

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANKARA'NIN BATISINDAKİ YERLEŞİM
ALANLARININ ZEMİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN
JEOFİZİK YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülçin FELEK

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Gündüz HORASAN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANKARA'NIN BATISINDAKİ YERLEŞİM
ALANLARININ ZEMİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN
JEOFİZİK YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülçin FELEK

Enstitü Anabilim Dalı

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Gündüz HORASAN
Jüri Başkanı**

G. Horasan

**Dr. Öğr. Üyesi
Günay BEYHAN
Üye**

Günay Beyhan

**Doç. Dr.
fa K. KOÇKAR
Üye**

fa K. Koçkar

BEYAN

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

Gülçin FELEK

10.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin süresince her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Gündüz HORASAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında bana destek olan çalışma arkadaşlarım Doç. Dr. Mustafa Kerem KOÇKAR ve Dr. Arif Mert Eker'e teşekkür ederim.

Bu çalışmamda her türlü yardımlarını esirgemeyen babama ve anneme teşekkürlerimi borç bilirim

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLOLAR LİSTESİ	v
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TANITIMI	3
2.1. Genel Konum	3
2.2. Genel Jeoloji	3
2.2.1. Pliyo-Pleyistosen akarsu ve göl çökelleri	5
2.2.2. Kuaterner alüvyonlar	6
2.3. Ankara'nın Depremselliği	6
2.4. Depremlere Göre Zemin Davranışı	9
BÖLÜM 3.	
ANKARA VE CİVARINDA YÜZEY DALGALARI ANALİZİ	12
3.1. Kullanılan Yöntemler	12
3.1.1. Yüzeysel dalgası analiz yöntemi	12
3.1.2. Mikrotremör yöntemi	38

3.2. Yerel Zemin Sınıflandırması	46
3.3. Zemin Hakim Titreşim Periyodu	48
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	55



KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Azami tabaka hızı için büyütme faktörü
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AHSA	: 0,4-2,0 sn aralığı içinde ortalama yatay spektral büyütme
FFT	: Fast Fourier Transform
MAM	: Titreşimcik Dizi Yöntemi
MASW	: Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi
SPAC	: Titreşimciklerin analizinin mekansal oto-korelasyon
T_p	: Yer salınım periyotları
V1	: 30 m. De meydana gelen ortalama S dalga hızı
V2	: Bir sn uzunluğundaki dalga içindeki çeyrek dalga uzunluğundaki bir derinliğe karşılık gelen ortalama S dalga hızı
Vs	: Kayma dalga hızı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çalışma Alanı	3
Şekil 2.2. Çalışma alanına ait jeolojik haritası	5
Şekil 2.3. Ankara ve civarını etkileyen önemli tektonik yapılar	8
Şekil 3.1. Veri alım düzeneği	14
Şekil 3.2. Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi	16
Şekil 3.3. Sahada alınan ölçümlere göre tüm dispersiyon dispersiyon eğrilerinin gösterimi	26
Şekil 3.4. Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli	27
Şekil 3.5. Yüzey dalgasının Vs30 değerleri haritası	32
Şekil 3.6. Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birimler	39
Şekil 3.7. Mikrotremör aleti ve ekipmanı	40
Şekil 3.8. Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları	41
Şekil 3.9. Mikrotremör verilerinden çıkan H/V Büyüklüğü	46
Şekil 3.10. Yerin baskın Titreşim Periyodu Haritası	48

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kayma Dalgası Hızı (V_s)'na göre Büyütme Faktörü etkileşimi	11
Tablo 3.2. Çalışma sahasında alınan yüzey dalgası analiz sonuçları ve dinamik zemin parametreleri	33
Tablo 3.3. ABYYHY 'ye göre yerel zemin sınıflaması	47

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yüzey Dalgası Analizleri, Kayma Dalgası Hızı, Yer Salınım Periyodu, Sismik Karakterizasyon, Ankara

Ankara havzası içerisinde yeralan Plio-Kuaterner zemin özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın ana amacıdır. Zemin tipini belirlemek için kayma dalga hızları, yer salınım periyotları, zemin büyütme oranları analiz edilerek çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada yüzey dalgası analiz yöntemi ve mikrotremör yöntemi kullanılmıştır.

