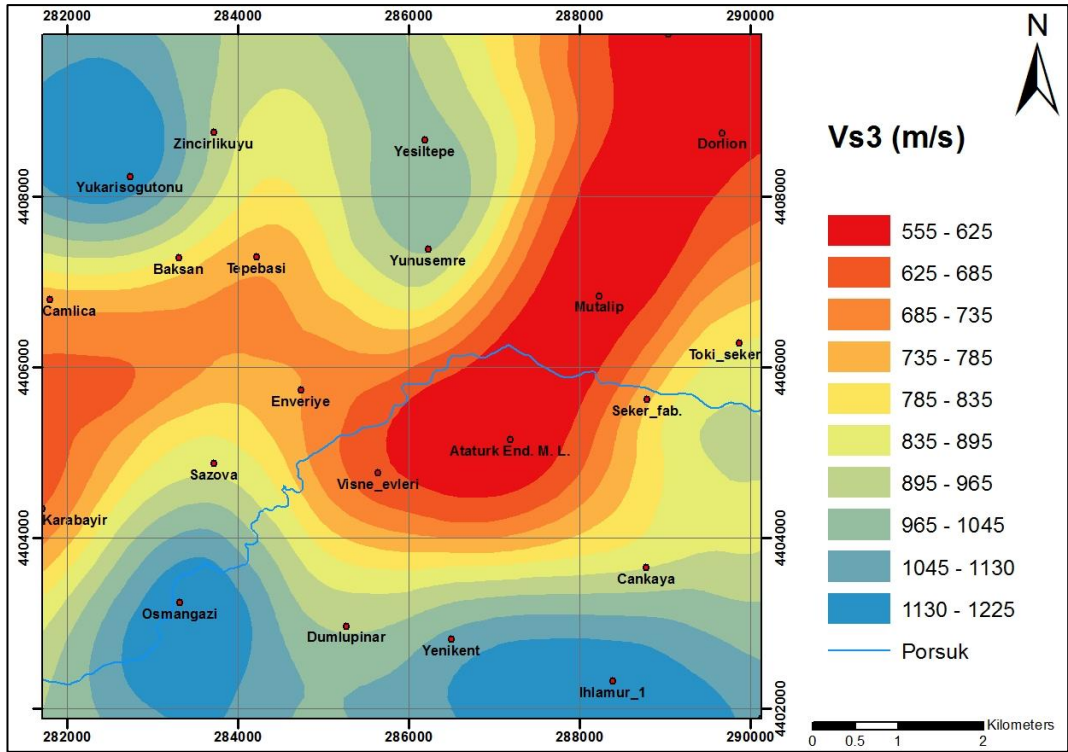
Şekil 6.9 3. Tabaka için P dalgası hızı haritası



Şekil 6.10 1. Tabaka için S dalgası hızı haritası

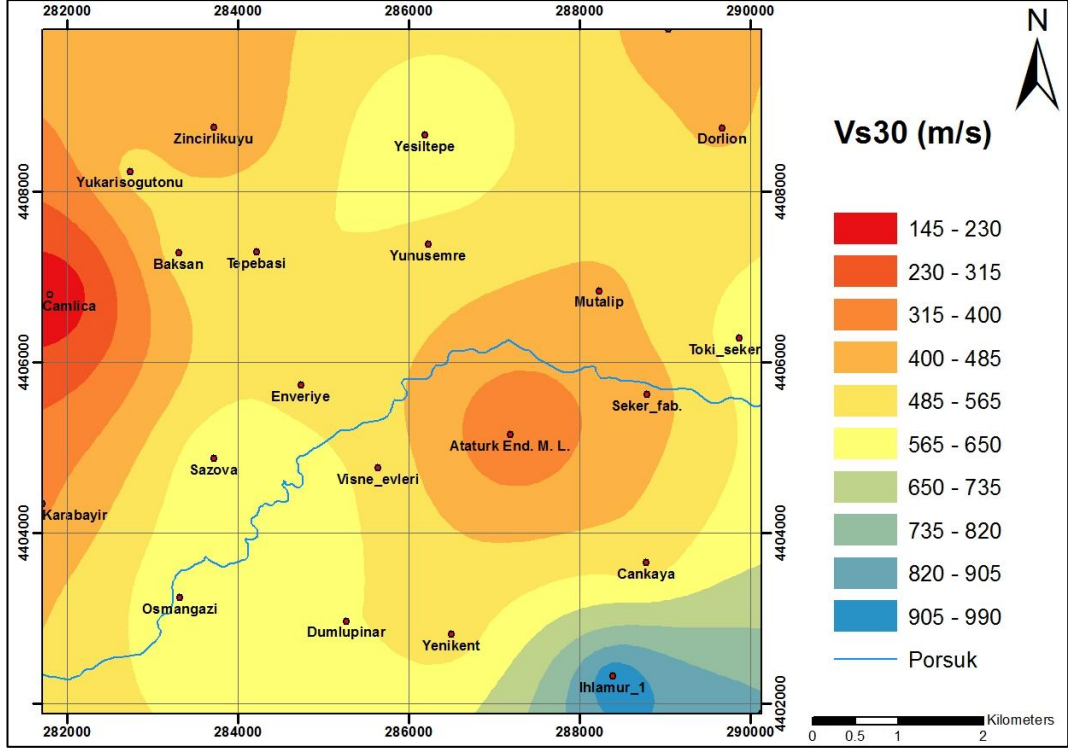


Şekil 6.11 2. Tabaka için S dalgası hızı haritası



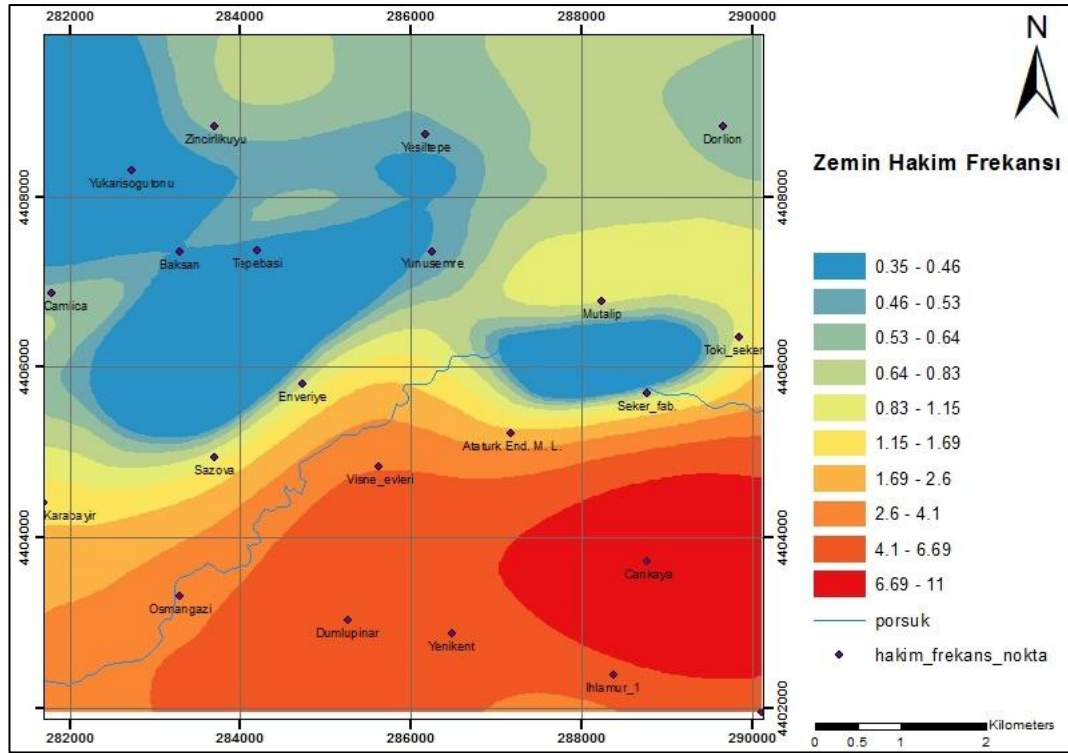
Şekil 6.12 3. Tabaka için S dalgası hızı haritası

Alüvyal zemin koşullarının belirlenmesi ve zeminin tepki karakteristiklerinin belirlenmesinde anahtar bir parametre olan ilk 30 metrenin ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) değerleri, çalışma alanının 23 noktası için belirlenmiştir. Zeminlerin en önemli dinamik özelliklerinden biri olan V_{s30} hızı CBS ortamında haritalanmıştır (Şekil 6.13).

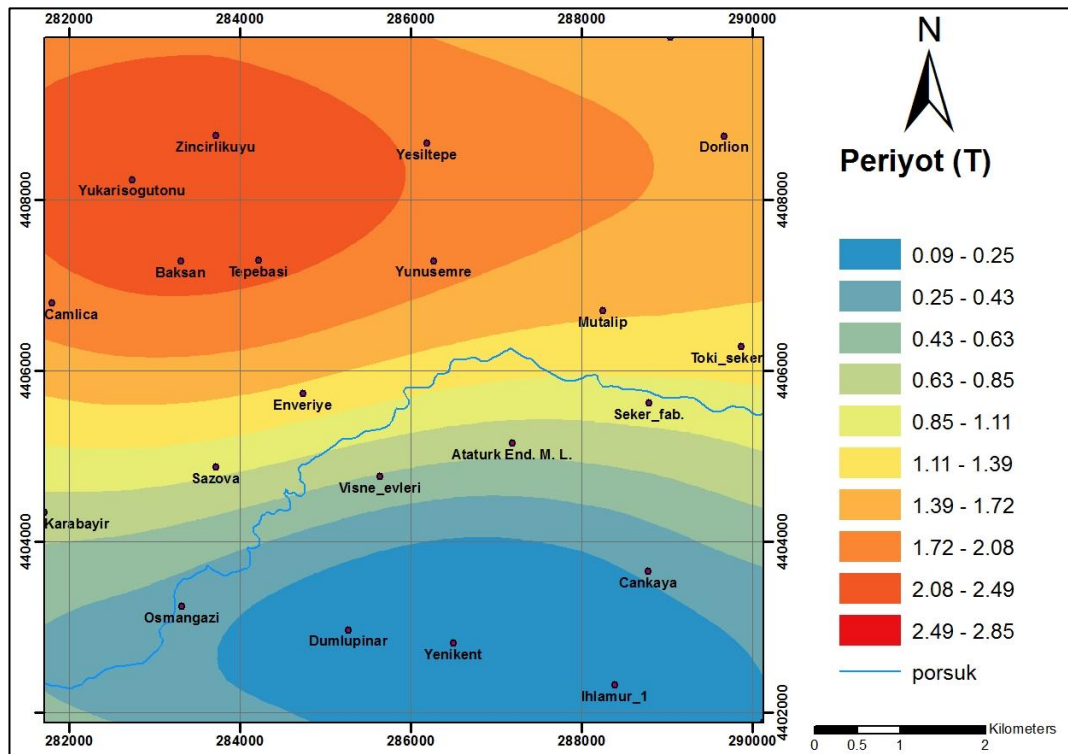


Şekil 6.13 İlk 30 metre için ortalama S dalgası hızı haritası

Eskişehir yerleşim yeri, çoğunlukla genç ve yaşlı alüvyon birimler üzerinde yer aldığından, rezonans yaratabilecek periyot değerleri, zemin büyütme çalışmaları için, gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla çalışma alanında 23 farklı noktadan alınan mikrotremör ölçümlerinin hakim frekansları ve hakim periyotları belirlenmiştir. CBS teknikleri kullanılarak iki boyutta alansal değişim analizi yapılmıştır. Bu analiz için modelleme fonksiyonu olarak Kriging yöntemi kullanılmıştır. (Şekil 6.14 ve Şekil 6.15). Hakim frekans ve hakim periyot haritalarının regreasyon katsayıları sırasıyla 0.81 ve 0.98 olduğu görülmüştür. Ayrıca hakim frekans değerinin güney-kuzey doğrultusunda kuvvetli azalma eğiliminde, doğu-batı doğrultusunda ise batıya doğru azalım eğiliminde olduğu da net bir şekilde görülmektedir.



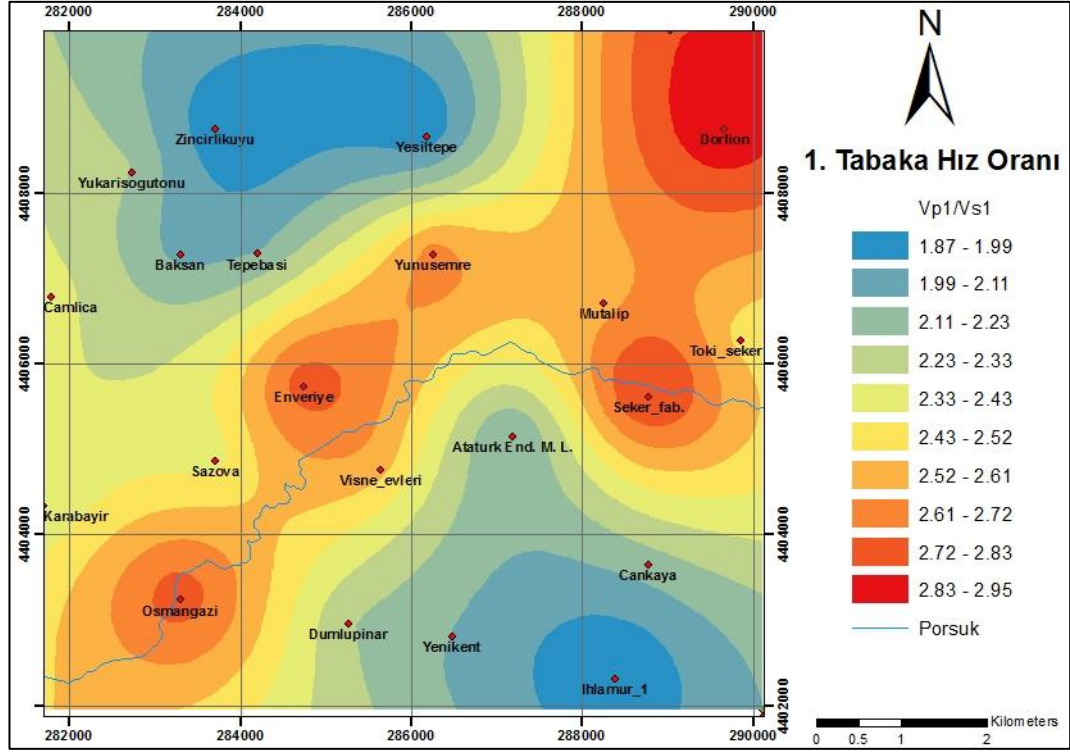
Şekil 6.14 Zemin hakim frekansı haritası.



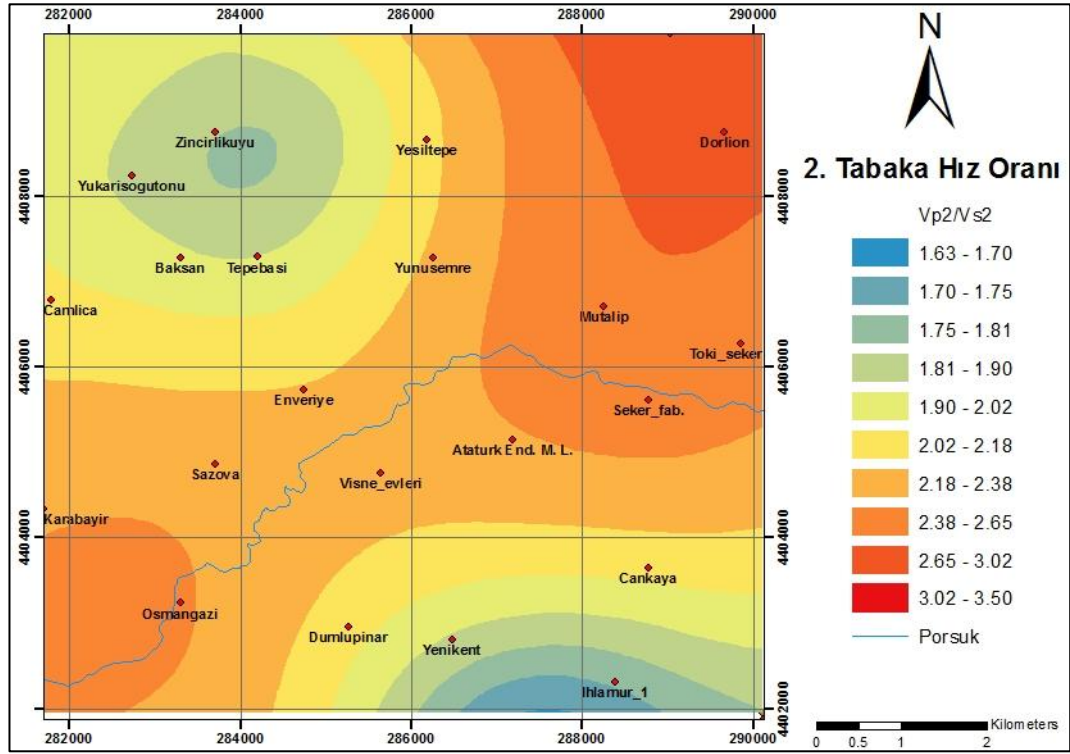
Şekil 6.15 Zemin hakim periyodu haritası.

Depremler sırasında zemin koşullarının yer hareketleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için zeminlerin dinamik elastik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Zeminlerin elastik parametreleri (poisson oranı, elastisite modülü, kayma modülü ve bulk modülü) sismik hızlar yardımıyla hesaplanmış ve alansal değişimleri tabaka tabaka haritalanmıştır. Bu sayede zemin durumu, zemin sıklığı ve suya dolgunluk vb. gibi zemin özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Oluşturulan haritalarda, alüvyon birimi üzerinde zemin durumu gevşek ve zemin sıklığı düşük, kuzey ve güneye doğru yani kayalık birimlere yaklaşıırken zemin durumunun sağlam olduğu ve zemin sıklığının yükseldiği görülmektedir. Ayrıca Porsuk çayı boyunca, zemin sıklığının düşük olduğu göze çarpmaktadır. Haritalar, Kriging yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir parametre 3 tabaka için ayrı ayrı haritalanmıştır.

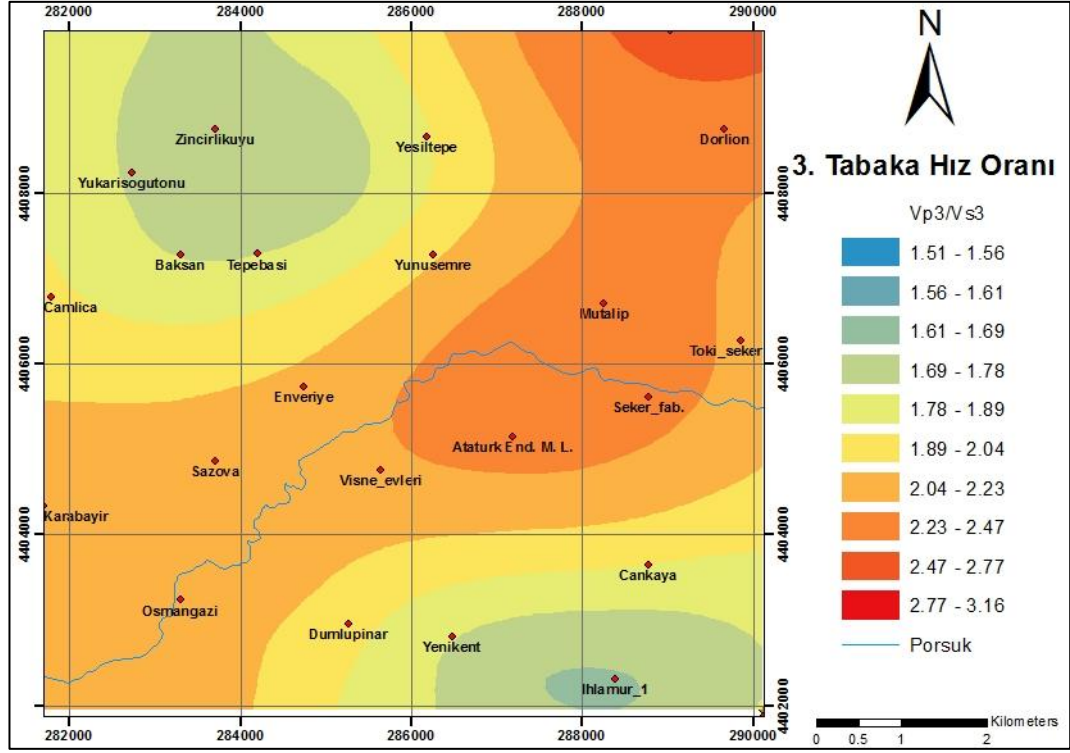
Poisson oranı, yumuşak ve suya doygun zeminlerde yüksek, sert zeminlerde ise düşük değer aldığından dolayı, alüvyon biriminin olduğu yerlerde bu oranın yüksek olduğu, kayalık birimlere doğru ise oranın azaldığı haritalarda görülmektedir (Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21). Poisson oranı, sismik dalda hızlarının oranına bağlıdır, bu oran artıça poisson oranıda artar. Bu sebeple hız oranı haritaları Poisson oranı haritalarıyla benzerlik göstermektedir (Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18). Zeminin sağlamlığını ve katılığını gösteren elastisite modülü, S ve P sismik dalga hızlarına bağlı olduğundan bu hız değerlerinin yüksek olduğu yerlerde elastisite modülü değerleri de büyük çıkmaktadır (Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24). Zeminlerin sıkışmaya karşı direncini gösteren kayma modülü ise sismik hızların düşük ve yumuşak zeminlerde küçük değerler alırken, sismik hızların yüksek ve kayalık zeminler büyük değerler almaktadır (Şekil 6.25, Şekil 6.26 ve Şekil 6.27). Zeminlerin kaymaya karşı gösterdiği direncin ölçüsü olan Bulk modülüsert ve sıkı zeminlerde yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 6.28, Şekil 6.29 ve Şekil 6.30).