Yüzey dalgası yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre $V_{s30} = 310-695$ m/sn aralığında değişmektedir. Ampirik yöntemlerle hakim titreşim periyodu 0,22- 0,51 sn aralığında, zemin büyütme oranı 1,34-2,36 aralığında çıkmıştır. Zemin tipi C sınıfı Z3 grubu ile D sınıfı Z4 grubu arasında değişmektedir.

Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Nakamura yöntemiyle hesaplanmıştır. Zemin büyütme oranları yaklaşık 1,7- 6.7 aralığında, hakim titreşim periyotları ise yaklaşık 0.2- 0.8 sn arasında değişmektedir.

Nakamura yöntemi sonuçları ile ampirik yöntem sonuçları karşılaştırıldığında hakim titreşim periyodu sonuçlarının uyumlu, zemin büyütme oranı sonuçlarının uyumsuz olduğu gözlenmiştir.

Yer etkilerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma sonuçlarının zeminlerin karakterizasyonu ve sismik tehlike analizleri için önemli bir altlık oluşturacağı beklenmektedir.

DETERMINATION OF SOIL STRUCTURAL PROPERTIES OF THE SETTLEMENT AREAS IN WEST OF ANKARA BY GEOPHYSICAL METHODS

SUMMARY

Keywords: Surface Wave Analysis, Shear Wave Velocity, Site Period, Seismic Site Characterization, Ankara

The main purpose of this study is to determine the type of Plio-Quaternary sediments in the Ankara basin. In order to determine the type of soil, shear wave velocities, ground swing periods, soil amplification ratios were analyzed and the results were compared. Surface wave analysis method and microtremor method were used in the study.

According to the results of the surface wave method results range from V_{s30} 310-695 m / sec ranges. The dominant vibration period in empirical methods was in the range of 0.22 to 0.51 sec, and the amplification ratio was in the range of 1.34-2.36. The soil type varies between Class C Z3 and Class D group Z4.

The results obtained from the microtremor measurements were calculated using the Nakamura method. The soil amplification rates range from about 1.7- 6.7 and the dominant vibration periods range from about 0.2 to 0.8 seconds.

The results of the Nakamura method were consistent with the results of the prevailing vibration period when the results of the empirical method were compared, the results of the ground amplification were observed to be incompatible.

It is expected that these study results will be an important source for the site characterization and seismic hazard analysis studies.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Mühendislik jeofiziği yöntemlerinin amacı, mühendislik yapılarını taşıyacak olan zeminin dayanımı, tabakaların kalınlığı, su içeriği, dinamik yük altındaki davranış özelliklerini saptamaktır. Bu amaca yönelik olarak kullanılan sismik yöntemlerden biri de yüzey dalgası yöntemleridir. Bu yöntemler Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) ve ölçülen titreşimciklerin analizinin mekansal oto-korelasyon (SPAC) dönüşümüne dayanan yöntemlerden olan Titreşimcik Dizi Yöntemi (MAM) olup sırasıyla yüzey dalgasının aktif ve pasif ölçümlerine dayanmaktadır.

1. Yüzey dalgaları her zaman en güçlü enerjiyi aldığından arazi veri alımı basittir ve toleranslıdır.
2. Veri işleme prosedürü göreceli olarak kolaydır,
3. Nispeten kısa bir zaman sürecinde geniş bir alan kapsanabilir,
4. Maliyet ve zaman açısından diğerler sismik yöntemler göre çok daha kazançlıdır (Park, 2009).

Bütün bu avantajlarının yanı sıra yüzey dalgaları, cisim dalgaları ile karşılaştırıldığında görece olarak yüksek genlikli olmasından dolayı diğer jeofizik yöntemlerin sınırlı olduğu alanlarda veri alımındaki esneklik ve çevresel gürültülere duyarlı olmaması sebebiyle kayma-dalgası hızı profilinin çıkarılmasının başarı ile kullanılmasını sağlar (Miller ve diğ., 1999).

Birimlerin fiziksel özelliklerinden olan doğal salınım periyodu, sismik büyütme oranı S dalga hızı ile hesaplanır. Bundan dolayı, birimlerin S dalga hızı değişimleri jeoteknik mühendisliği için önemlidir.