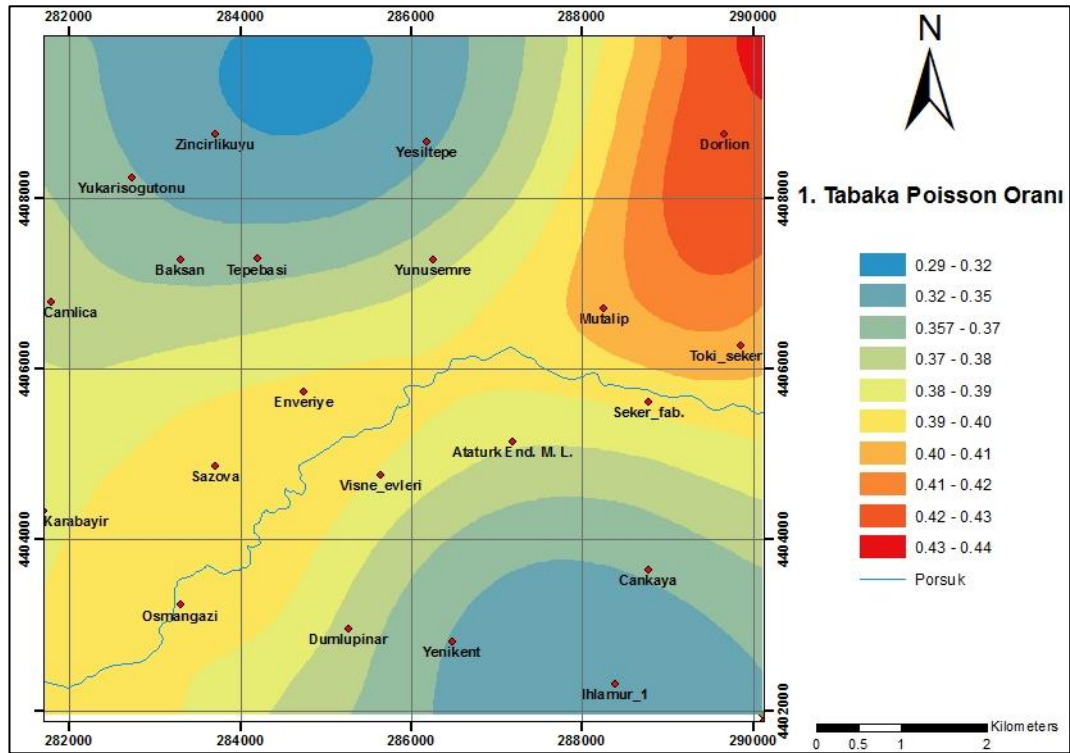
Şekil 6.16 1. Tabaka hız oranı



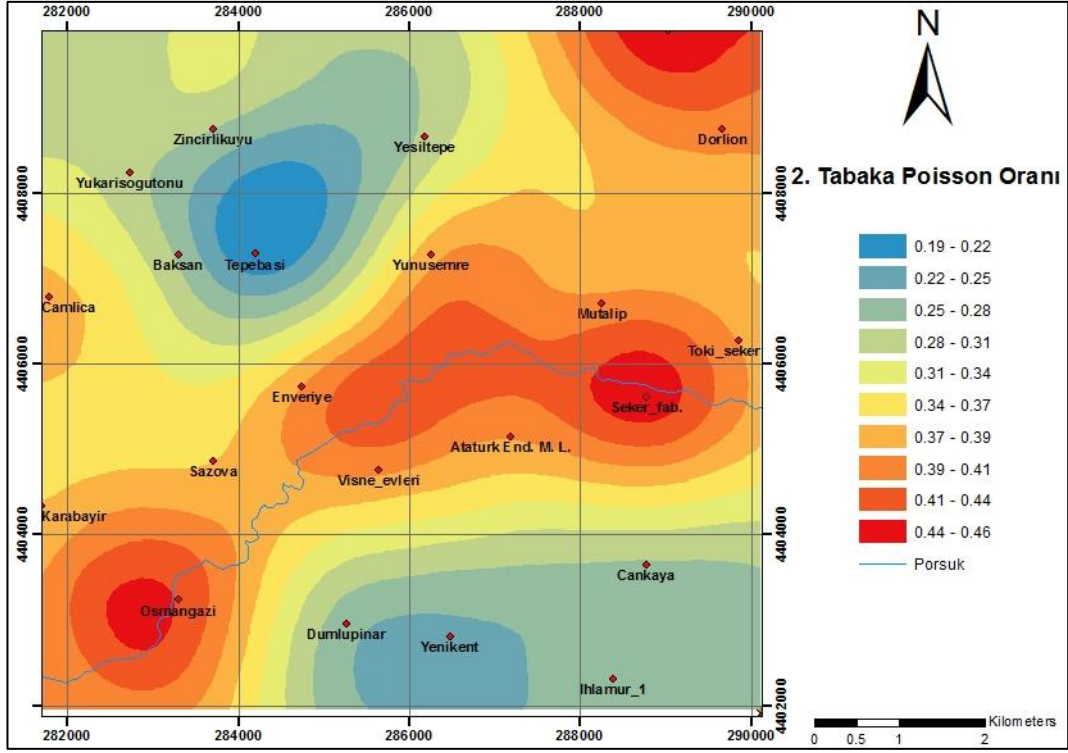
Şekil 6.17 2. Tabaka hız oranı



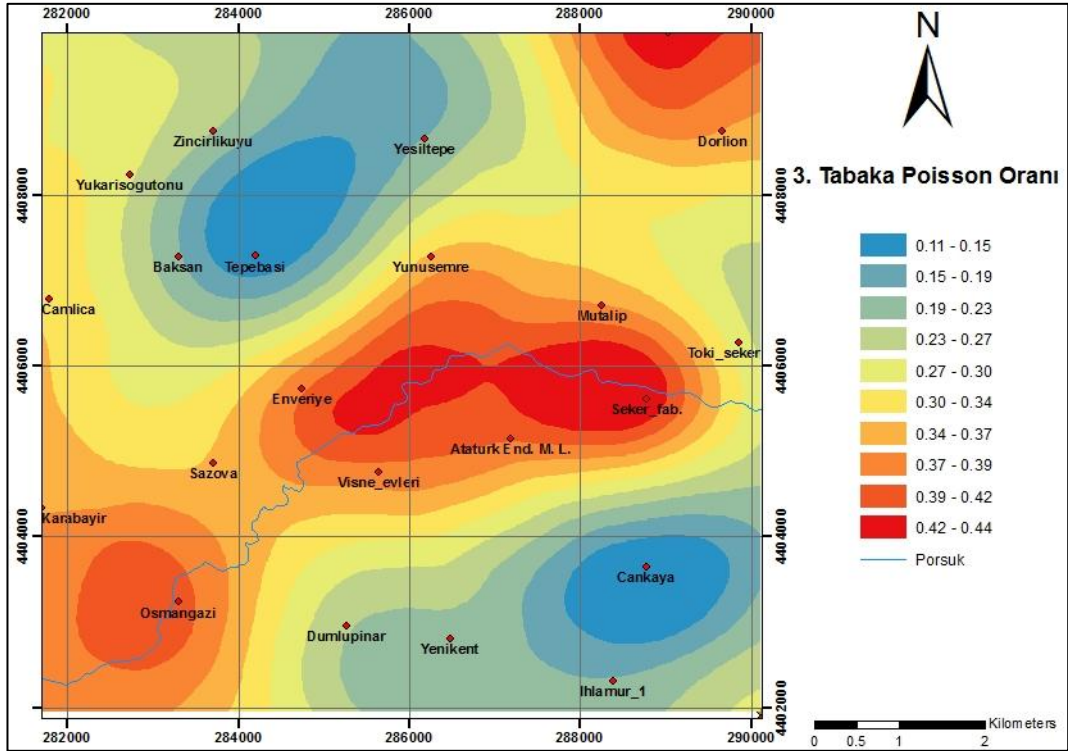
Şekil 6.18 3. Tabaka hız oranı



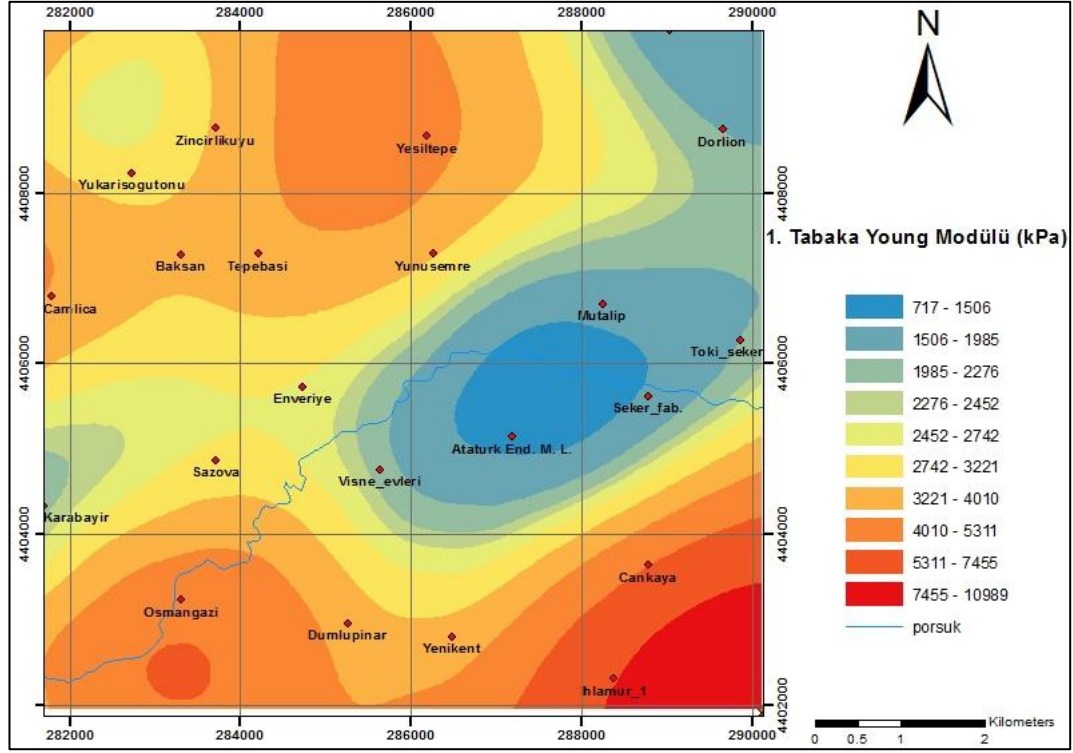
Şekil 6.19 1. Tabaka poisson oranı



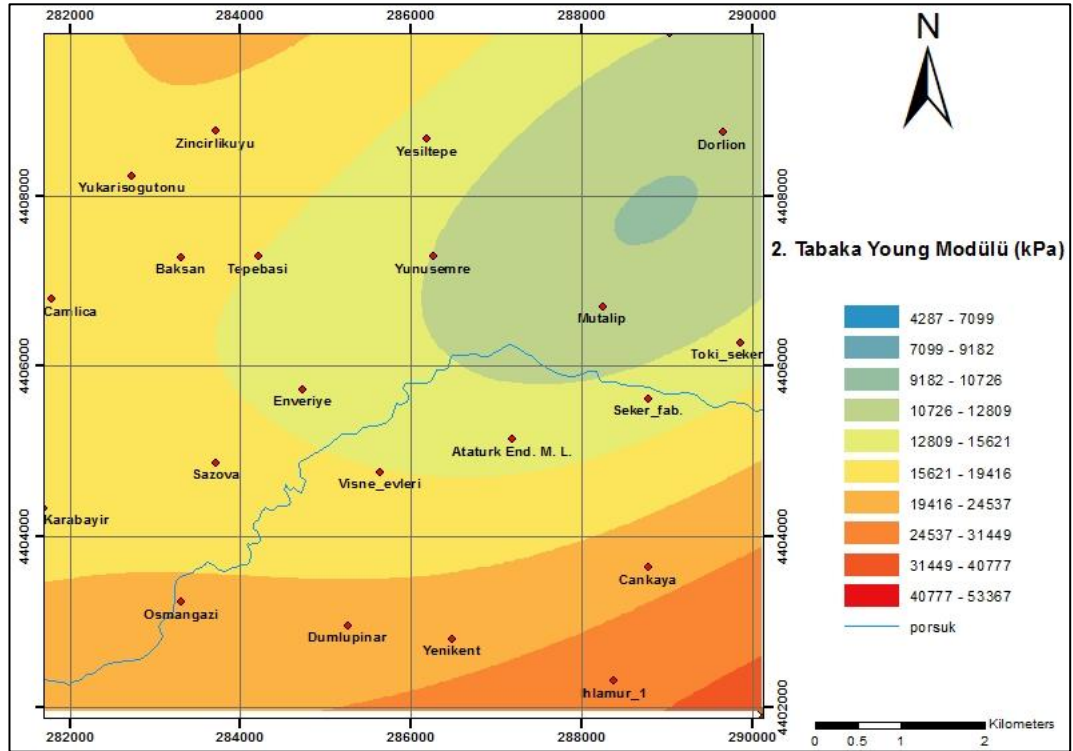
Şekil 6.20 2. Tabaka poisson oranı



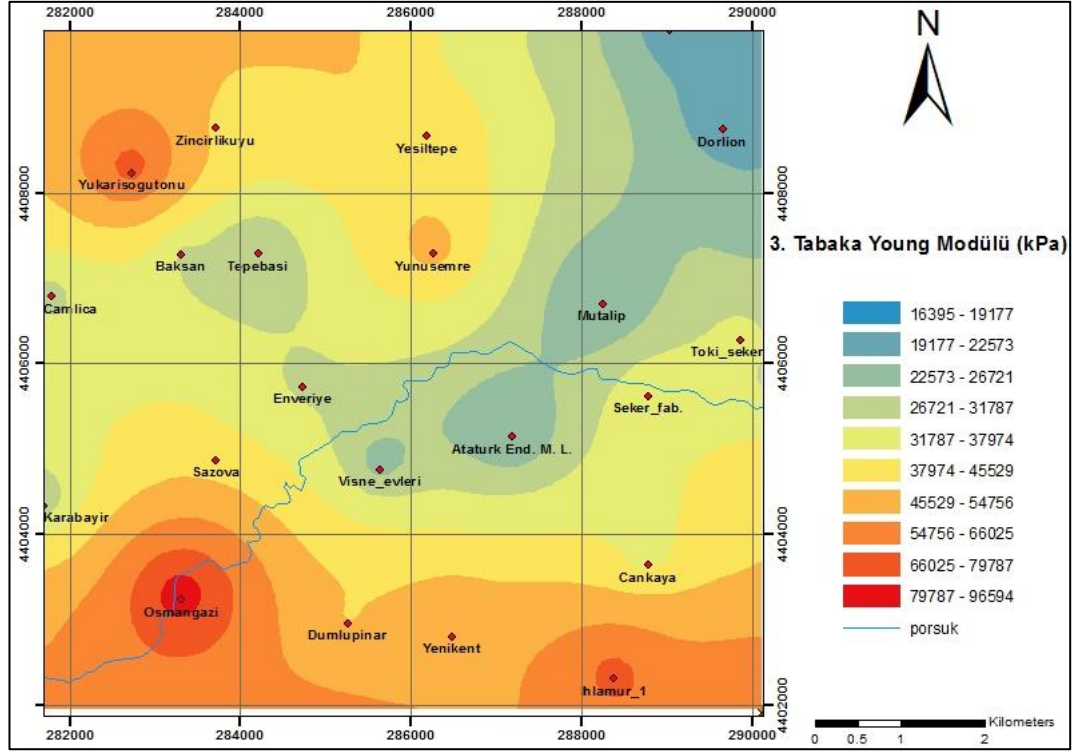
Şekil 6.21 3. Tabaka poisson oranı



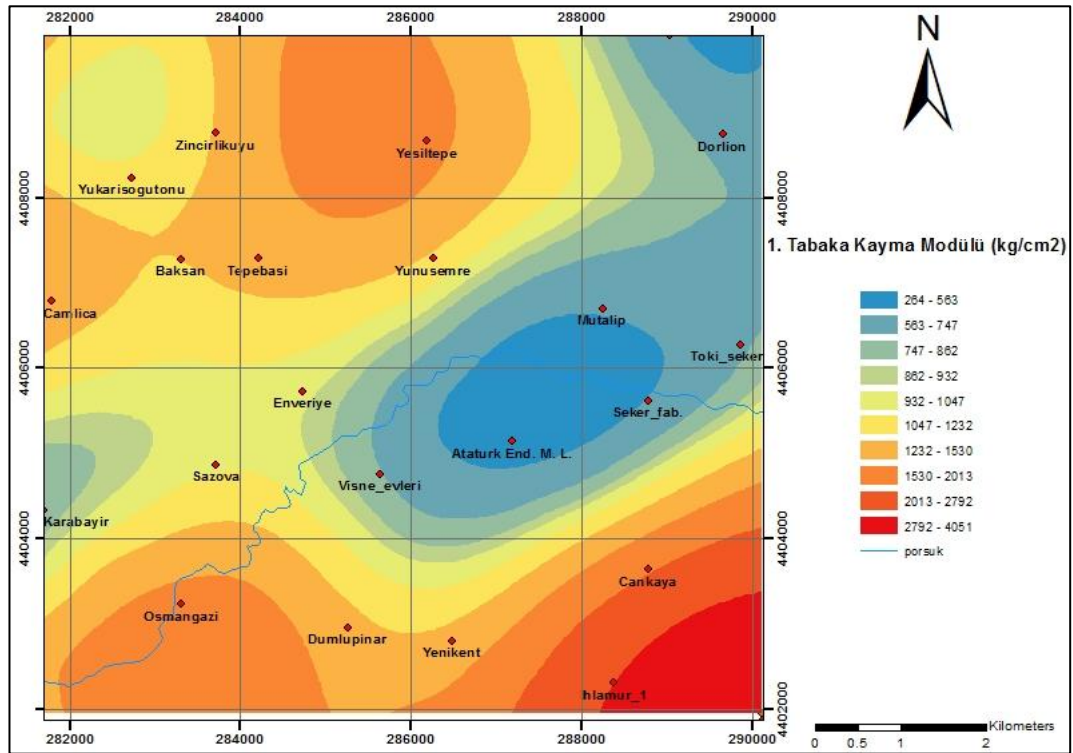
Şekil 6.22 1. Tabaka young modülü



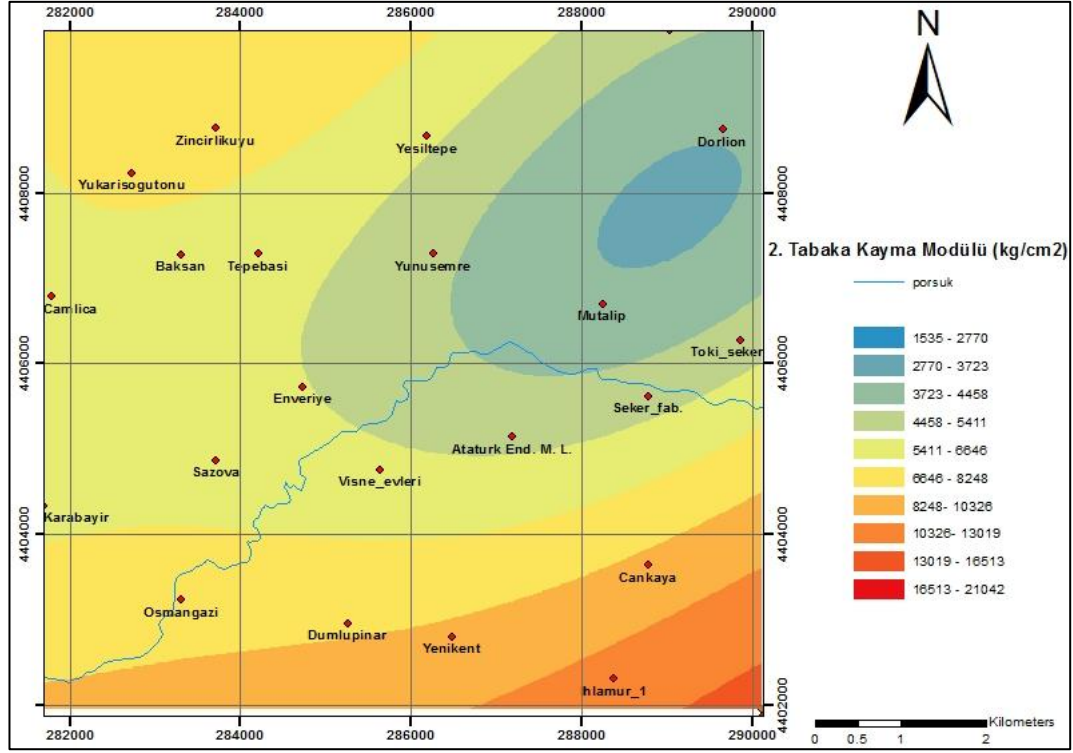
Şekil 6.23 2. Tabaka young modülü



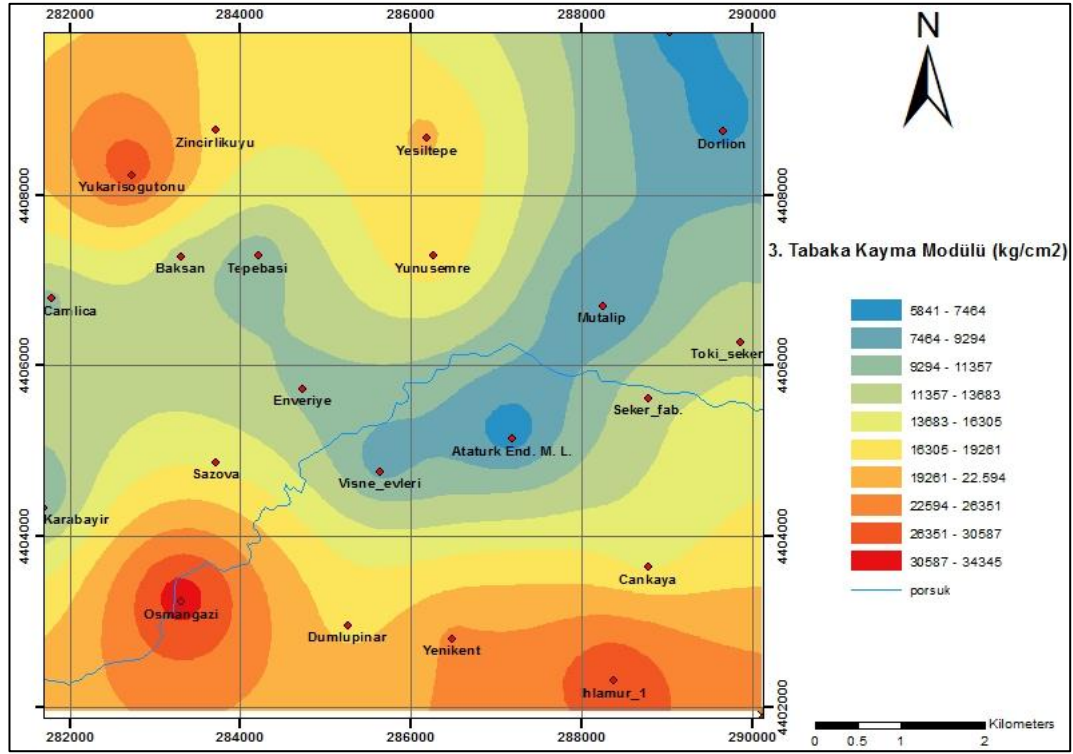
Şekil 6.24 3. Tabaka young modülü



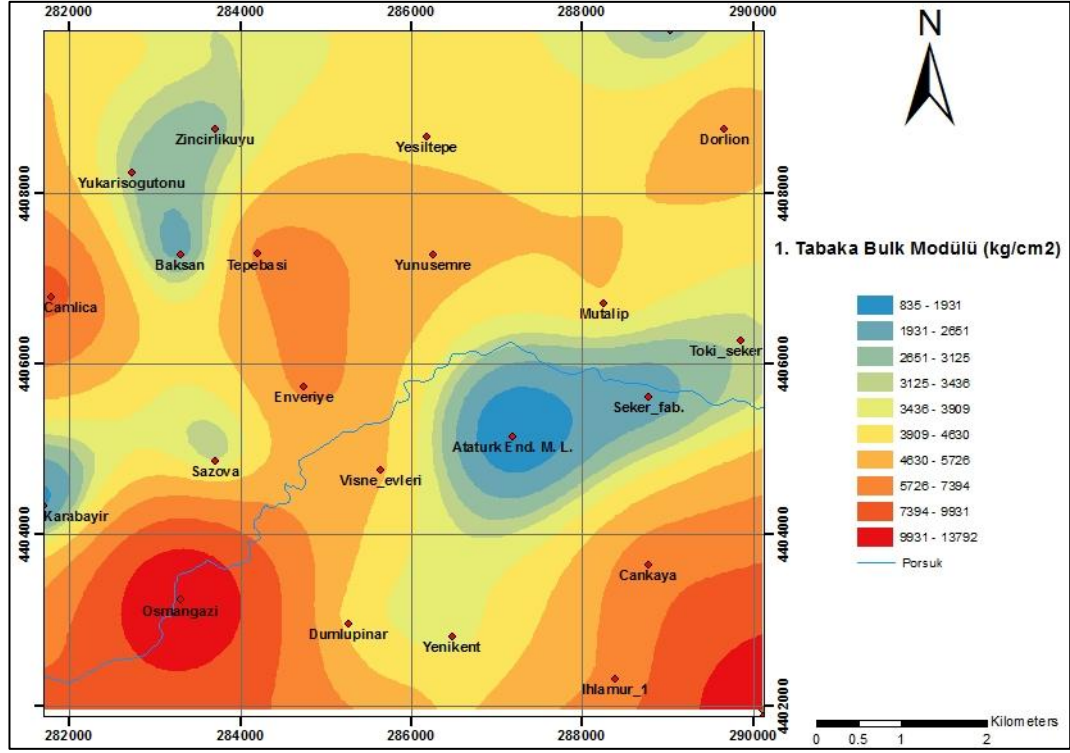
Şekil 6.25 1. Tabaka kayma modülü



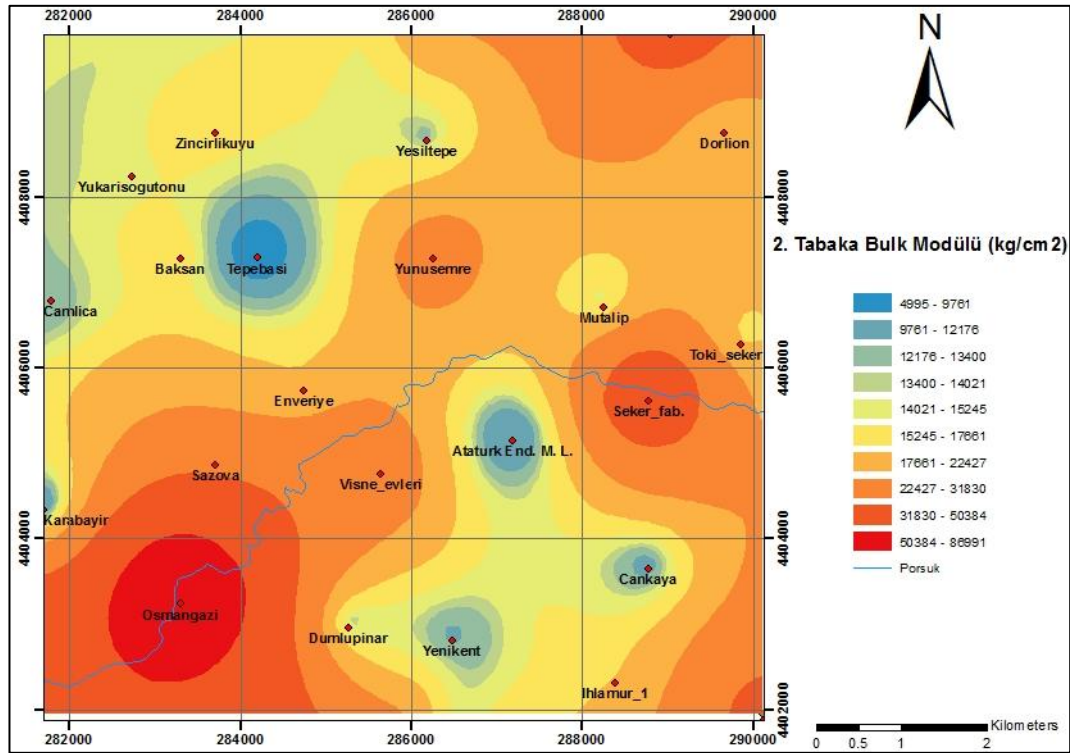
Şekil 6.26 2. Tabaka kayma modülü



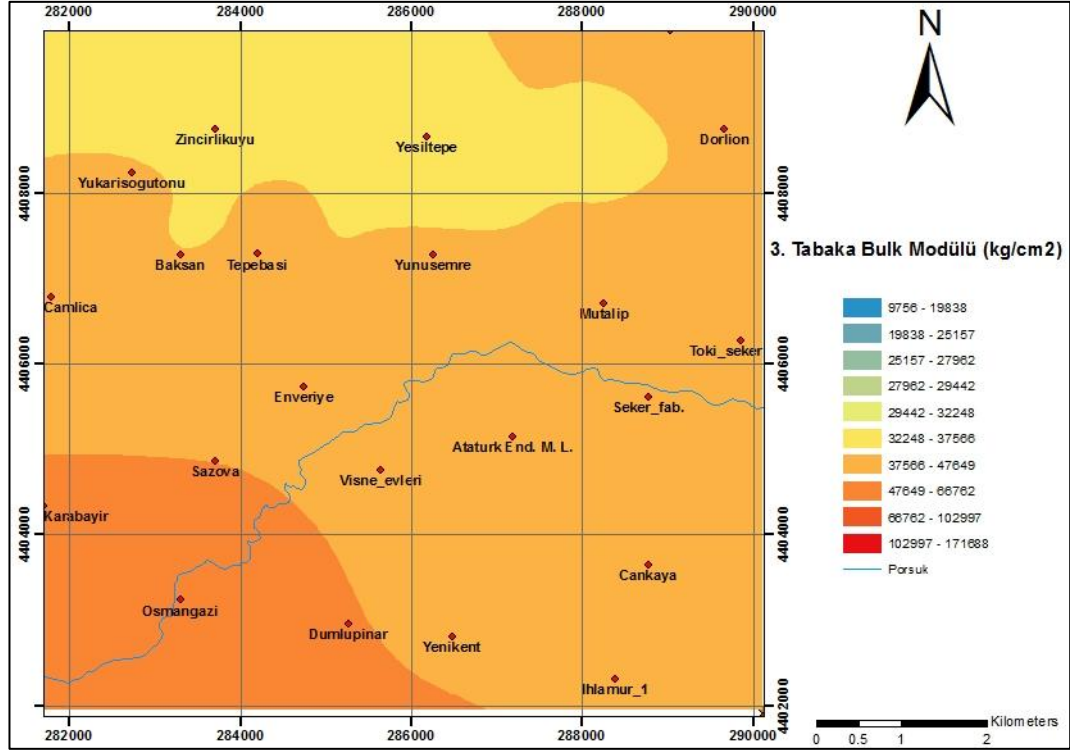
Şekil 6.27 3. Tabaka kayma modülü



Şekil 6.28 1. Tabaka bulk modülü

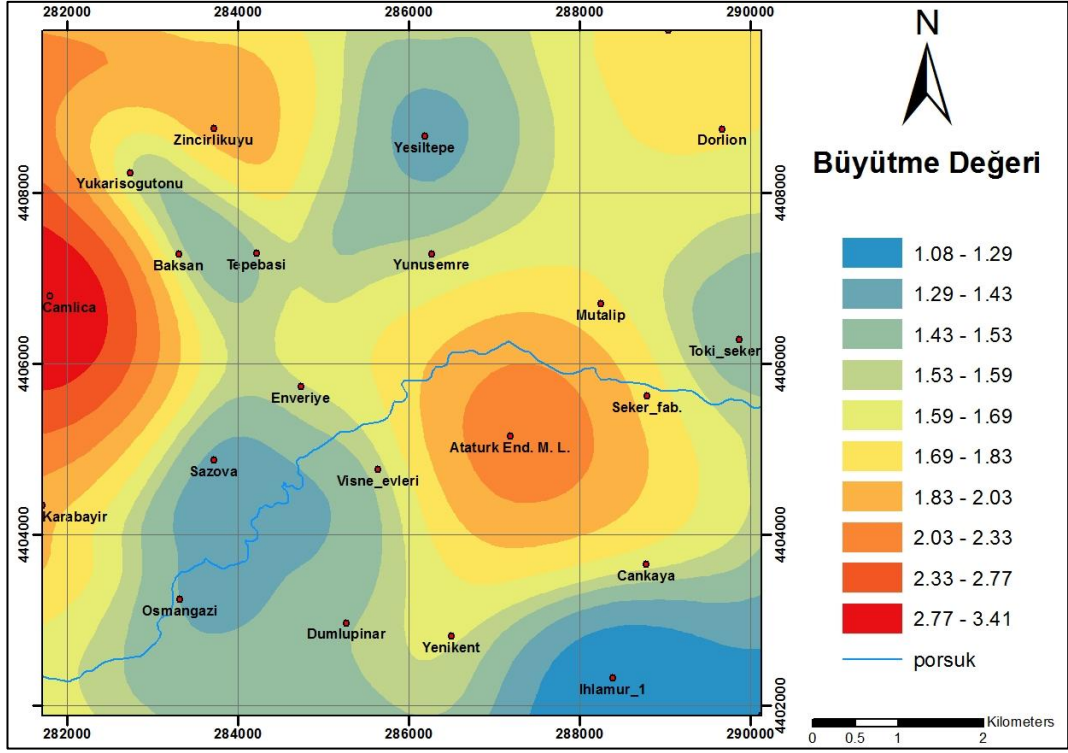


Şekil 6.29 2. Tabaka bulk modülü

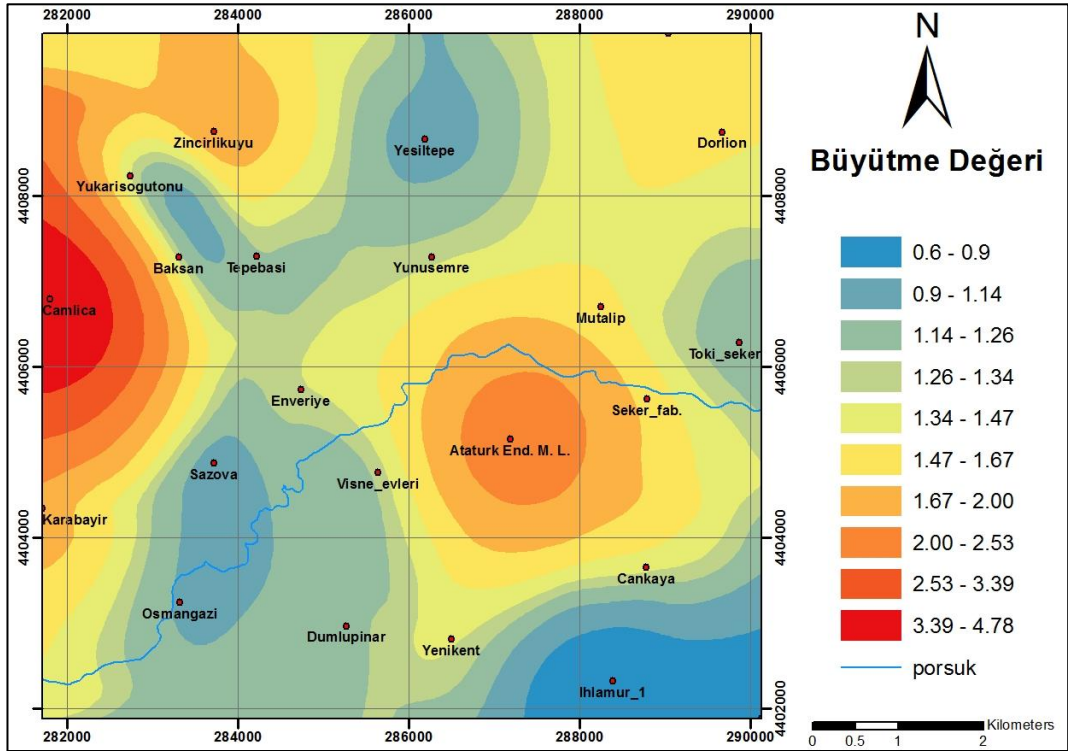


Şekil 6.30 3. Tabaka bulk modülü

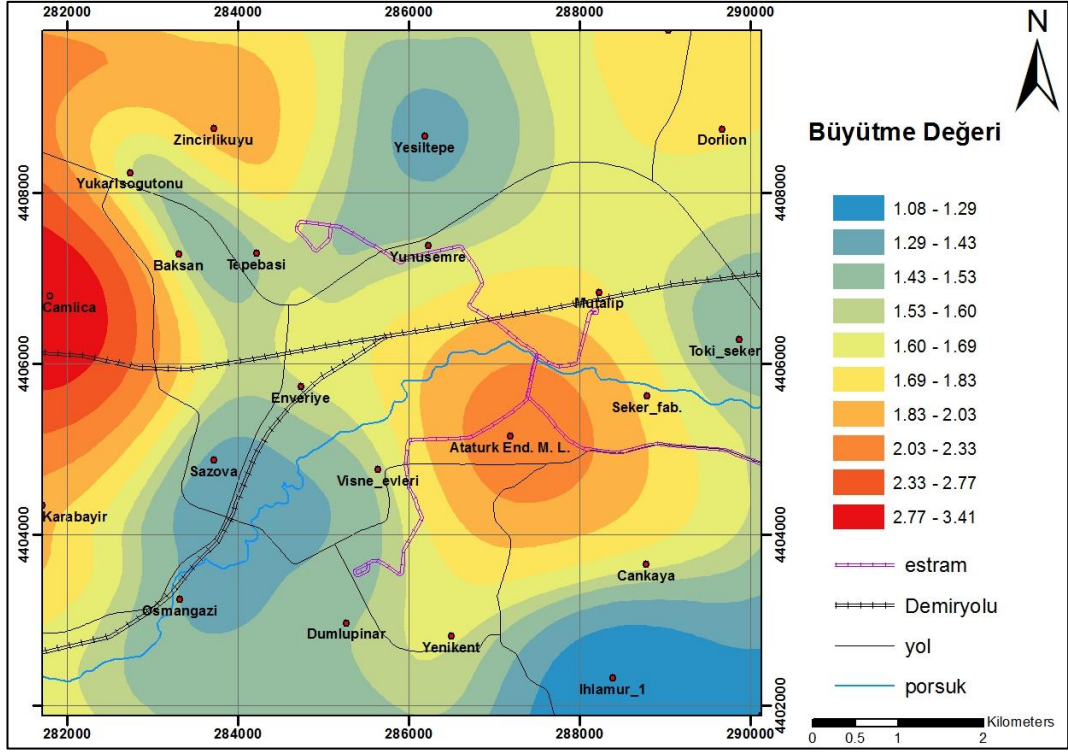
Mikrobölgeleme çalışmaları ISSMFE (1993), bir zemin tabakasının yüzey kesimlerinde elde edilen kayma dalgası hızının, söz konusu zeminin büyütme seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir zemin özelliği olduğunu belirtmiştir. Midorikawa (1987); Borchardt ve diğ. (1991), tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi esnasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlenmesi ve analizi sonucunda, açığa çıkan bu hızın ortalama değerinin, yüzeyde belirli derinlikte yer alan zeminlerde meydana gelen büyütme seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu kapsamda, çalışma kapsamında elde edilen Vs30 değerleri kullanılarak Midorikawa (1987) ve Borchardt ve diğ. (1991)'e göre büyütme değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan büyütme değerleri kriging enterpolasyon tekniği kullanılarak haritalanmıştır. Haritaların regresyon katsayıları 0.95 ve 1.05'tir. Midorikawa'ya göre hesaplanan büyütme değerlerinin 1.08-3.41 arasında değişim gösterirken, Borchardt'a göre bu değerler 0.6-4.78 arasında değişmektedir (Şekil 6.31 ve Şekil 6.32). Büyütme haritalarının alansal değişimi göz önünde alındığında çok benzer sonuçlar gösterdiği görülmektedir.



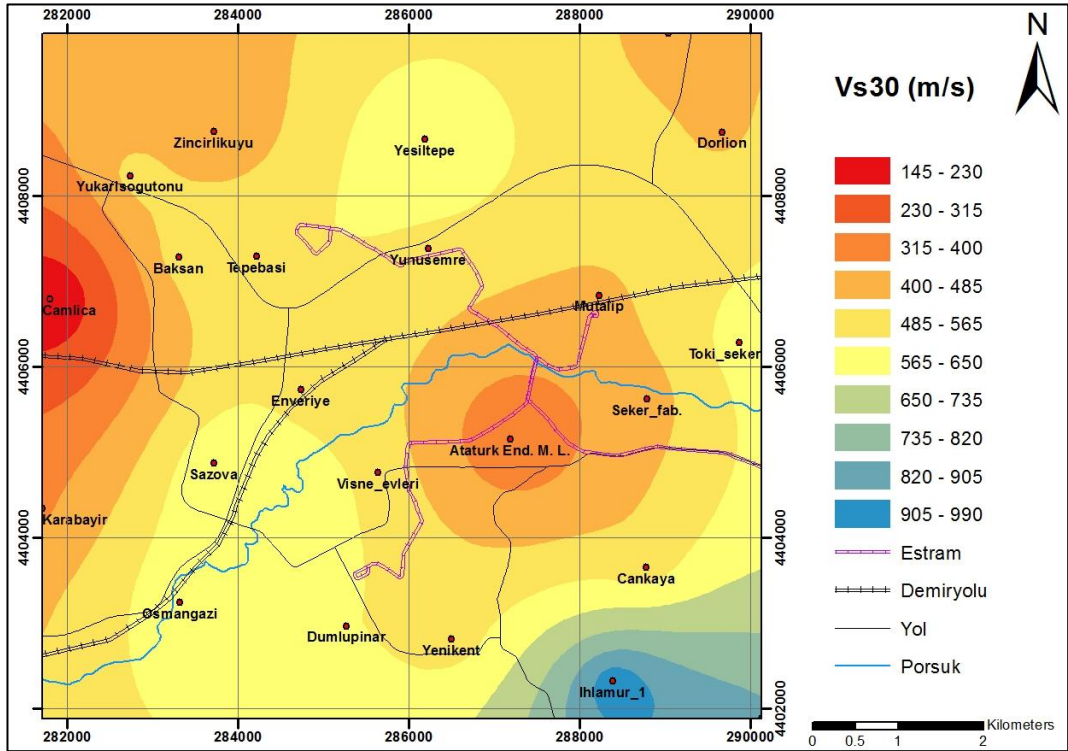
Şekil 6.31 Midorikawa (1987)'ya göre hazırlanan zemin büyütme haritası



Şekil 6.32 Borcherdt ve ark. (1991)'e göre zemin büyütme haritası

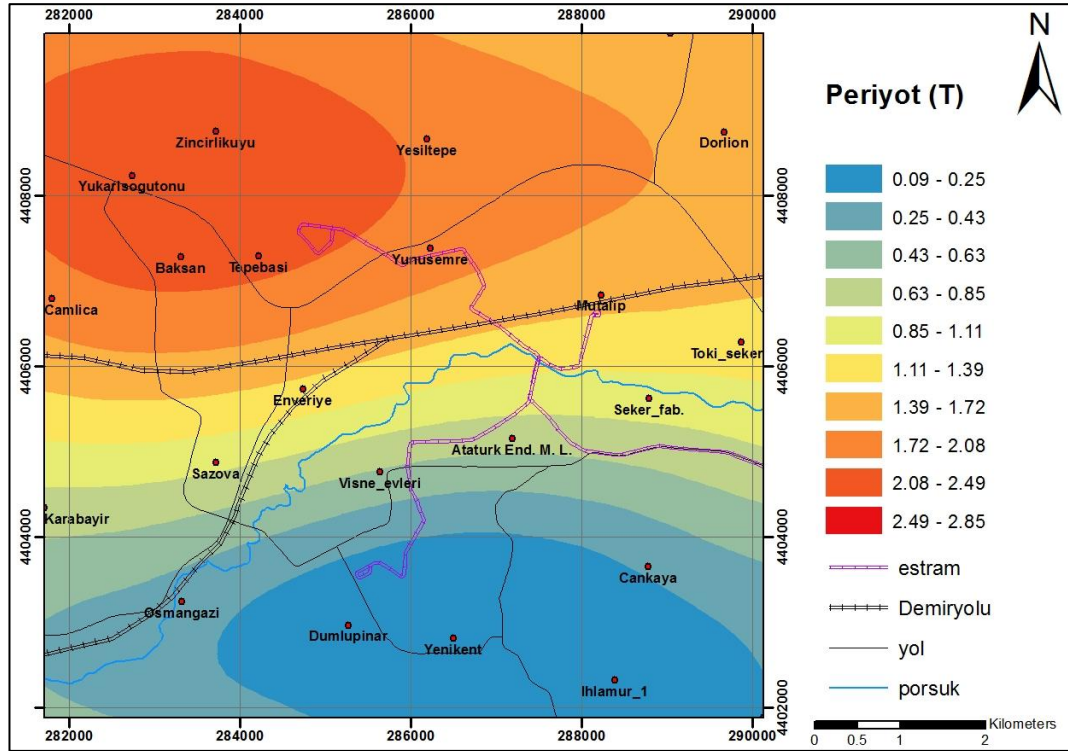


Şekil 6.34 Midorikawa'ya göre büyütme değerlerini içeren sonuç haritası



Şekil 6.35 Vs30 değeri sonuç haritası

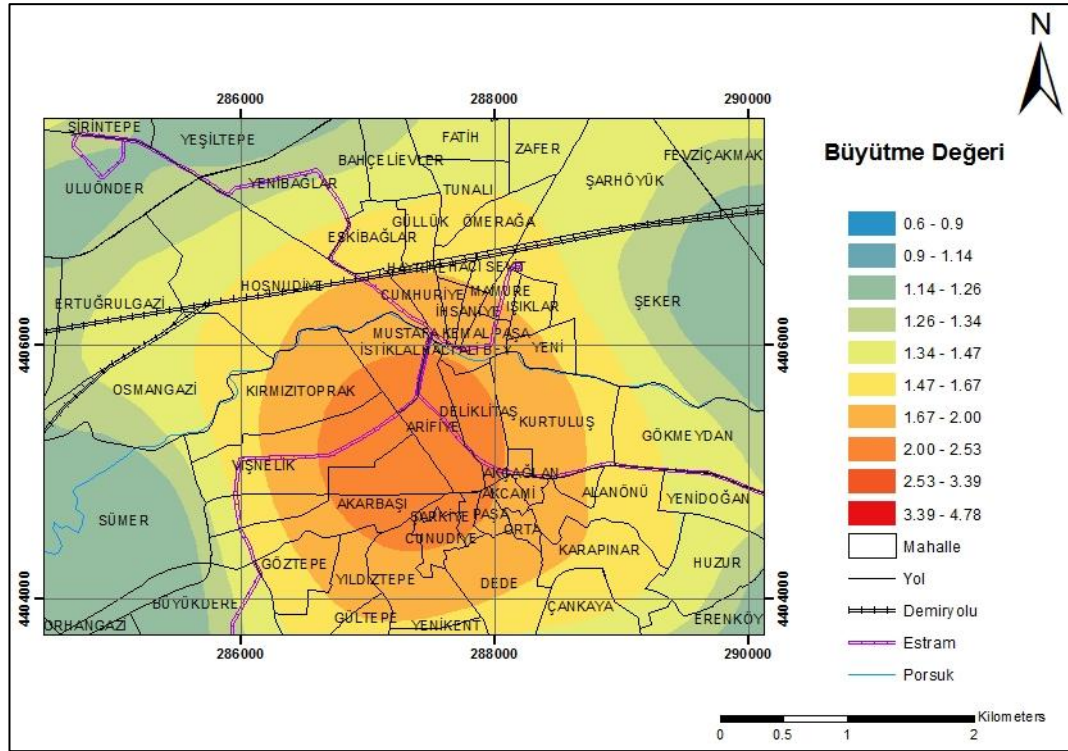
Hazırlanan zemin hakim titreşim periyodu haritasında gösterildiği üzere çalışma alanındaki zemin hakim titreşim periyodu, 0.09-2.85 s arasında değişmektedir. Bu bölgede halihazırda var olan ve yeni inşa edilecek yapıların periyotları, zemin hakim periyotları gözönüne alınarak değerlendirilmelidir. Aksi takdirde, yapılarda deprem sırasında oluşabilecek rezonans sebebiyle büyük kuvvetler etki edecek ve depremin hasarlarını artıracaktır. Ayrıca çalışma alanında, yapılaşmanın en yoğun olduğu köprübaşı ve porsuk çayı çevrelerinde 0.43-0.85 s arasında değişmektedir. Ayrıca kayma dalgası hızının bu bölgelerde düşük hızlı olması, bölgede yumuşak zeminin varlığını işaret etmektedir (Şekil 6.36).



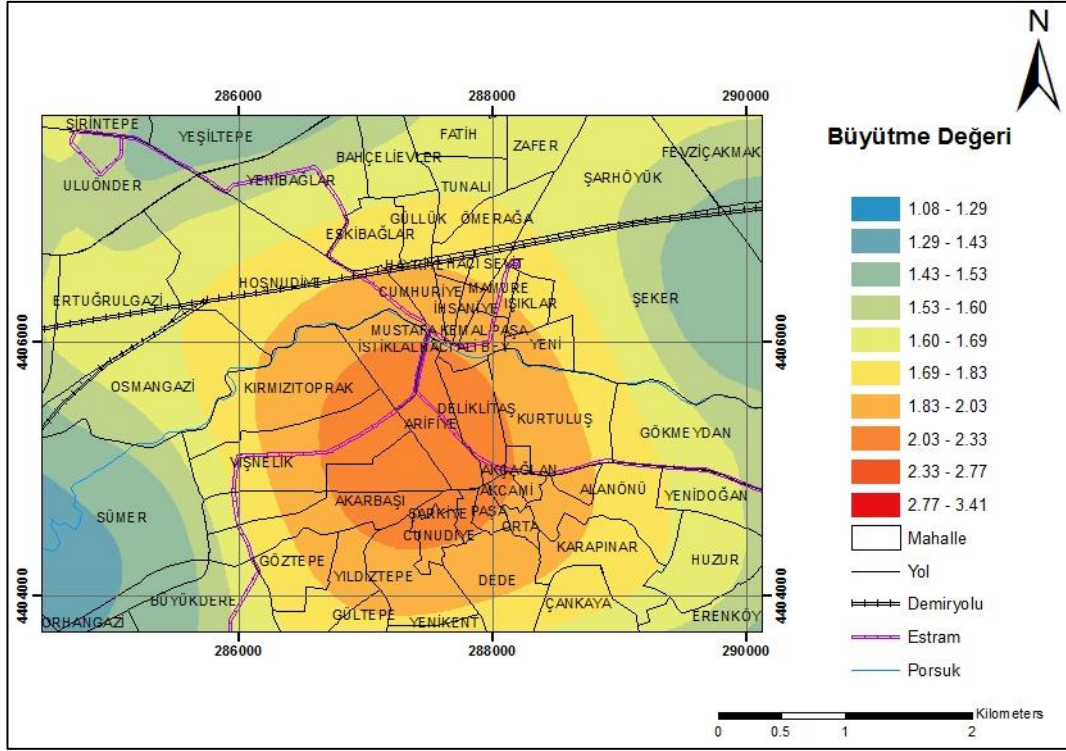
Şekil 6.36 Zemin hakim periyodu sonuç haritası

Sonuç haritalarından yola çıkarak, Eskişehir Kent Merkezi'nde yapılaşmanın en yoğun olduğu bölgeler daha yakından incelenmiştir. Harita sınırları, Yunusemre Kampüsü, Muttalip, Enveriye, Şeker Fabrikası ve Vişne Evleri'ni içine alacak şekilde oluşturulmuştur. Bu haritaların kapsadığı alanda bulunan binalar, çoğunlukla 4 ila 8 kat arasında değişen yüksek katlı yapılardır. Seçilen alanda, Köprübaşı ve çevresinin zemin büyütmesinin 1.67 ile 2.53

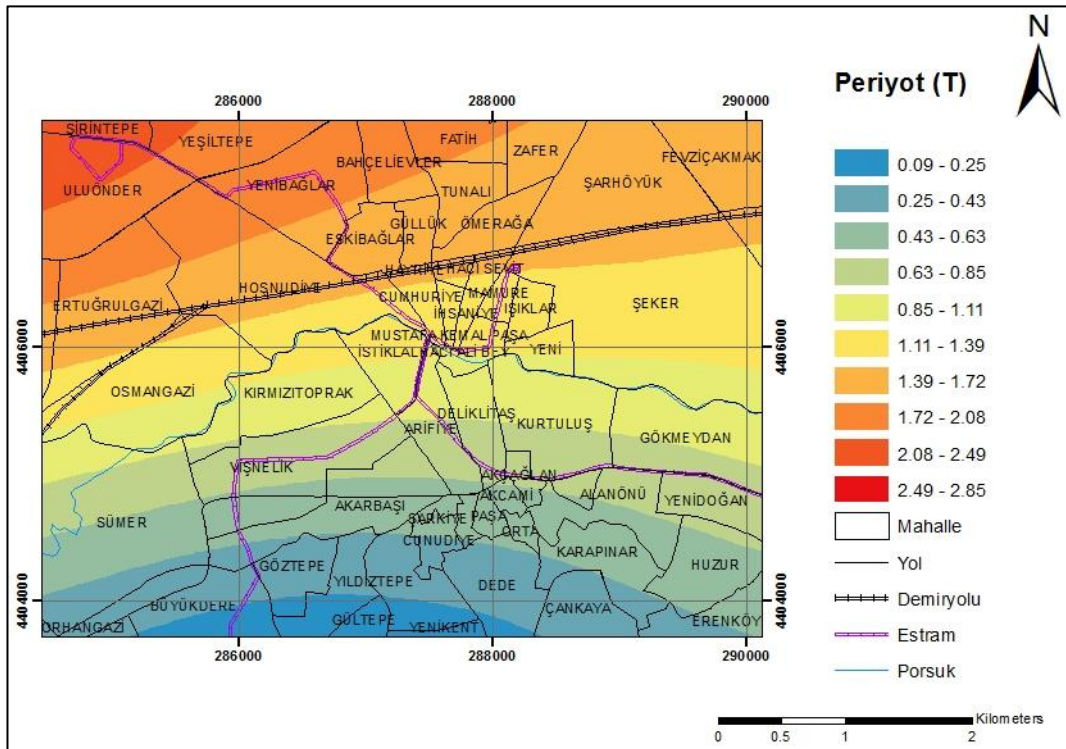
arasında değiştiği görülmektedir (şekil 6.37 ve şekil 6.38). Bu bölgedeki çok katlı yapılar belirtilen oranlarda zemin büyütmesine maruz kalacaklardır. Bu büyütme değerleri, mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında B (orta tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE, 1993 ve zep, 2007). Ayrıca alanın zemin hakim periyodu 0.0.9 s - 2.49 s arasında değerismektedir, Deprem anında oluşan rezonans etkisinden korunmak için, yeni yapılar tasarlanırken yapının periyodu ile zemin hakim periyodunun ilişkisine dikkat edilmelidir. Zeminlerin karakteristiğinin belirlenmesinde çok önemli bir parametre olan kayma dalgası hızı haritası, büyütme değerleri ve periyot haritaları birbirleriyle örtüşmektedir (şekil 6.39 ve şekil 6.40).



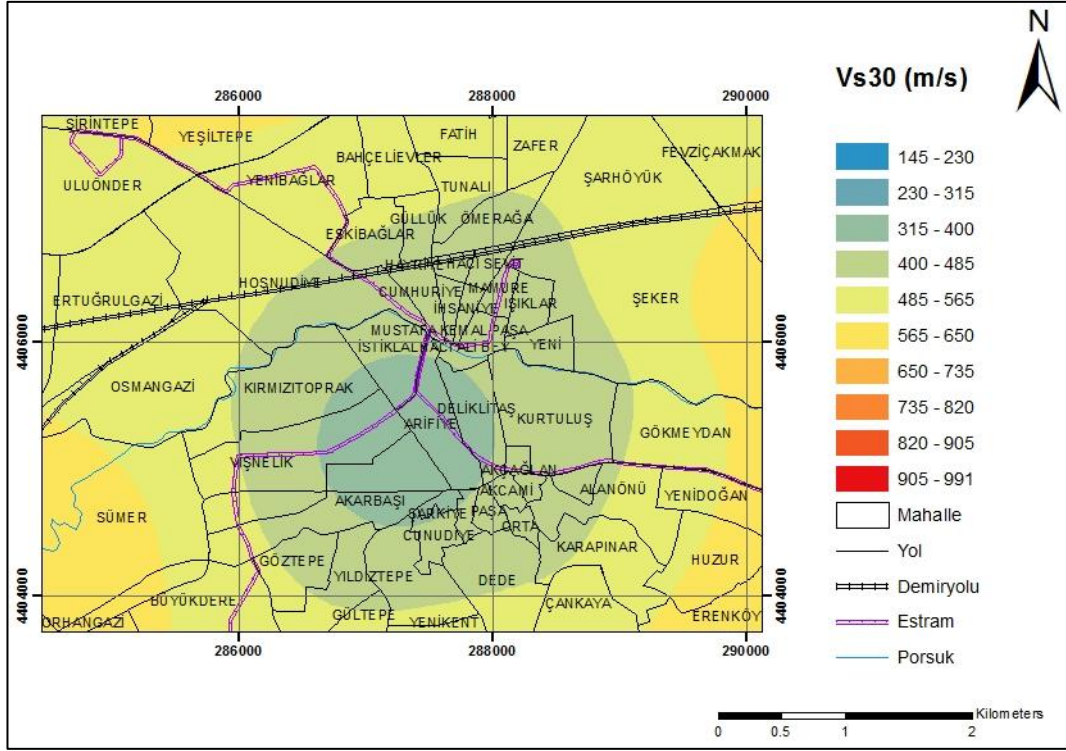
şekil 6.37 Eskişehir kent merkezi büyütme değerleri haritası (Borchardt'a göre)



Şekil 6.38 Eskişehir kent merkezi büyüme değeri haritası (Mikodirawa'ya göre)



Şekil 6.39 Eskişehir kent merkezi için zemin hakim periyodu haritası



Şekil 6.40 Eskişehir kent merkezi için ilk 30 m için kayma dalgası hızı değişimini veren harita.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Eskişehir kent merkezinde belirlenen 23 noktada sismik kırılma ölçümleri yapılmıştır. Sismik kırılma yönteminde çoklu atış sistemi uygulanmıştır. 6 noktada 426 m'lik, 17 noktada ise 213 m'lik uzunlukta hatlarda ölçüm alınmıştır, her bir serim için 5 atış yapılarak kayıtlar alınmıştır. Çalışmalara ait sayısal verilerle, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden (CBS) yararlanılarak sismik hız ve zeminin dinamik ve elastik parametrelerinin haritaları oluşturulmuştur. Haritalara bakıldığında, özellikle genç alüvyonun olduğu kesimlerde düşük hız değerlerinin yer aldığı ve bu nedenle buralarda gevşek yapıda malzemelerin hakim olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca eski alüvyonun içinde kalan alanlarda ve topoğrafik olarak yüksekliğin arttığı bölgelerde ise sismik hız değerlerinin arttığı gözlenmektedir.

Kırılma çalışmasının yapıldığı lokasyonlarda üç bileşenli sismometre yardımıyla mikrotremör ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mikrotremör yöntemi ile yapılan ölçümlere ve sonuçlarına bakıldığında, depremden sonra oluşan hasarın nedenlerinin belirlenmesinde ve hatta depremden önce oluşacak yapı hasarının tahmin edilmesinde önemli verilere ulaşıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, özellikle kent merkezlerinde depremden önce mikrotremör ile zemin hakim periyotların belirlenmesi ile deprem sırasında kent merkezinde oluşabilecek hasarın dağılımının ve yapı periyoduna göre ne tür binaların ağır hasar görebileceğinin tahmini yapılabileceği düşünülmektedir.

Çalışmadaki mikrobölgelemenin en küçük ölçeğini mikro-ölçek olarak tanımlanarak bu ölçekte çalışmalar yapılmıştır. Yer hareketinin bu ölçekteki düzeyini belirleyen en önemli etmen olan bağıl büyütme değerine göre, bölge için bir referans harita oluşturulmuştur. Büyütmeyi belirleyen diğer önemli etkenin rezonans etkisi olduğu düşünüldüğünde, bölgeye ait hazırlanan zemin hakim periyot haritasının önemi kendiliğinden açığa çıkmaktadır. 30 metre derinlik için kestirilen kayma dalgası hızı, hem büyütme denetleri hem de zeminin kayma mukavemeti (G_{max} : kayma modülü aracılığıyla) hakkında bilgi vermektedir.

Eskişehir ili kent merkezi zemini gibi karmaşık jeolojik yapıların çözümünde, yeraltının ayrıntılı bir şekilde çözümlenebilmesi için sismik kırılma yönteminde çoklu atış sisteminin kullanılması yararlı sonuçlar ortaya çıkartmıştır.

SeisImager2D modelleme programı ile değerlendirilen kesitlerden her serilim üzerindeki 5 atışa ait sismik kırılma verilerinin tek bir zaman-uzaklık (x-t) grafiğinde birlikte değerlendirilmesi, sığ ve daha derin yapıların çözümünde avantaj sağlamıştır.