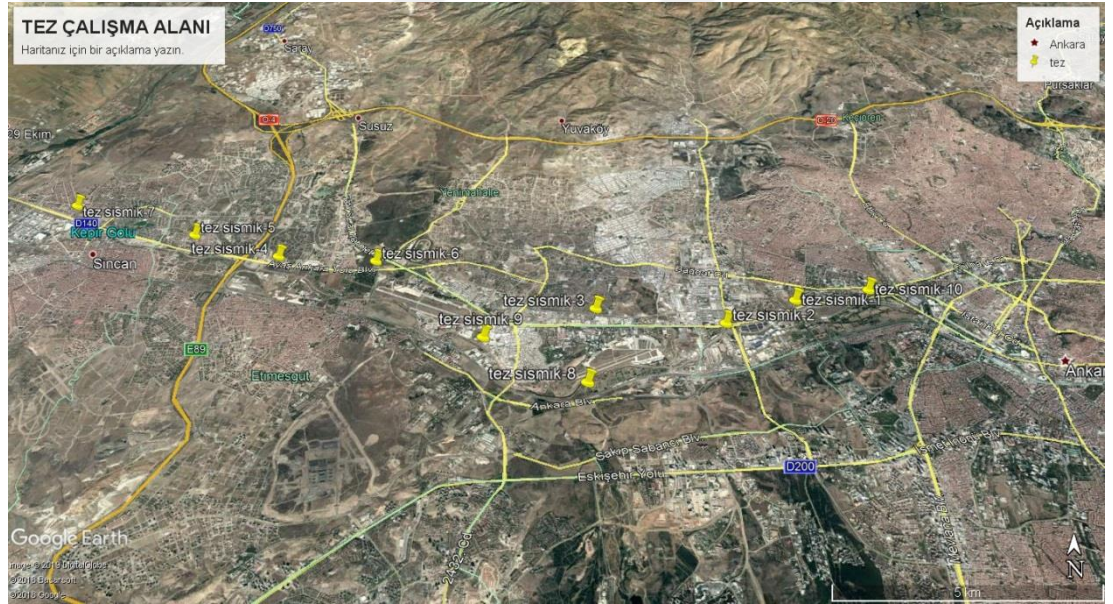
Depreme dayanıklı bina tasarımı çalışmalarında en önemli unsurlardan biri de zemin yapı ilişkisidir. Deprem anında meydana gelebilecek yapısal hasarlara etki eden faktörlerden birisi de mevcut yapının oturduğu zemin kesitinde yer alan tabakaların davranışları ve yerel zemin koşullarıdır. Deprem sırasında bu zemin koşulları deprem kuvvetlerini sönmümlendirici ya da tam tersi artırıcı davranış gösterebilmektedir. Bütün bunlardan da anlaşılacağı gibi depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin önemi oldukça fazladır. Zeminin en önemli dinamik özelliği kayma modülü (G) olup, kayma modülü ile kayma deformasyonunun değişimi V_s kayma dalgası hızı ile bulunurken, zeminin elastik davrandığı durumlarda ise ancak arazide düşük deformasyon genliklerinde ölçülen kayma dalgası hızından hesaplanmaktadır. Dinamik zemin özelliklerinin yerinde belirlenmesinde sismik arazi deneylerinden yaygın olarak faydalanılır. Zeminlerin önemli bir özelliğini temsil eden kayma dalgası hızı kullanılarak zemin tabakalaşması ve zemin cinsleri, gerilme-şekil değiştirme davranışını belirleyen dinamik kayma modülü, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, zemin hakim periyotu, anakaya deprem ivmesinin yüzeye taşınması ve zemin büyütmesi gibi zeminlerin önemli mühendislik özellikleri bulunabilir.

Bu çalışmada Ankara bölgesinde yer alan Plio-Kuaterner birimlerin sismik özelliklerinin belirlenmesi ile bu birimlerin (V_s)kayma dalga hızları, zemin büyütme oranları ve yer salınım periyotlarının belirlenmesi ve mikrotremör verilerinden zemin büyütme değerlerini karşılaştırmak, S dalga hızları, büyütme değerleri, titreşim periyotları çalışmalarına uygunluğu belirlenerek (kayma dalgası karşılaştırılması, zemin sınıfları, birimlerin hakim titreşim periyotları, zemin büyütmesi,) ve bu sonuçlara yönelik zemin özellikleri hakkında bilimsel öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TANITIMI

2.1. Genel Konum

Ankara havzasındaki Plio Kuaterner birimler üzerinde yapılan çalışma alanı Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma Alanı (Google Earth)

2.2. Genel Jeoloji

Ankara, sınırları içerisinde yer alan, Kırşehir Bloku ve Torid Anatolit Platformu üzerinde olup, bir birinden farklı jeolojik özelliklerdeki kayalardan meydana gelmiştir.