Her bir serilim için, 5 atış yapılarak alınan sismik kayıtlarda, uzak atışların derinlerdeki yapıları aydınlatmada yardımcı olurken, orta ve ara atışlar sığ yapıları en uygun düzeyde çözdüğü görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, sismik kırılma yönteminde çoklu atış sisteminin, yapısal durumla ilgili ayrıntılı bilgi vermesinin yanısıra alışılmış düz-ters atış yönteminden daha zahmetli bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak çeşitli parametrelere göre hazırlanan mikrobölgeleme haritaları, özellikle yeni yerleşim alanlarının seçiminde ve mevcut yerleşim alanlarında zemin özelliklerinin iyi ve kötü olan bölgelerin ortaya çıkarılmasında, büyük yararlar sağlamaktadırlar. Hazırlanan haritalar, çalışma alanının genel profilini ortaya çıkardığından, zaman ve maliyet açılarından da önemli kazanca neden olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında belirlenen alanlarda, uygulanan sismik yöntemler, bu bölge için bir ön çalışma niteliği taşımaktadır. Çalışma alanının daha iyi çözümlenmesinin yapılabilmesi ve daha doğru sonuçlara ulaşılabilmesi için, örnekleme aralığının artırılması gerekmektedir. Bu sayede bölge hakkında deprem öncesinde, zeminin davranışı hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Bu açıdan yerleşim alanları hızla genişleyen Eskişehir kent merkezinde, bu çalışmanın ileriye yönelik araştırmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Geliştirilen sismik enerji kaynaklarının, yeni yerleşime açılacak alanların yerleşime uygunluklarının belirlenmesi, kentsel yerleşim alanlarını etkileyebilecek deprem tehlikesinde zemin problemi kaynaklı karşılaşılabilecek afet risklerinin belirlenmesinde kullanılması mümkündür. Dolayısıyla afet yönetimi uygulamaları kapsamında, afet öncesi risk belirleme ve azaltma çalışmalarında bu yöntemlerin

kullanılması, olası afetlere karşı hazırlıklı olma ve karşılaşılabilecek afet zararlarını önleme çalışmalarına kullanılabilir veri sağlayacaktır.

Sonuç olarak, sismik kırılma ve mikrotremör teknikleri ile yapılan zemin araştırmaları, önemli ölçüde zaman ve para tasarrufu getirmekte ve yeraltı stratigrafisini daha basit ve hızlı olarak açığa çıkarmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abtew, W., Obeysekera, J. and Shih, G., (1993). *Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida*, Water Resources Bulletin, 29; 179-188.
- Akdeniz, E., Güney, Y., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Ecevitoglu, B. (2011). *Temel Zeminine Ait Jeo-Mühendislik Özelliklerin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Eskişehir İli Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri Örneği*, 6. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11), Elazığ, Türkiye.
- Akgün, M., Özyalın, Ş. ve Gören. S. (2010). *Sismik Kırılma, Yansıma, Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Analiz Yöntemi (MASW) ile Down-Hole Yöntemlerinin Zemin Çalışmalarında Birlikte Kullanımına Aliğa-İzmir' den Bir Örnek*, Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre Ve Sergisi, Ankara.
- Alptekin, Ö.,(1981). *Arama Jeofiziğinde Gravite ve Sismik Yöntemler*. İleri Jeofizik Ders Notu, 85-135, KTÜ, Trabzon (Yayınlanmamış).
- Altunel, E. ve Barka, A., (1998). *Eskişehir Fay Zonu'nun İnönü-Sultandere arasındaki neotektonik aktivitesi*, TJB, 43-44.
- Anonim (2004), *ArcGIS 9 Uygulama Dokümanı*, İşlem Şirketler Grubu Eğitim Dokümanları, Ankara, 2004.
- Avdan, U. ve Alkış, A. (2011). *Doğal Afetlere (Depreme) Yönelik Bütünleşik Konumsal Veri Tabanı Modelinin Geliştirilmesi*, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1) 17-26.
- Arı, B. (2005). *Sismik Kırılma Verileri İle Burdur İli Merkezi Yeraltı Yapısının İki Boyutlu Modellemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- ASTM D 4719-87, (1987). *Standart test method for pressuremeter testing in soils*, American Society for Testing and Materials.
- Baş, M., Duran, K. ve Kariptaş, Ç. (2010). *Mikrobölgeleme Çalışmaları, Jeofizik Araştırmalar ve CBS (GIS) Uygulamaları*, Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre Ve Sergisi, Ankara.

- Başkan, O., (2004). *Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeostatistik uygulaması*, Doktora Tezi, A.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Barton, J.M., Buchberger, S.G. and Lange, M.J., (1999). *Estimation of error and compliance in surveys by kriging*, Journal of Surveying Engineering, 125, 87-108.
- Beker, Y. ve Sayıl, N. (2010). *KTÜ Yerleşkesinde Mikrotremor Yöntemi İle Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi*, Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre Ve Sergisi, Ankara
- Borcherdt, R.D., Wentworth,C.M., Janssen,A., Fumal,T. & Gibbs,J. (1991) “Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region”, Proc. 4th Inter. Conf. On Seismic Zonation, 545-552.
- Canyaran L., Ecevitoglu, B., (2002). *P-GUN: Yönlü Çokatışlı Tekdarbeli Sismik Enerji Kaynağı*, Türk Patent Enstitüsü, Ankara, Patent No. 2002/01203.
- Ceyhan, U. Karabulut, S, Özçep, F. ve Gündoğdu, O. (2004). *Kayma Dalgası Hızı Kullanılarak Mikrobölgeleme Çalışmaları: Büyükçekmece (İstanbul) Bölgesi*; 16. Uluslararası Jeofizik Kongresi; 245-248, Ankara.
- Clark, T.H. (1966). *Chateauguay area*. Misinistere des ressources Naturelles du Quebec, Geological Report 122, 63.
- Corps of Engineers (1979). “Geophysical exploration,” Engineer Manual 11 JO-1-1802, U. S. Department of the Army, Corps of Engineers.
- Çabuk, S. N., Döğeroğlu, T. Ve Çabuk, A. (2006). *Stratejik Çevresel Değerlendirme Çalışmalarında CBS Olanaklarından Yararlanılması: Eskişehir Toplu Konut Projesi*, 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, , İstanbul, Türkiye.
- Demirci, A. (2007). *Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelelendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Deprem Şurası, (2004). *Deprem Şurası Komisyon Raporları*, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

- Deutsch, C.V., and Journal, A.G., (1992). *Geostatistical Software Library And User's Guide*, Oxford University Press, Inc., New York.
- Dikmen, Ü. (2004). *Zeminlerde Sismik Dalga Sönümünün Kesirsel Türev Yaklaşımı İle Modellenmesi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ecevitoglu, B., (2002). *Sığ Sismik Yöntemler ve Uygulamaları: TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, Mesleki Eğitim Seminerleri, 11s.
- Ecevitoglu, G. B., Aldaş, G. U., 2011. *S-GUN: S-Dalgası Üreten Sismik Enerji Kaynağı*, Türk Patent Enstitüsü, Ankara, Patent No 2007/05763.
- Elton, D.J., Martin, J.R. (1989). *Dynamic Site Periods in Charleston, SC*, Earthquake Spectra, 5, 4, 703-734.
- Ercan, A. (2001). *Kıran (Afet) Bölgelerinde Yer Arastırma Yöntemleri Bilgiler ve Kurallar*, Kardesler Grup Matbaacılık, İstanbul, ISBN:975-395-424-7, 161-176.
- Ercan, A. (2010). *Titreşimcik Ölçülerinden Yer Davranış Özelliklerinin Türetilmesi-Zeytinbağı-Bursa*, Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara.
- Field E.H. ve Jacob K.H., (1995). *A comparison and Test of Various Site Response Estimation Techniques, Including Three that are not Reference Site Dependent*, Bull. Seismol. Soc. Am., 85, 1127– 1143.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. ve Küçükşaman, A., (1985). *Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları*. MTA Dergisi, 103,40-54.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.J. (1996). *Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi*, MTA Raporu, 9973, 87.
- Gülerce, Ü. (2002). *İzmir İlindeki Zemin Hakim Titreşim Periyodu ve Zemin Büyütmesi Değişiminin Mikrotremor Ölçümleri ile Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürbüz, C., Türkelli, N., Alptekin, Ö., Barbarosoğlu, G., Aksarı, D., Ergün, T. A., Komut, T., Kalafat, D., Can, B., Denli, A., Teoman, U., Kaya, T., Yelkenci, S., Polat, G., Er, A., Coşkun, Z., Kahraman, M., Güner, G.,

- Baş, M., Karaoğlu, H., Duran, K., Basmacı, A. E., Züran N. (2008), *İstanbul'un Anadolu Yakası İçin Zemin Sınıflamasına Yönelik Mikrotremor Çalışmaları Nihai Rapor*, İstanbul.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, M.R., (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- ISSMFE, (1993). *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*, Published by Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- İnal, C. ve Yiğit, C. Ö., (2003). *Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği*, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya, 24-26 Eylül, 177-185.
- İnce, G. Ç. (2005). *Sismik Bölgeleme ve İstanbul'un Deprem Zararlarının Tahmini*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kanai, K. And Tanaka, T., (1961), *On Microtrmors VIII. Bulletin of the Earthquake Research Institute*, University of Tokyo, 39, 97-114.
- Kanlı, A.I., P. Tildy, Z. Pronay, A. Pınar and L. Hermann (2006). *V_{S30} Mapping and Soil Classification for Seismic Site Effect Evaluation in Dinar Region, SW Turkey*, Geophysical Journal International, 165, 223-235.
- Karaca, Ö. (2007). *Fethiye Yerleşim Alanı Zeminlerinin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Jeoteknik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Hazırlanması*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Karasu, M. E. (2009). *Bakırköy İlçesi' nin Mikrobölgelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karavul, C., Kurnaz, T.F. ve Kıyak, A. (2006). *Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) Kullanılarak İki Farklı Yaklaşımla Adapazarı Kenti Spt (Standart Penetrasyon Testi) Haritalarının Oluşturulması*, 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, , İstanbul, Türkiye.
- Karavul, C.; Kurnaz, T.F.; Kıyak, A. (2007). *Gölcük İlçesi (İzmit) Sismik Hız ve Mikrotremör Çalışmalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile*

- Hazırlanan Haritalar Üzerinde İncelenmesi*, International Earthquake Symposium, , Kocaeli, Turkey.
- Katz, L. J. (1976). *Microtremor analysis of local geological conditions*, Bull. Seism. Soc. Am. 66, 45-60.
- KEÇELİ, A. (1990). *Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması*, 4, 2, 83-92.
- Keçeli, A., (2000). *Sismik Yöntemlerle Kabul Edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması*, Jeofizik, 14, 61-72, JFMO Eğitim Yayınları, Ankara.
- Keçeli, A., (2009). *Uygulamalı Jeofizik*. Jeofizik, 9, 28-29, JFMO Eğitim Yayınları, Ankara.
- Korkmaz, E. D. ve Başel, K. (2009). *Türkiye'nin Yeraltı Sıcaklık Haritası ve Tahmini Isı İçeriği*, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dergisi.
- Kramer, S. L. (1996). *Geoteknik deprem mühendisliği*. (Çeviren: Kayabalı, K. 2003) Gazi Kitabevi, 213-218, Ankara.
- Kramer, S.L., (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6.
- Kurtuluş, C., (2002). *Sismik Arama Ders Kitabı*, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Yayın No:5.
- Lav, A., (1994). *İstanbul ve Erzincan Şehirlerinde Zemin Büyütme Etkilerine Göre Mikrobölgeleme*” Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Midorikawa, S. (1987) "Prediction of Iseismic Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake" Journal of Structural Dynamics, (33B), 43-48.
- Mutlu, S., Akdeniz, E., Avdan U., Pekkan, E., Tün, M., Güney Y. ve Ecevitoğlu, B. (2011). *“Zeminin Sismik Özelliklerinin Coğrafi Veritabanı Tasarımı”* 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Nişancı R, Yıldırım, V. ve Çolak, H.E. (2000), *Coğrafi Bilgi Sistem Uygulamaları*, Bilim ve Teknik Dergisi.

- Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, Quarterly Report of Railway Technology Research Institute, 30, 25-33.
- Orhan, A. (2005). *Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Uygulanması*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özçep, F. (2007). *Mikrobölgeleme: İlkeler ve Uygulamalar*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 211 Sayfa, ISBN No: 978-9944-89-231-5, Ankara.
- Özçep, F., Erol, E., Saraçoğlu, F. and Haliloğlu, M. (2012). *Seismic landslide analysis: Gurpinar (İstanbul) as a case history*. Environ Earth Sci 66(6):1617–1630.
- Özçep, T. (2008). *Vs30 ve Diğer Zemin Büyütme Kestirimlerinin Karşılaştırılarak Zemin Sınıflamalarında Güven Aralığının Araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, K., (1993). *Prospeksiyon Jeofiziği (Sismik)*, İstanbul Üniversitesi yayını, 17, 165.
- Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M. Altan, M. Ve Ayday, C. (2006). *Mühendislik Jeolojisi Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Hazırlanması*, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.
- Redpath, B.B. (1973). *Seismic refraction exploration for engineering site investigations*, Technical Report E-73-4, U.S. Army Corps of Engineers Wterways Experiment Station, Explosive Excavation Research Laboratory, Livermore, California, 55.
- Sancılı M., Öztörün M.Z., Kavaklı T., Cantürk H., Aytugar N., Mutman G., Cevher M., Mengüç G., Zor E., Özalaybey S. (2007). *Kocaeli İli İçin Zemin Sınıflama Ve Sismik Tehlike Değerlendirme Çalışmaları Ve Zemin Etütlerinde Dikkat Edilmesi Gerekli Parametreler*, Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Shima, E. (1978). *Seismic Microzoning Map of Tokyo*, Proc. Second International Conf. On Microzonation, 1, 519-530.

- Soske, J. L., (1959). The blind zone problem in engineering geophysics. *Geophysics*. 24, 359-365.
- Stokoe, K.H., Mok., Y.J., Lee, N., Lopez, R. (1989). *In Situ Seismic Methods: Recent Advances in Testing. Understanding and Applications*”, *Conferenze di Geotecnia di Torino XIV Ciclo, Torino Italy*.
- Şimşek, J. (2002). *Sismik Kırılma Verilerini Değerlendirme Yöntemleri ve Bunların Antalya Merkez İlçe Hisarçandır Köyü Yapılaşma Alanına Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Taşçı, L. Ve Kaya, Ç. (2010). *Bina Yapısal Risk Unsurlarının CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Ortamında İncelenmesi*, Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22 (1), 55-62.
- Tokgöz, O. E. (2002). *Bolu ve Yakın Çevresinin Mikrotremör Verileri ile Yer Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tosun, H., Orhan, A., (2007). *Coğrafi Bilgi Sistemi Programlarının Temel Zemininin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanımı: Eskişehir Örneği*, ESOGÜ Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, 20, 2007/2, 43-64, Eskişehir.
- TUDAP, (2005). *Türkiye Deprem Araştırmaları Programı, 2005-2014 Raporu*.
- Tuncel, A. (2008). *Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tün, M. (2003). *Eskişehir Zemininin Makaslama Dalgası (Vs) Değişimine Bağlı Özelliklerinin İncelenmesi ve Doğal Titreşim Periyodunun (To) Bulunması*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tün, M., Avdan, U. ve Güney, Y. (2010). *Kentsel Mikrobölgeleme Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemi Tekniklerinden Yararlanılması*, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Kocaeli.
- Tüzel, B. (2009). *Yüzey Dalgasının Ters Çözümü Yöntemiyle İzmir Menemen İlçesi Yerleşim Alanlarının Kayma Dalgası (Vs₃₀) Haritalanması*,

Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Ulutaş, E., Çetinel T., Güven İ.T., Tunç B., Irmak T.S., Tunç S., Çaka D, Aşçı M. ve ÖZER, M.F. (2005). *Sismik Mikrobölgeleme Çalışmalarında CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) Kullanım Yöntemi*, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Us, E. (1998). *Sismik Yöntemler ve Yorumlamaya Giriş*, JFMO Eğitim Yayınları. No:2, 227.

Ünen, H. C. ve Çoşkun M. Z. (2007). *Coğrafi Bilgi Sistemlerinde İnteraktif Sismik Modelleme*, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

Yiğit, C. Ö., (2003). *Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

URL 1: www.geometrics.com (son erişim tarihi: 27.6.2012).

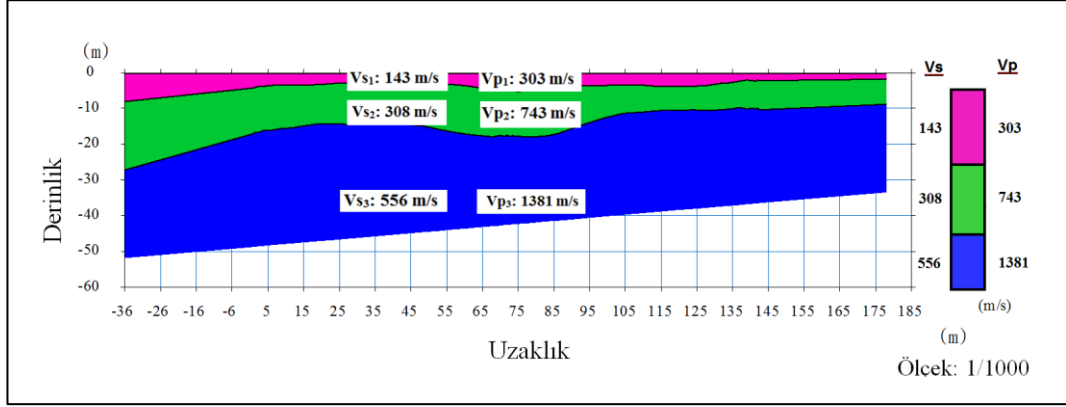
URL 2: <http://www.guralp.com/documents/DAS-T60-0002.pdf> (son erişim tarihi: 27.6.2012).

URL 3: <http://www.guralp.com/support/software/scream> (son erişim tarihi: 27.6.2012).

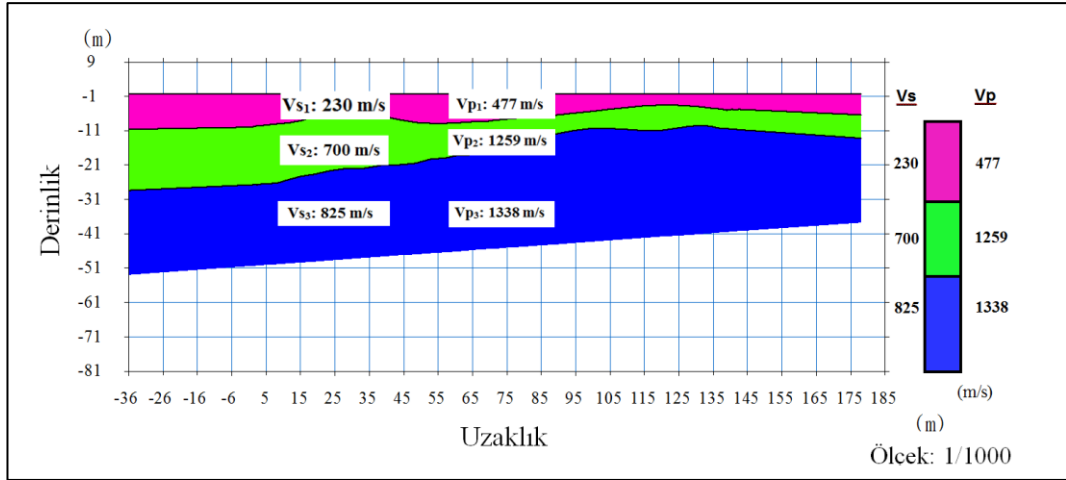
URL 4: <http://www.geopsy.org> (son erişim tarihi: 27.6.2012).