En yaşlı birimler, derinleşen bir denize ait çökellerin bugüne gelen izleri olan Triyas yaşlı metamorfiklerden oluşmaktadır. Kıta şevinden ayrılan daha yaşlı (Karbonifer-

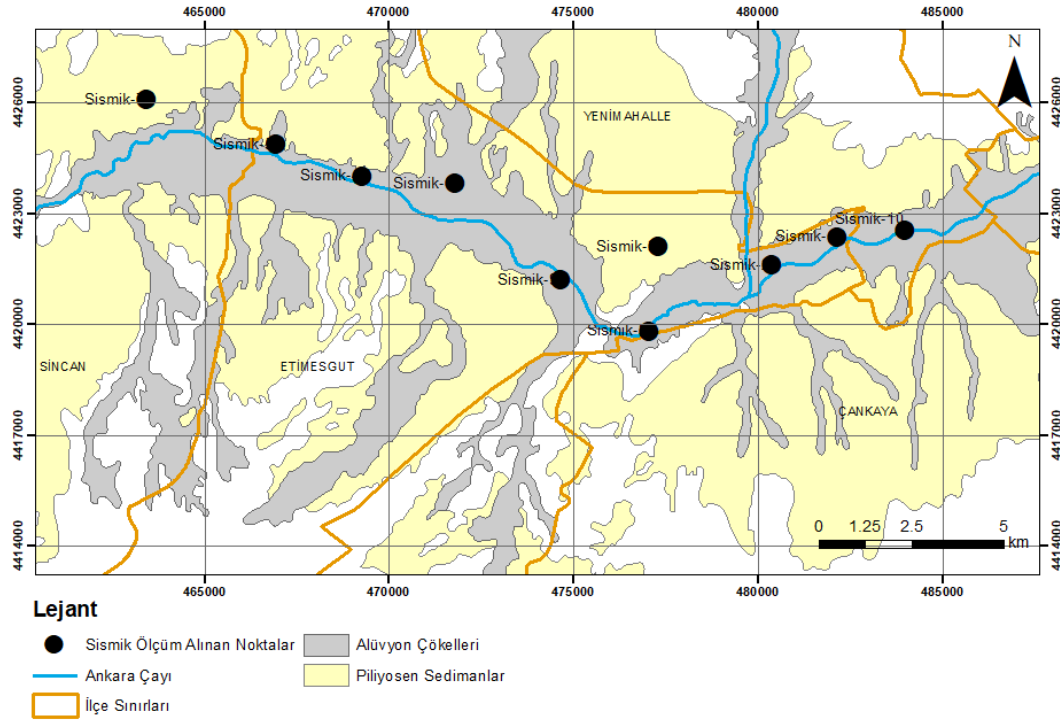
Permiyen) kayaç blokları çökelimle birlikte hareket etmiştir. Okyanusun, Paleotetisin, kapanması sonucu su üstüne çıkan bu kayalar Liyasta açılmaya başlayan yeni bir okyanusun, Neotetis, çökelleri ile örtülmeye başlamıştır. Aynı dönemdeki volkanik aktivite ürünü kayaçlar (aglomera, tuf, bazalt) gelişmeye başlamıştır.

Kretase'den itibaren bölgede etkin olan sıkışma sonucu Neotetisin malzemesi kıta kabuğu üzerinde çıkarak Eldivan Ofiyolit topluluğu ve Dereköy Ofiyolitli Melanji olarak isimlendirilen kayaç karmaşıkları oluşmuştur. Tektonik olaylar sonucunda Üst Kretase'den itibaren başlayan, derinleşme ile derin deniz kayaçları türbiditler çökelmeye başlamıştır. Paleosen'de önemli granitik magma sokulumu meydana gelmiştir. Esosen döneminde karasallaşma başlamış olup, denizel ve karasal ortamlarda kayaçlar meydana gelmiştir. Oligosen'de ise evaporitik göllerde jipsler çökelmiştir. Miyosen döneminde tektonik etkiler önemli volkanik olayları tetiklemiş ve andezit, tuf, aglomera oluşumları geniş alanları kaplamıştır. En genç volkanik aktivite Pliyosen yaşlı Bozdağ bazaltıdır. Pliyosen sonlarında volkanik olaylar durmuştur.