EK 1. Sismik Kırılma Hatları Hız Kesitleri

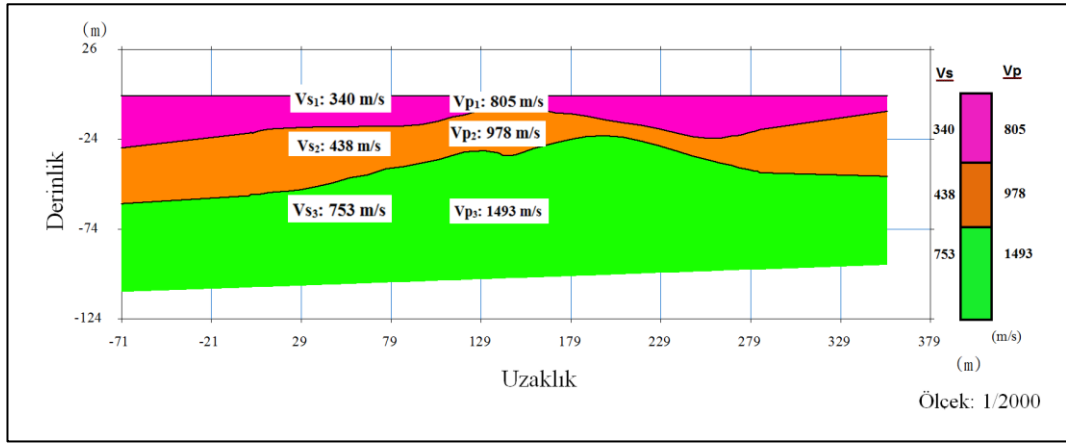
A_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



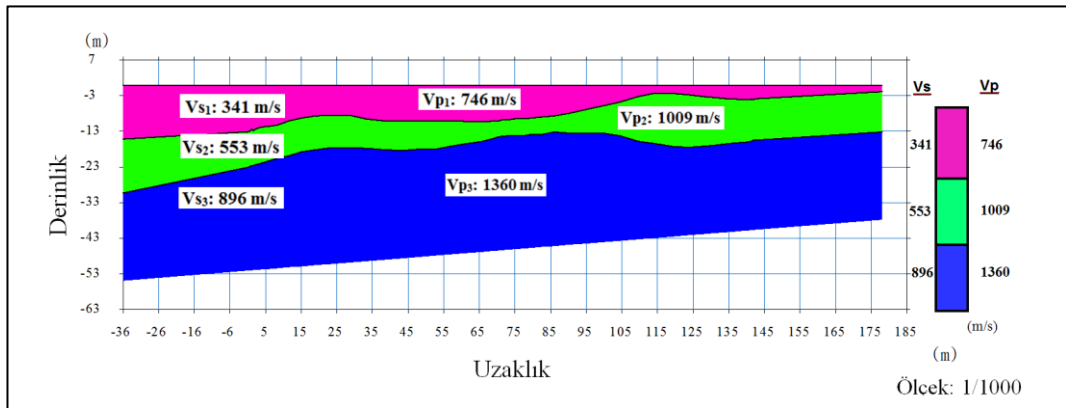
B_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



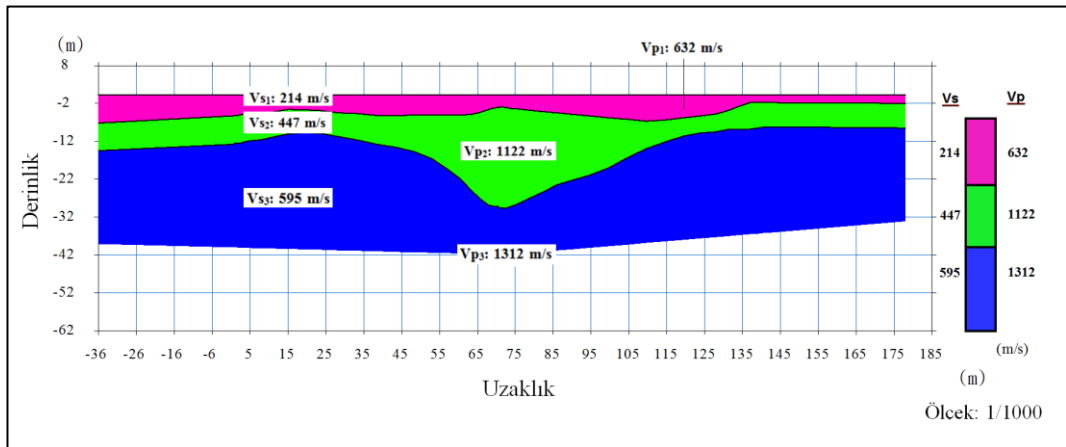
C_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



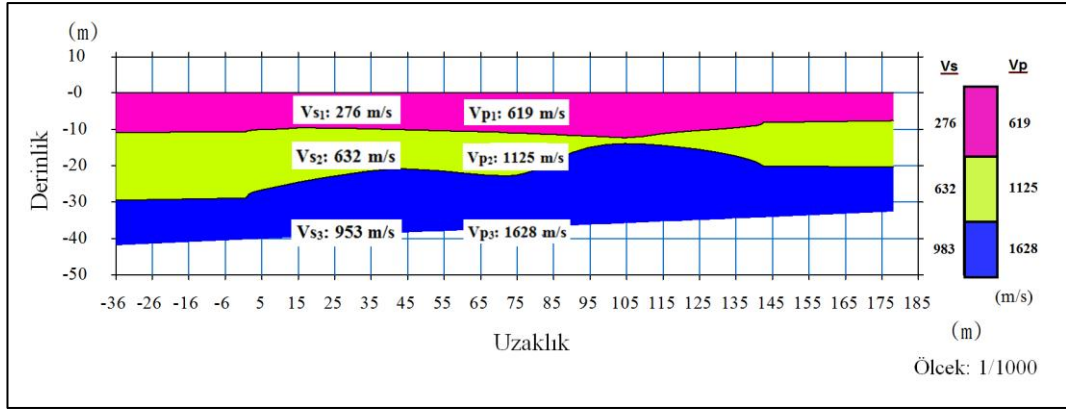
C_2 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



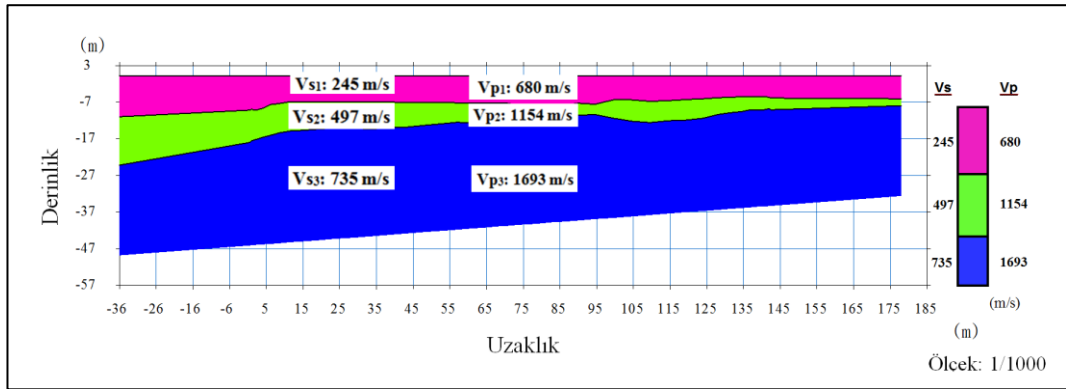
D_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



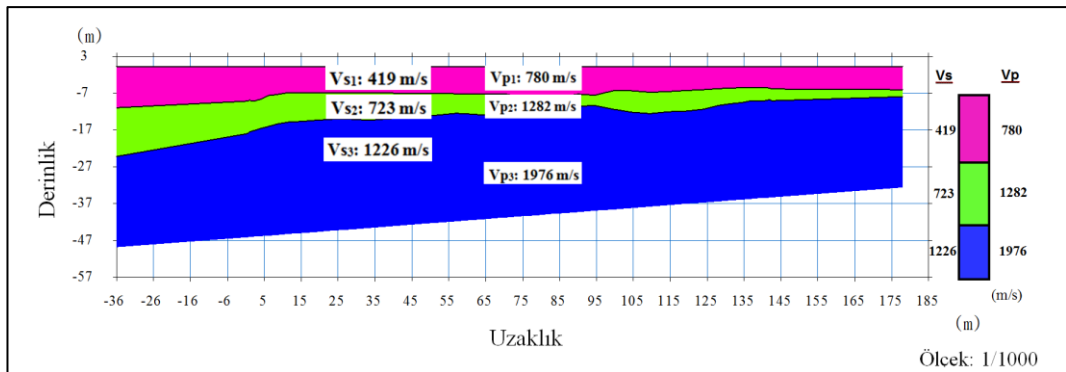
D_2 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



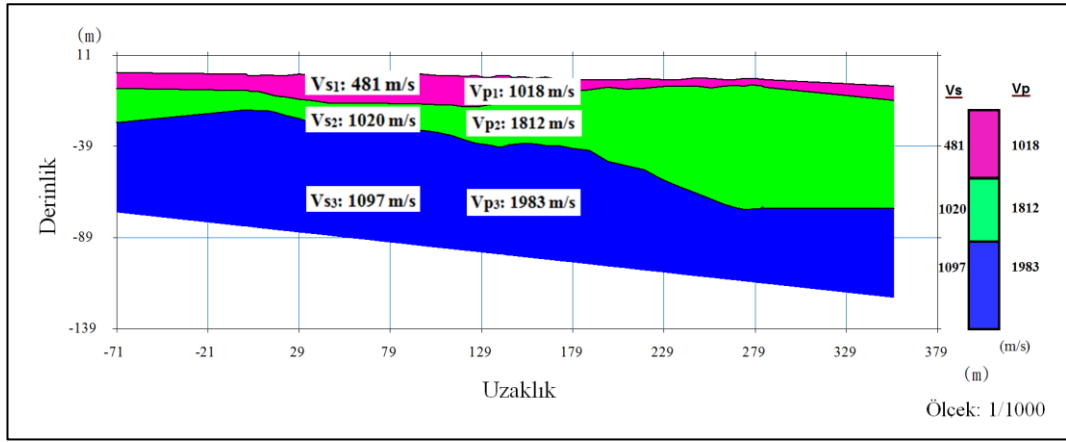
E_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



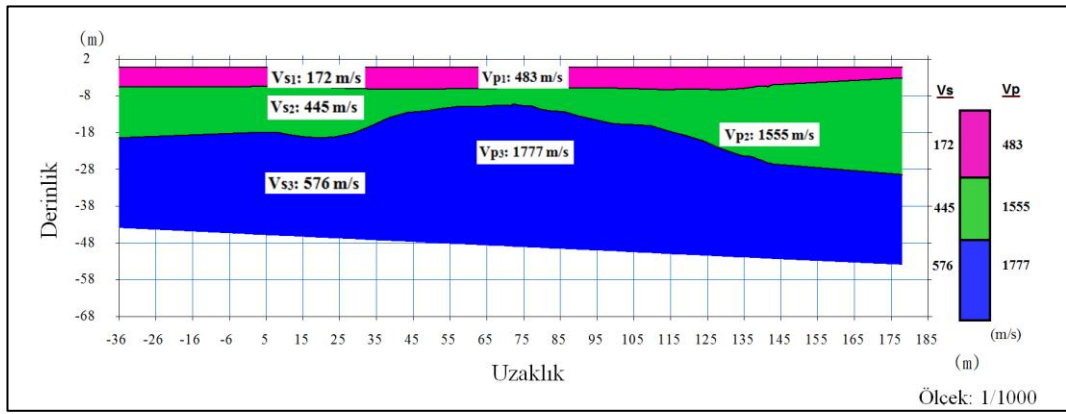
I_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



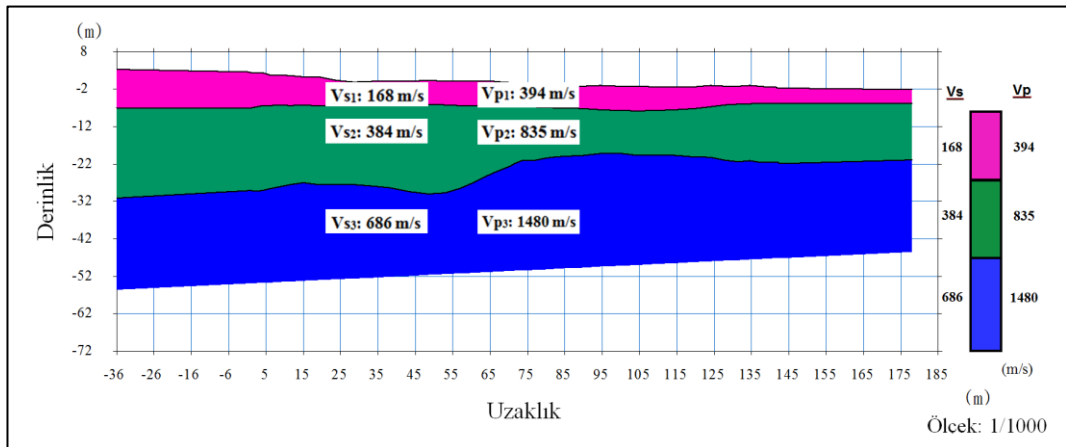
I_2 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



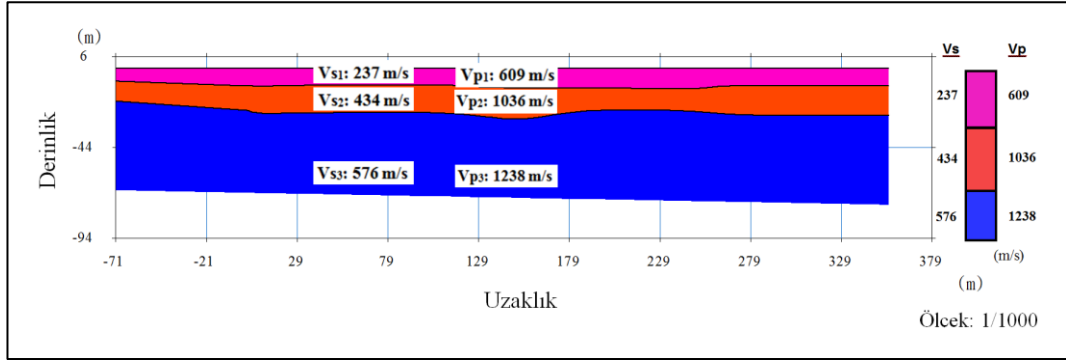
I_3 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



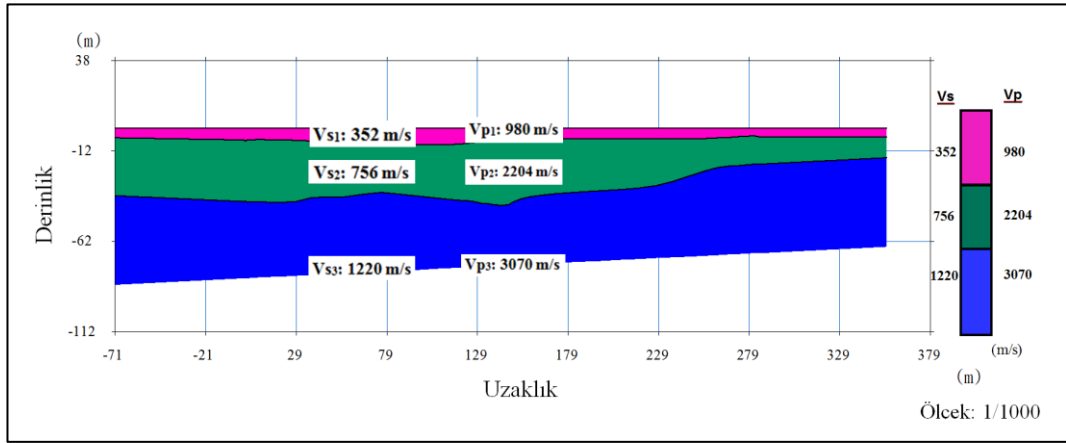
K_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



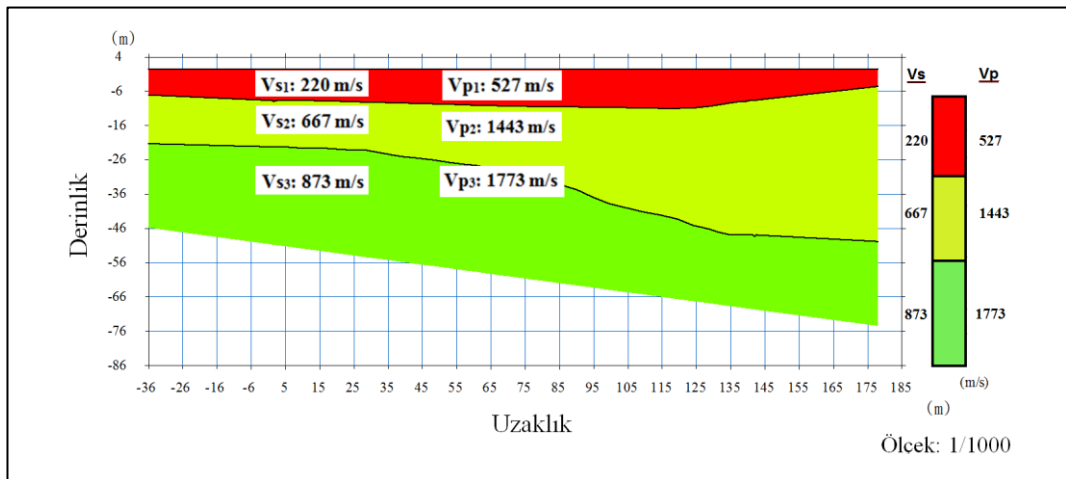
M_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



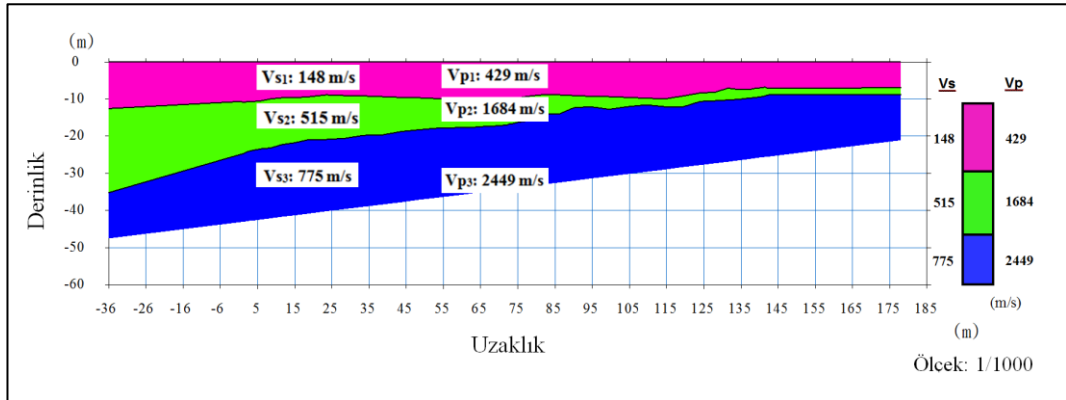
O_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



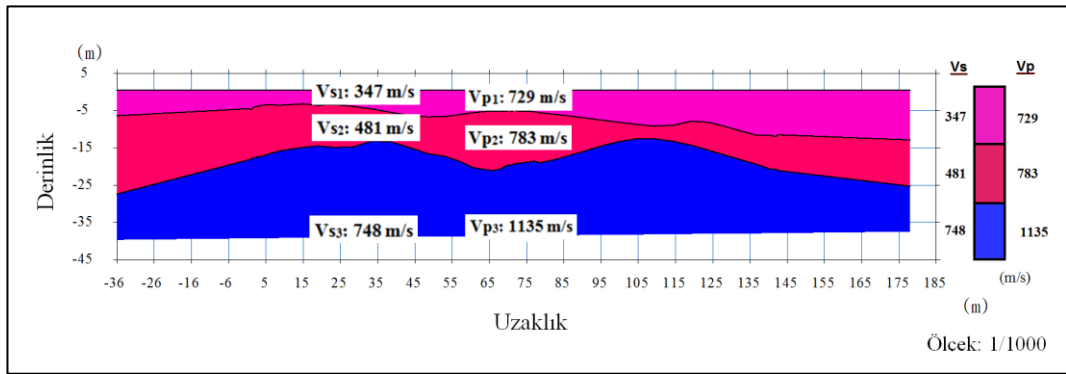
S_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



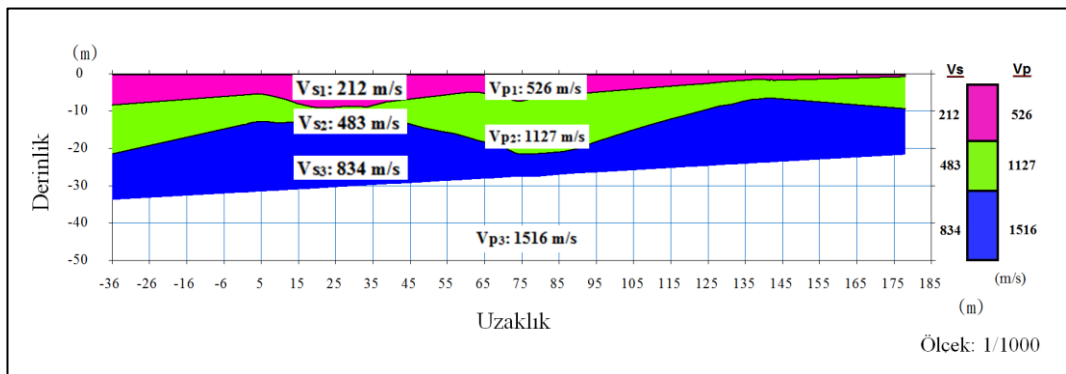
S_2 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



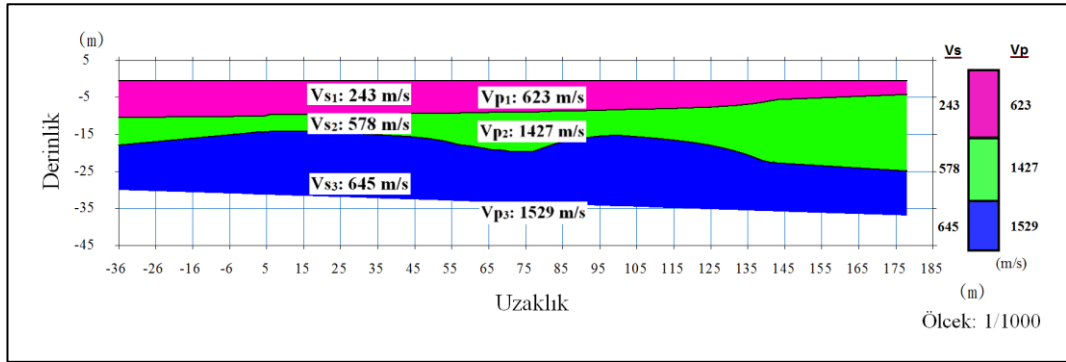
T_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