Çalışma alanında yüzeyleyen jeolojik birimler aşağıda detaylı bölümler halinde açıklanmıştır.

2.2.1. Pliyo-Pleyistosen akarsu ve göl çökelleri

Literatürde Ankara Kili olarak da bilinen Pliyo-Pleyistosen akarsu ve göl çökelleri ise karasal kökenli olup çalışma alanının fayla sınırlı baseni ve çevresinde çökelmiştir (Şekil 2.2). Bu birimin kalınlığı, buldukları stratigrafik konuma göre birkaç metreden 200 m'ye kadar değişim göstermektedir (Erol ve diğ., 1980). Kuvaterner alüvyon ve teras sedimanları ise sel suları ile taşınmış ve fayla sınırlı Ankara baseni içerisinde yer alan Ankara Çayı'nın taşkın ovasında çökelmiştir. Kuvaterner çökeller basenin marjinde bulunan teras çökelleri (Üst Pleyistosen) ve basenin ekseninde akarsu taşkın ovasında bulunan alüvyon (Holosen) çökeller olarak ayırtlanmıştır (Kasapoğlu, 1980).



Şekil 2.2. Çalışma alanına ait jeolojik haritası

2.2.2. Kuaterner alüvyonlar

Ankara ilindeki en genç jeolojik oluşumlar ise eski ve güncel alüvyonlardır. Ankara içinde bulunan belli başlı akarsu ve dere yatakları üzerinde bazen Holosen'e kadar inen Kuaterner oluşukları olarak çakıl, kum ve killerin oluşturduğu fazlaca kalın olmayan alüvyal çökeller bulunmaktadır (yaklaşık 20 m derinlikte). Ankara Çayı, Bent Deresi ve İncesu Deresi yatağında oldukça kalın ve fakat fazla geniş olmayan alüvyon örtü yer almaktadır. Adı geçen birim içinde genellikle yüzeye çok yakın yeraltı suyuna rastlanmakta olup, bu durum özellikle bu birim üzerine yapılacak yapılarda önemli problemlere neden olabilmektedir.

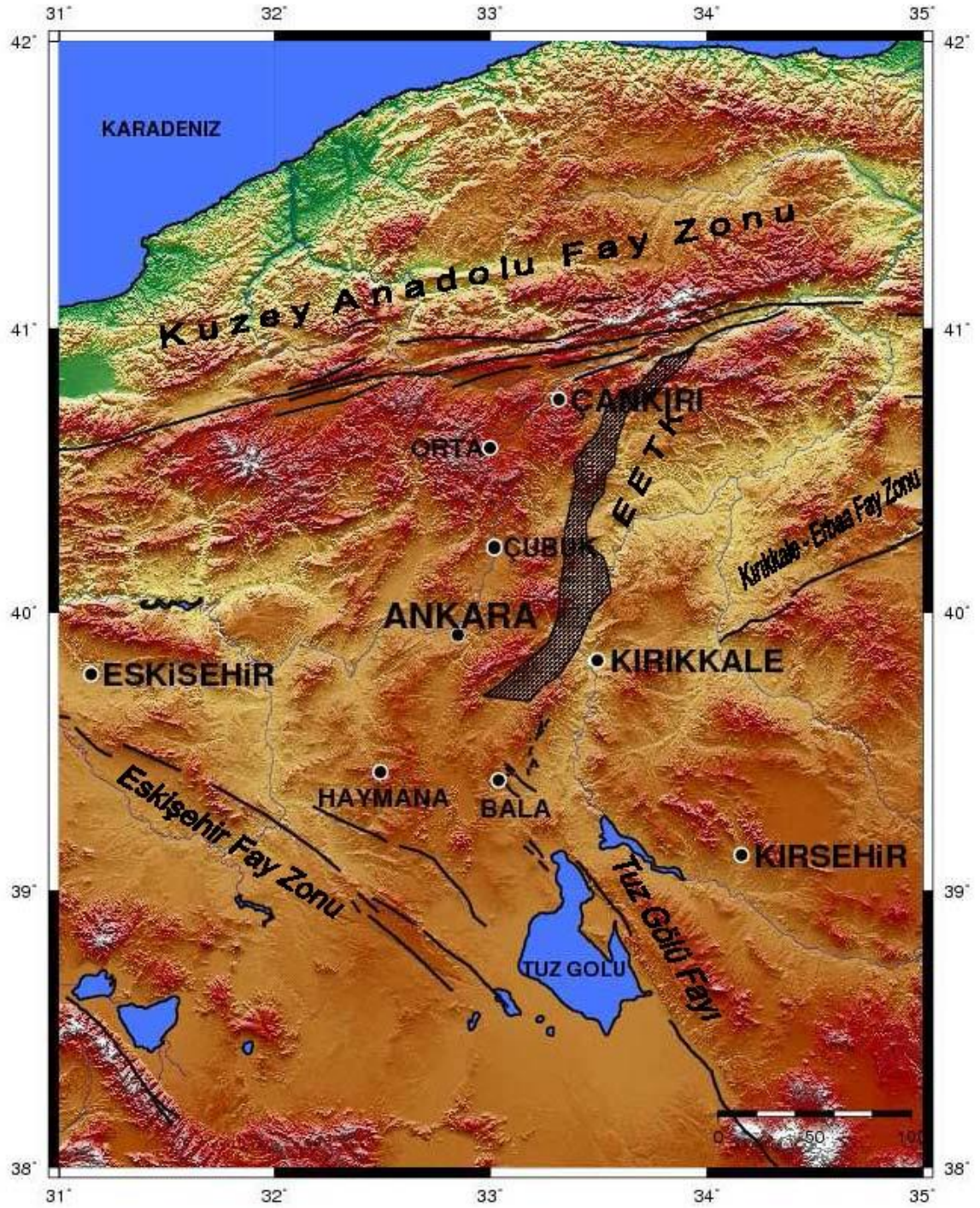
Tutturulmamış, sıkışmamış, gevşek ve yeraltı suyu içeren (yaklaşık 5 m derinlikte) alüvyal zemin içinde bazen ayrıca kil oranının oldukça yüksek olduğu kesimlerde, yine önemli temel-zemin problemleri yaşanabilmektedir. Ankara kili ile karıştırılması nedeniyle nadiren de olsa bir yapının temellerinden bir kısmı alüvyal kil ve bir kısmı da Ankara Kili üzerine oturtulabilmekte, bunun sonucunda ise farklı davranışlar sergileyen iki değişik zeminde önemli yapısal problemler ortaya çıkabilmektedir.

Alüvyal kil; yumuşak ve genellikle homojen karakterdedir. Bununla birlikte kum-çakıl bantları içerdiği kesimler de bulunmaktadır. Çoğunlukla suya doygun olması nedeniyle taşıma gücü açısından problem yaratmaya yatkındır (alüvyonlarda yeraltı su seviyesinin çok yüksek olduğu belirtilmişti).

2.3. Ankara'nın Depremselliği

Ankara kent merkezi etrafında yer alan faylar sismik olarak aktiftir, ancak küçük ve orta ölçekli deprem üretme potansiyeline sahiptirler ($M \leq 6$). Bu depremler nispeten küçük ve orta büyüklükte sismik aktivitelerdir. Ancak bölgesel ölçekte bakıldığında Ankara'nın, çevresinde yer alan ve özellikle de büyük ölçekli yıkıcı deprem ($M > 7.0$) üretme kapasitesine sahip fay sistemlerinden önemli ölçüde etkilenebilir (Koçkar, 2016).

Son yıllardaki çalışmalarda, Ankara ve çevresinde gerçekleştirilmiş olan aktif tektonik sonuçlar (Şekil 2.3), bölgenin, K-G ve K-B yönlerinde baskın olan sıkışma gerilimlerinin etkisinde olduğunu ortaya koymuştur. Bu sıkışma gerilimi, kuzeybatı Orta Anadolu'daki doğrultu atımlı tektonik aktivitelerinin ve ilgili faylanmanın temel sebebidir. Bölgede üç fay sistemi, birden fazla fay kuşağı ve fazla sayıda aktif tekil fay bulunmaktadır. Bunlar Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS), İnönü-Eskişehir fay sistemi, Kırşehir fay sistemi ile Balaban-Küredağ, Kesikköprü, Dodurga, Çeltikçi, Tuz Gölü, Sarıoba-Ayaş, Kazan, Elmadağ, Kırıkkale-Sungurlu ve Afşar (Bala) fay kuşakları söylenebilir. KAFS Anadolu ile Avrasya plakalarının sınırını oluşturmaktadır. Etkisi fazla yüksek olan bu fay sistemleri, tekrarlama aralığı yaklaşık 250-300 yıl ve büyüklüğü $M_w = 7.0$ 'den büyük yıkıcı deprem yaratma potansiyeline sahiptir (AFAD Deprem Katoloğu, 2019).