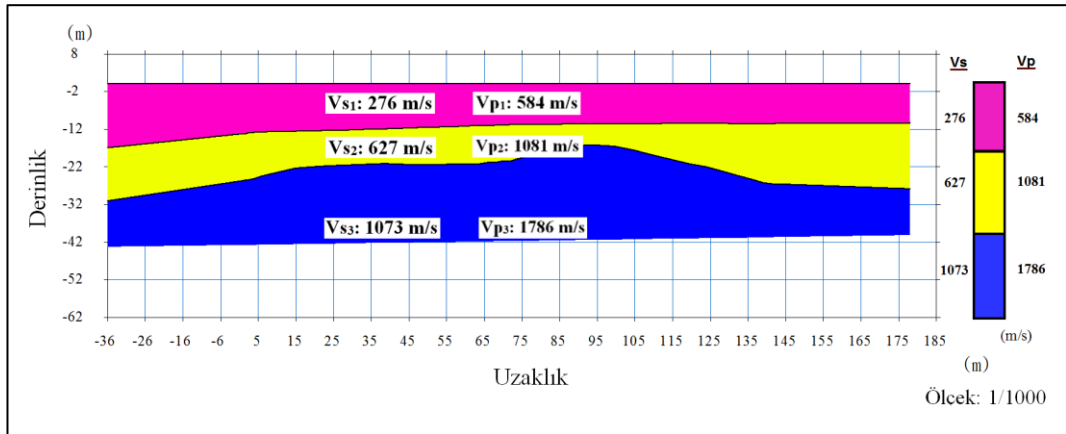
T_2 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



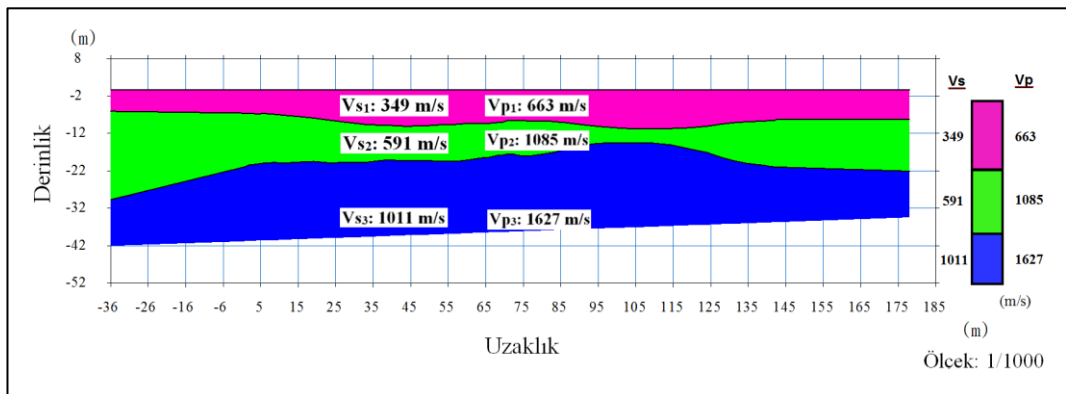
V_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



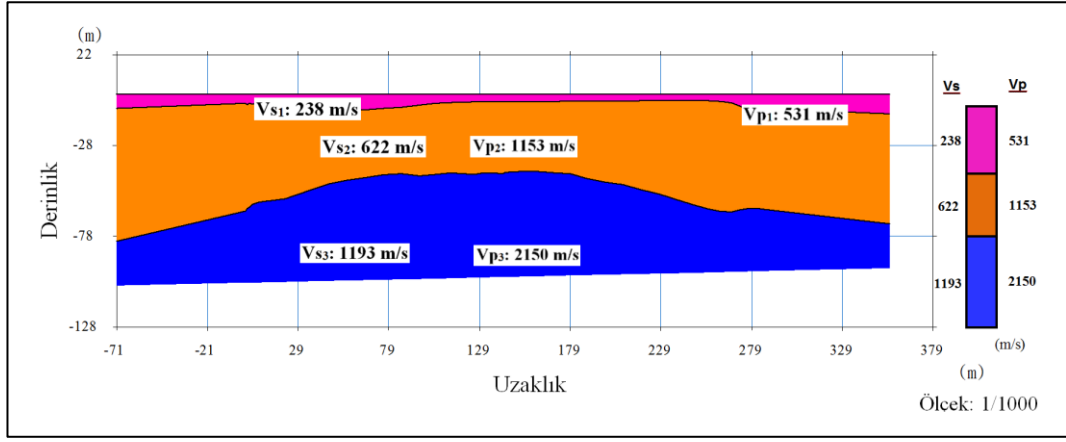
Y_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



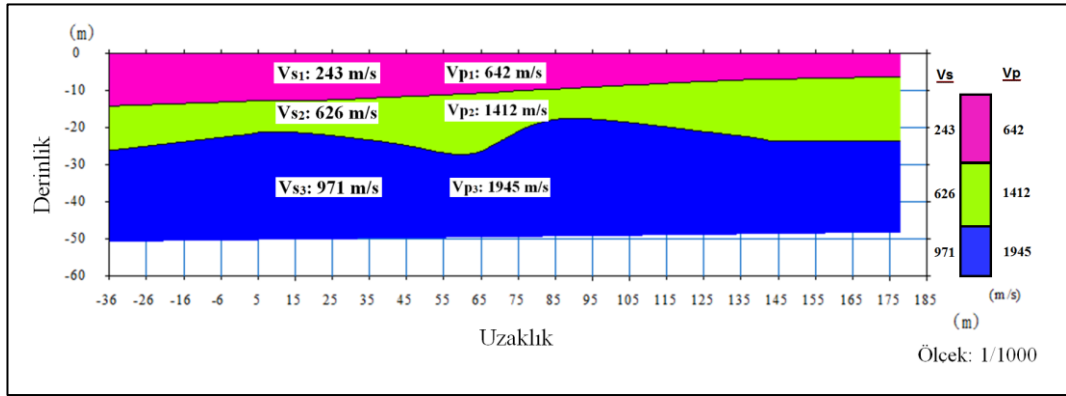
Y_2 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



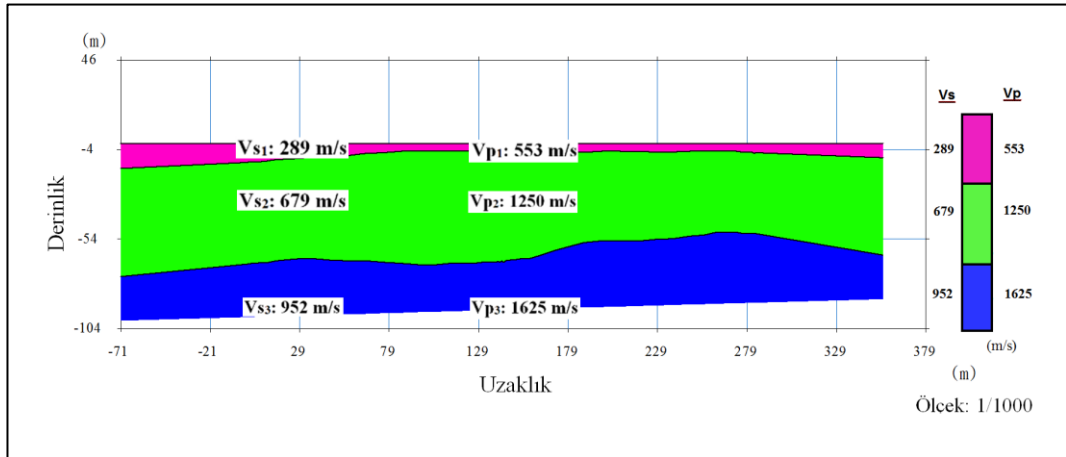
Y_3 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti



Y_4 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti

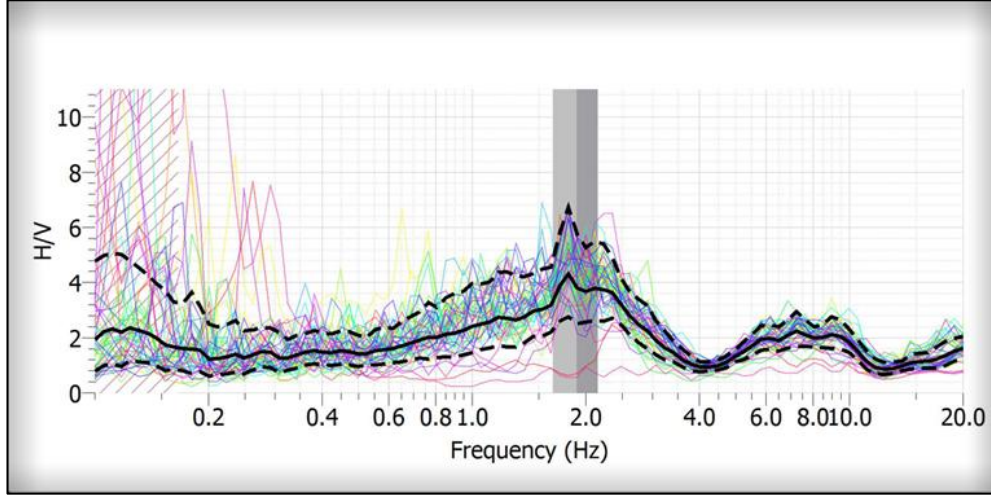


Z_1 Sismik Kırılma Hattı Hız Kesiti

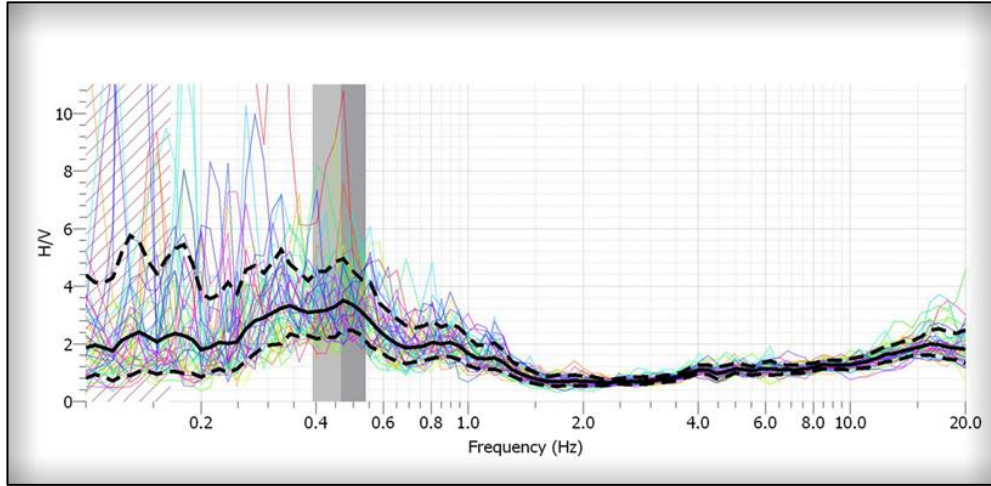


EK 2. Ölçüm Noktalarından Elde Edilen Mikrotremör Kayıtları

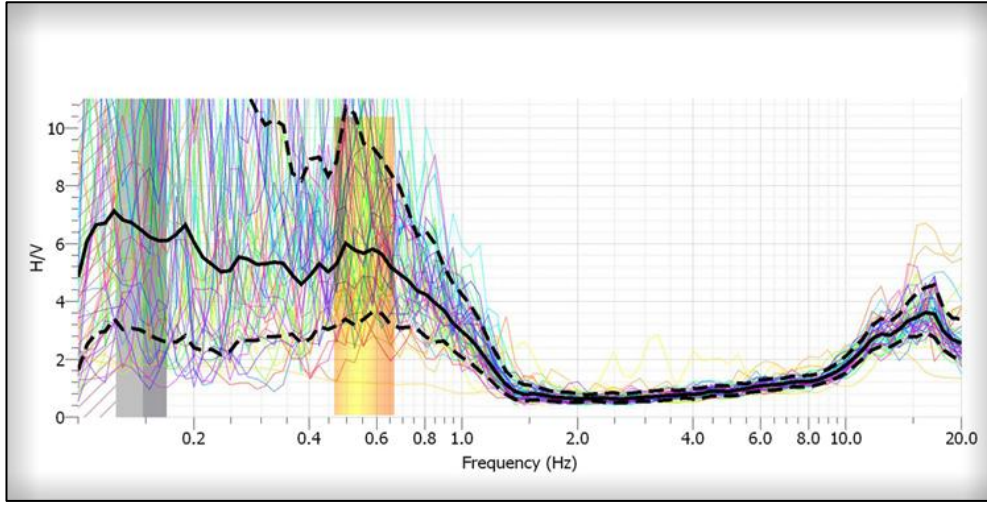
A_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



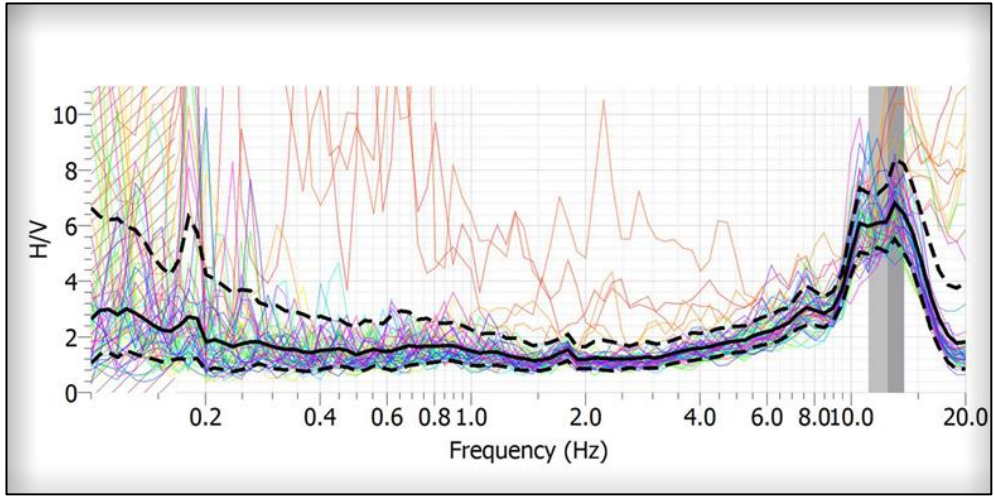
B_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



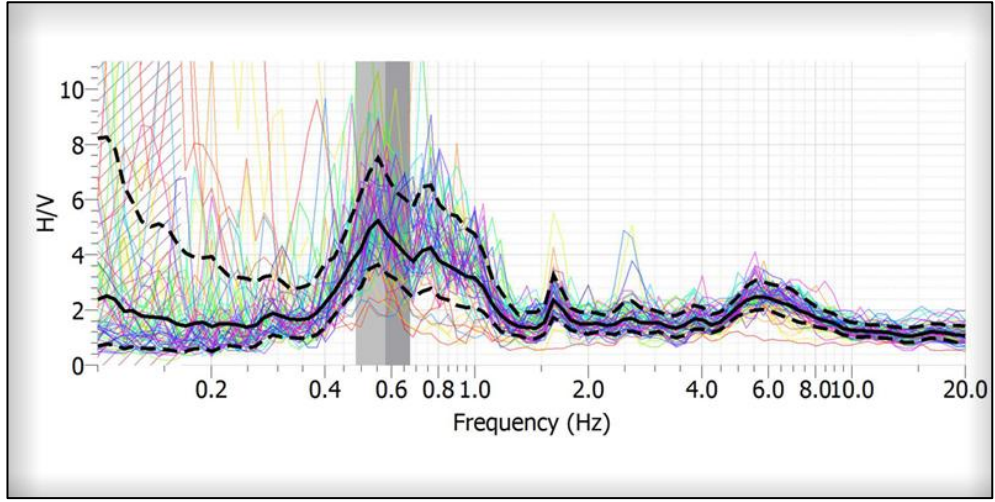
C_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



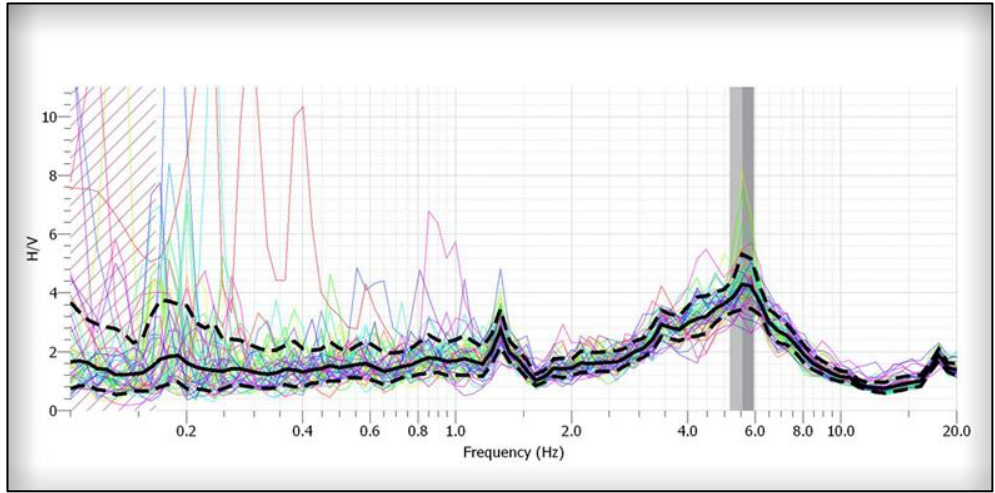
C_2 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



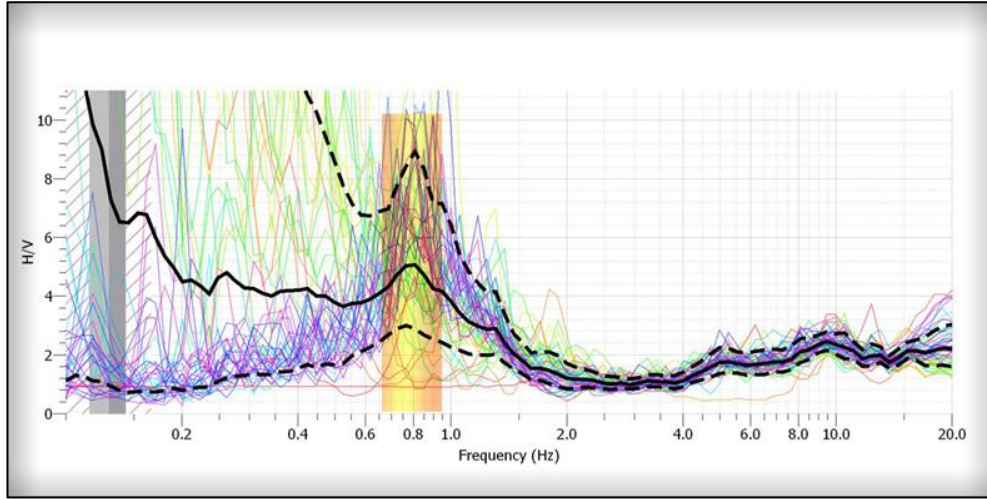
D_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



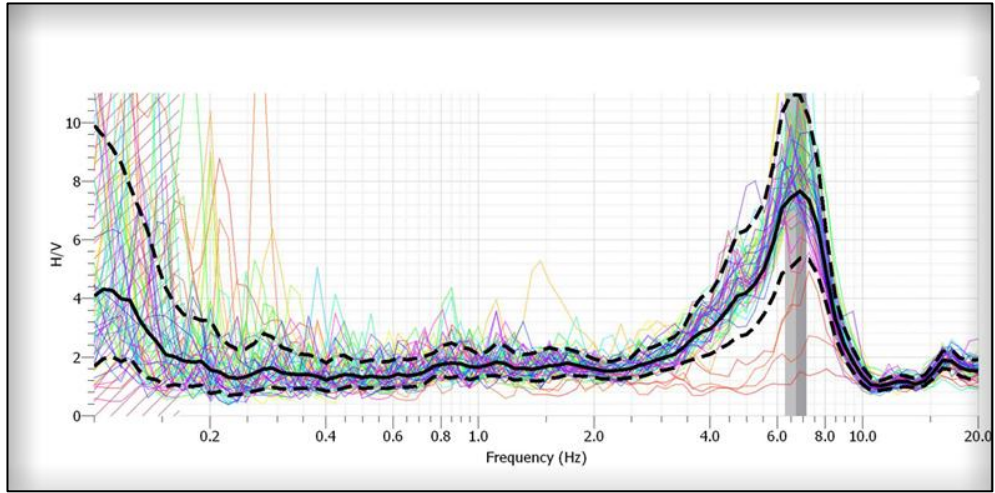
D_2 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



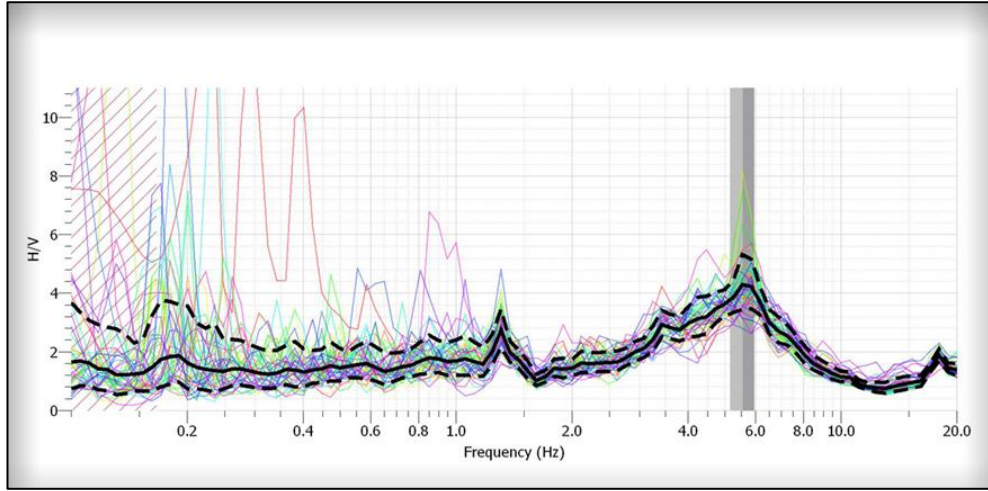
E_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