Şekil 2.3. Ankara ve civarını etkileyen önemli tektonik yapılar (Seyitoğlu vd. 2009)

2.4. Depremlere Göre Zemin Davranışı

Deprem süresince sismik dalgalar, özellikle kayma dalgalarının etkisi ile genellikle drenajsız suya doymuş ve gevşek zeminler içinde yayılırken birbirine göre kayma kuvvetleri yaratarak zemin partiküllerinin yerdeğiştirmesine neden olurlar. Bu koşullar altında doymuş ve gevşek zemin partikülleri birbirine yaklaşma eğilimi gösterirler. Bu durumdaki partiküllerin temas noktalarındaki gerilim partikülleri çevreleyen suya iletilir. Deprem süresince sismik dalgalar ani ve çok kısa süreli hareketlere neden olmasından dolayı, partiküller arası suyun drene olması için gereken yeterli süreye olanak tanımamaktadır. Dolayısıyla ortamdan uzaklaşamayan gözenek suyunun basıncı aniden artmaktadır. Gözenek suyundaki bu ani artış, zemin partiküllerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek partikülleri birbirinden uzaklaştırır. Böylece zemin dayanımını yitirir. Efektif düşey basıncın sıfır olduğu bu koşullar altında zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı zemin davranışı yerine, bir sıvı gibi davranarak suyla birlikte yüzeye doğru hareket eder ve yüzeyden fişkırmaya başlar. Zeminin dinamik yükler sonucunda ortaya koyduğu bu davranış biçimi sıvılaşma olarak tanımlanır. Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi altındaki tabakaların geçici olarak mukavemetlerini kaybederek, katıyerine viskoz sıvı gibi davranmalarındır. Özellikle, kil bulunmayan kum ve siltler ve bazen çakıllar sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Deprem sırasında, dalgaların özellikle kayma dalgalarının suya doymuş daneli tabakalardan geçerken, dane yerleşim düzenini değiştirir, gevşek olarak bulunan danelerin göçerek yerleşmesine ve sıkışmasına sebep olur. Bu yerleşme sırasında daneler arasında su yol bulup kaçamazsa boşluk suyu basıncı yükselir. Eğer bu basınç üstte bulunan tabakaların ağırlığına yakın bir seviyeye ulaşırsa, daneli tabaka geçici olarak sıvı gibi davranarak sıvılaşma olayını ortaya çıkarır. Zeminin sıvılaşması sonucu yapı, zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gözlenebilir. Sıvılaşan zemindeki küçük kayma gerilmeleri altında büyük şekil değiştirmelere sebep olur ve yapılarda zemin göçmesi hasarları meydana getirir. Bir zeminin sıvılaşması esas olarak gevşek bir yerleşime sahip olmasına, daneler arasındaki bağ ve kil miktarına ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır (Uyanık, 2002, Aşçı ve diğ., 2003, Aşçı ve diğ., 2004a, c; Özçep ve diğ., 2004; Zarif ve diğ., 2004).

Yeryüzüne yakın ve sağlam bir kaya üzerinde yer alan zemin, deprem nedeniyle oluşan dalgaları filtreleyerek bazı periyottaki genlikleri artırırken bazı periyottaki genlikleri de azaltabilmektedir. Bu olgu genellikle “zemin büyütmesi” olarak bilinmektedir (Eyidođan, 2001). Yer içinde bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar kaynaktan yola çıkarlar ve yer içinde hızla yayılırlar. Bu dalgalar yer yüzeyine eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır. Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin büyük bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert kaya içinde geçirmelerine karşın, seyahatlerinin son bölümü özellikleri kayaya göre oldukça farklı olan yumuşak zemin tabakaları içinde geçer ve bu zemin tabakalarının özellikleri yer yüzünde gözlenen titreşimin doğasını büyük ölçüde belirler. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönmümlendirilirken bazıları da büyütülür. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne yerel zemin etkisi adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlendiğinden yerel zemin etkisi terimi zemin büyütmesi veya zemin transfer fonksiyonu, zemin tepkisi olarak da adlandırılır. Teoride zemin büyütmesi terimi, sismik dalgaların yer yüzüne yakın yumuşak zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinin artmasına karşılık gelir. Bunun nedeni zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluk, yani düşük empedans değeridir. Pratikte ise zemin büyütmesi terimi, sismik dalgaların iki yakın yer arasında gösterdiği, nedeni empedans farkı olsun olmasın, herhangi bir farkı temsil etmek için kullanılır (Yalçınkaya, 2001).