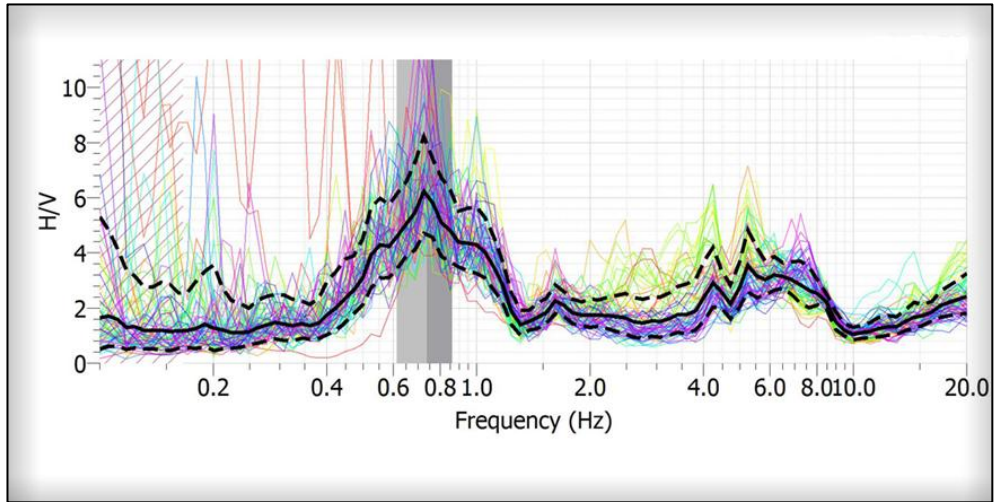
I_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



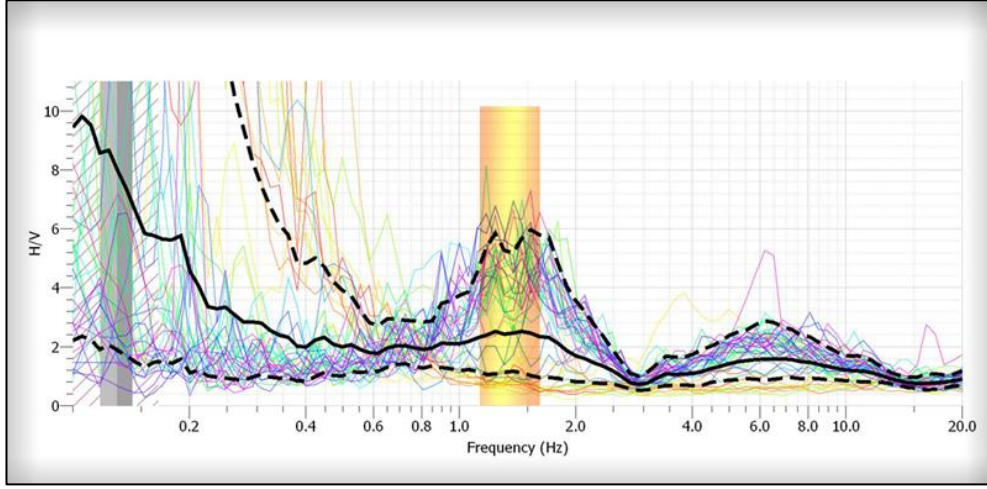
I_2 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



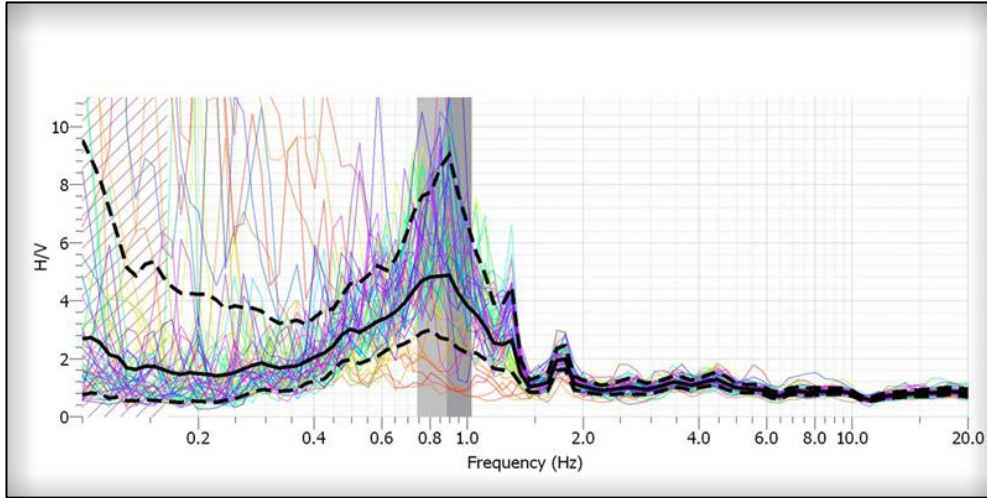
I_3 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



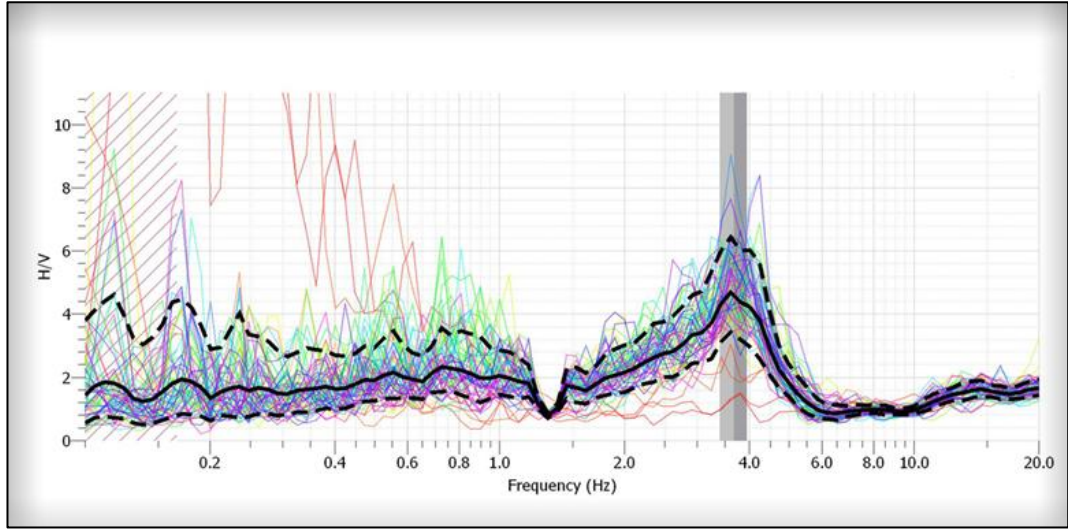
K_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



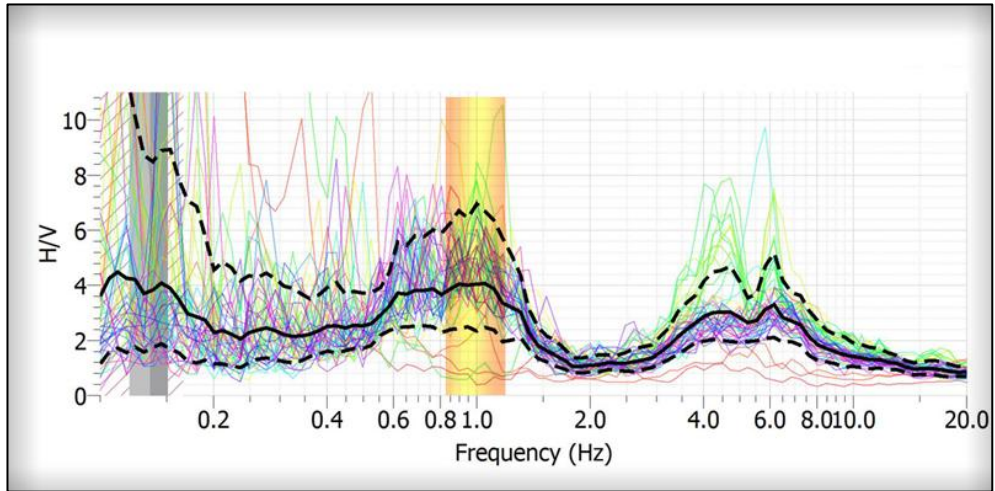
M_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



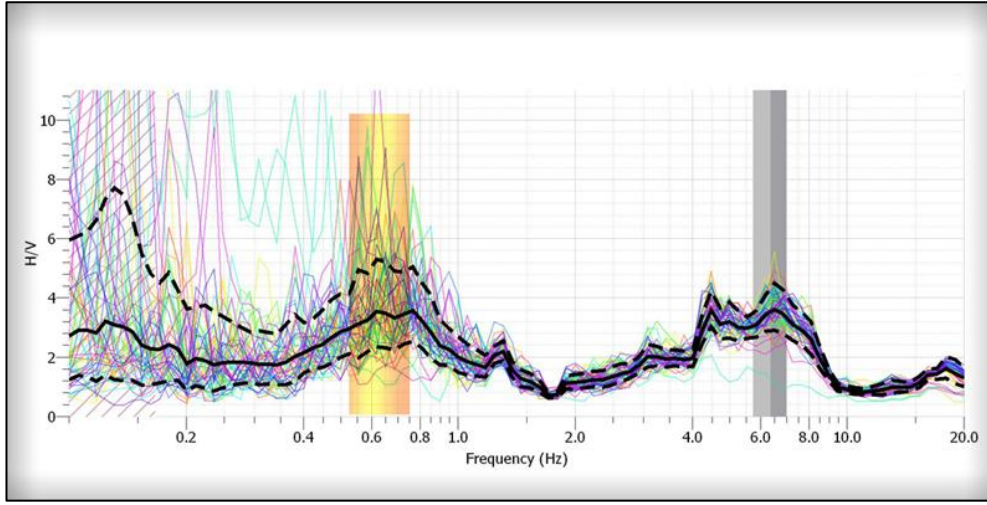
O_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



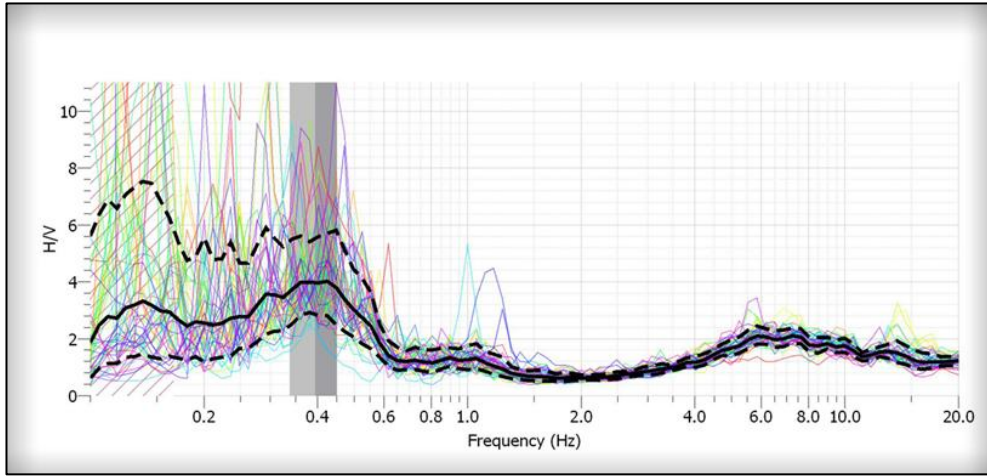
S_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



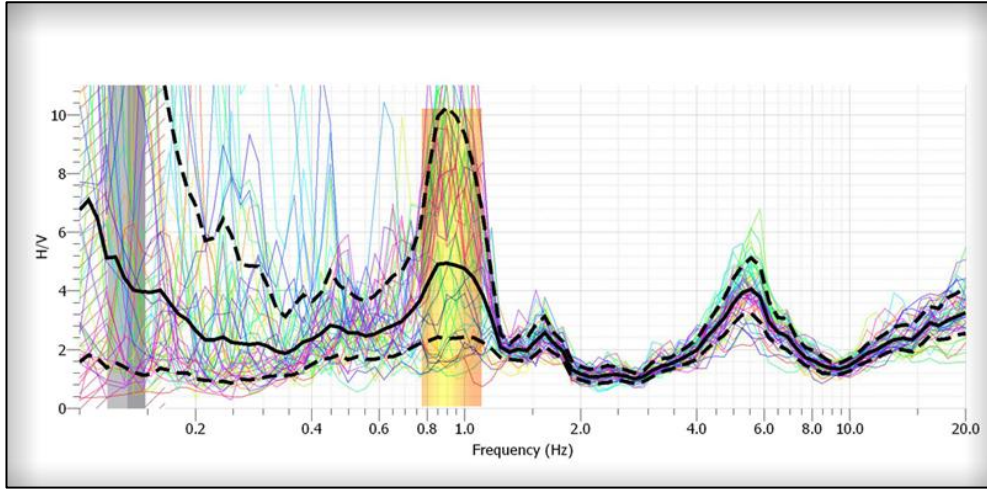
S_2 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



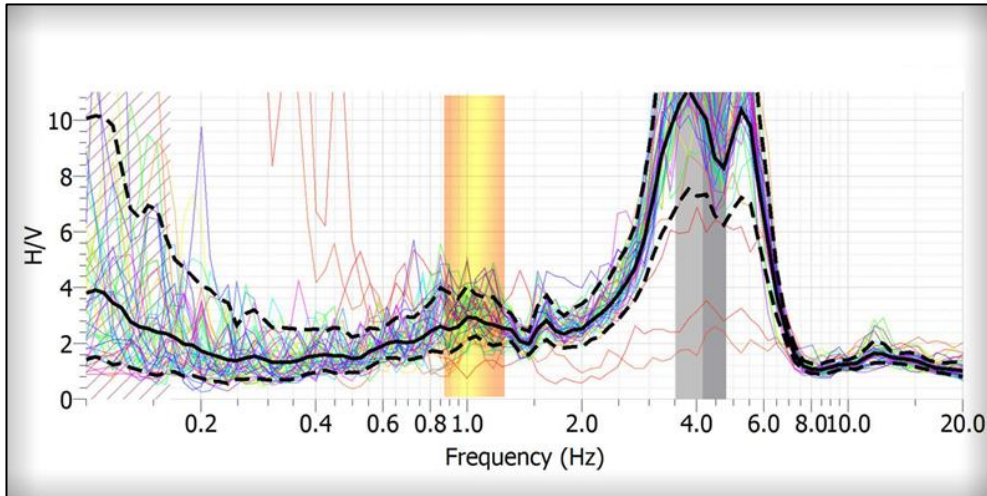
T_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



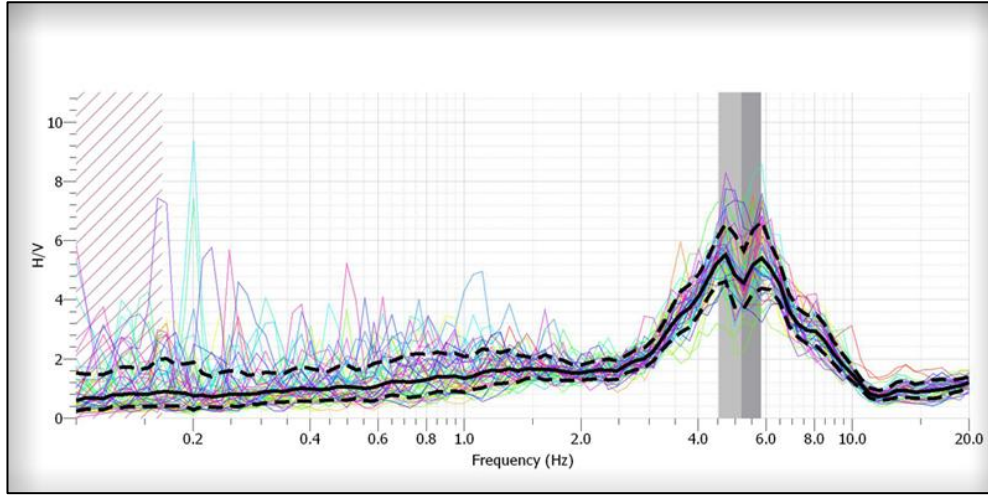
T_2 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



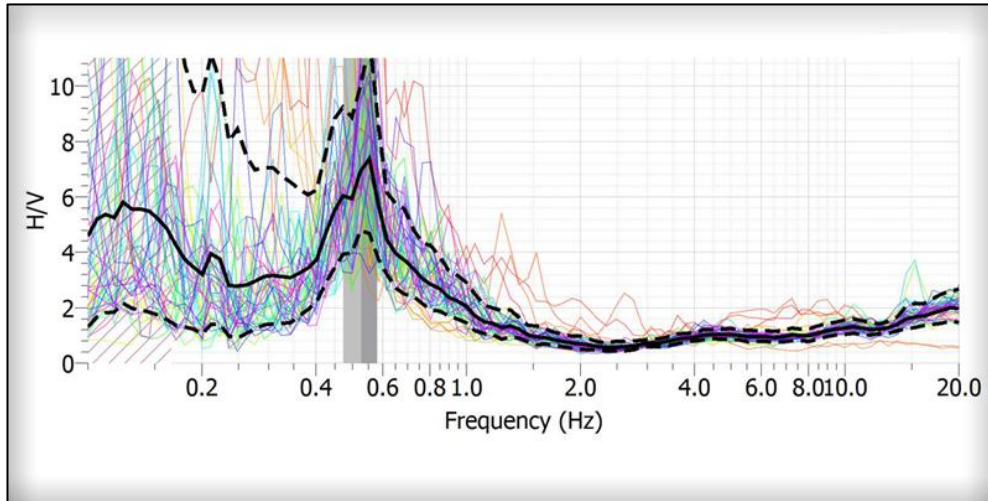
V_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



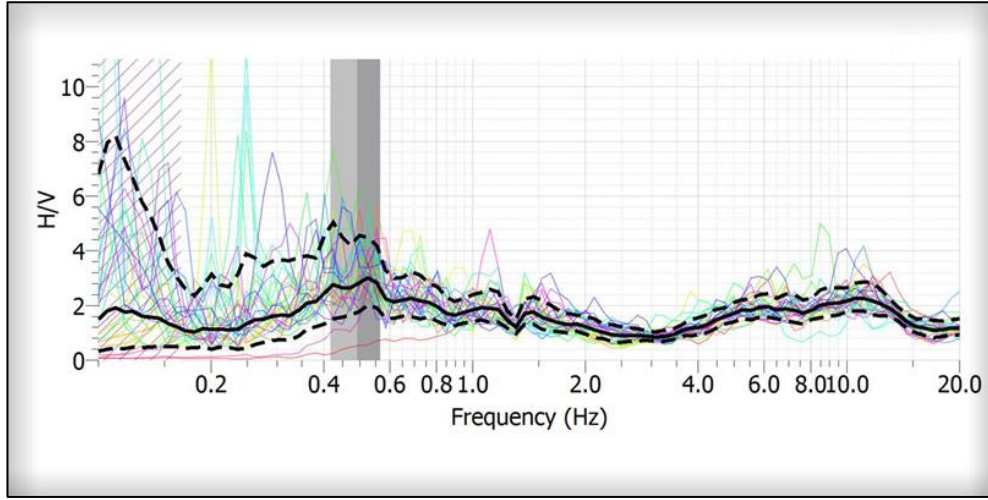
Y_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



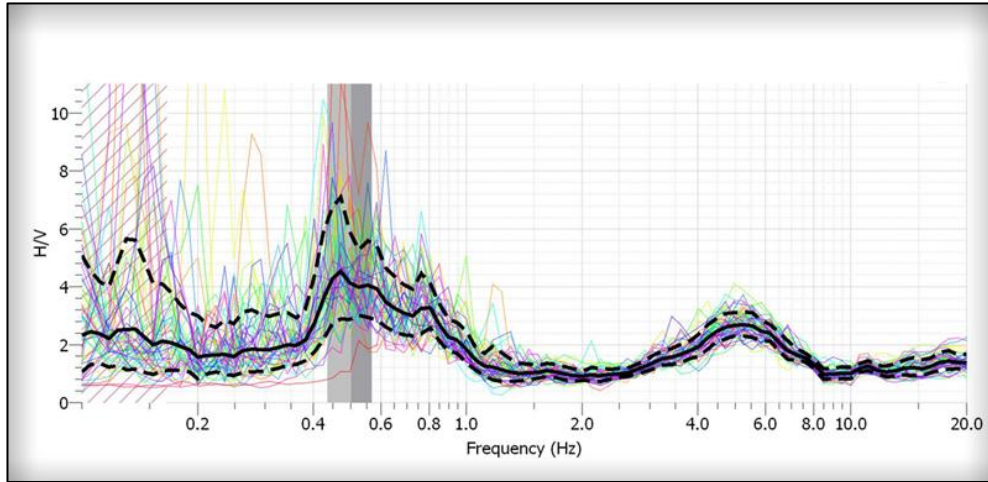
Y_2 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



Y_3 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



Y_4 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı



Z_1 Ölçüm noktasından alınan mikrotremör kaydı