Zemin büyütmesini etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

1. Empedans oranı ve rezonans etkisi,
2. Basen altı topografyasına bağlı olarak oluşan odaklanma,
3. Basen kenarlarından oluşan yüzey dalgaları,
4. Doğrusal olmayan zemin davranışı,
5. Topografya etkisi.

Zeminin kayma dalgası hızı, zemin büyütmesini değerlendirmek için kullanışlı indeks özelliğidir. Büyütme faktörünün, anakaya–zemin tabakası sismik kayma dalgası hızları ile doğru orantılı bir ilişkide olduğu bulunmuştur. Anakayanın kayma dalgası hızının geniş bir alanda nispeten sabit olarak bulunduğu yerlerde; her bir lokalite için bağıl büyütme miktarı zemin tabakasının kayma dalgası hızından elde edilebilir Tablo 2.1’ de bu ilişkiler verilmiştir.

Tablo 2.1. Kayma Dalgası Hızı (V_s)’na göre Büyütme Faktörü etkileşimi (ISSMFE, 1993)

Araştırmacılar	İlişki
Midorikawa (1987)	$A = 68 V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100$ m/sn) $A = 1$ ($V_1 > 1100$ m/sn)
Joyner and Fumal (1984)	$A = 23 V_2^{-0.45}$
Borcherdt ve diğ. (1991)	$AHSA = 700/V_1$ (zayıf hareket için) $AHSA = 600/V_1$ (kuvvetli hareket için)

A: Azami tabaka hızı için büyütme faktörü

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

V_1 : 30 m. De meydana gelen ortalama S dalga hızı

V_2 : bir sn uzunluğundaki dalga içindeki çeyrek dalga uzunluğundaki bir derinliğe karşılık gelen ortalama S dalga hızı

BÖLÜM 3. ANKARA VE CİVARINDA YÜZEY DALGALARI ANALİZİ

3.1. Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada aynı noktalardan doğudan batıya doğru olmak üzere 10 adet yüzey dalgası (10 adet MASW, 10 adet MAM) yöntemi ve 10 adet Mikrotremör yöntemleri kullanılarak toplam 30 adet ölçüm, 21 km uzunluğunda 3,5 km genişliğinde bir alanda alınmıştır.

3.1.1. Yüzey dalgası analiz yöntemi

Yüzey dalgalarının yayılım hızı (faz hızı) frekansa (veya dalga boyuna) bağlıdır. Bu özelliğe dağılım (dispersion) denir. Bu eşsiz karakteristik her yayılan frekans için farklı bir dalga boyu olması sonucunu doğurur. Bu özelliğe dağılım denir (Park, ve diğ., 1999). Yeraltı tabakalarının kesme dalgası hızları, oluşturulan dağılım eğrisi kullanılarak geri hesaplama (ters çözüm) işlemi ile elde edilebilir. Geleneksel yöntemlerin aksine yüzey dalgaları yöntemleri bu özellikten dolayı elastik dalga denkleminde dayanır ve bu analizler tamamen frekans alanında gerçekleştirilir (Hayashi, 2008).

Deneysel verinin edinilmesindeki ilgilenilen frekans aralığı ve mekansal örnekleme farklılıkları yöntemler arasındaki ana ayrılık olsa da yüzey dalgası yöntemlerinin analizinin prosedürünün tamamı, Rayleigh dalgalarının tabakalı ortamdaki dağılım doğasına bağlı oldukları için aynı ana üç adıma dayanmaktadır (Foti, 2005). Bu adımlar: 1) Deneysel verinin alınması, yani sismik dalgaların mekanik sensörlerle saptanması ve kaydedilmesi, 2) Deneysel dağılım eğrisini oluşturmak için sinyal işlemesi ve 3) 1-B kayma dalgası hız profiline elde edilmesi için hesaplanmış olan dağılım eğrisinin ters çevrimi (inversion) (Foti, 2005, Jin ve diğ., 2006). Dağılım

ilişkinin kurulması doğru kayma dalgası hızı profilini hesaplamak için çok kritik bir adımdır.

Yüzey dalgaları, aktif ve pasif kaynaklar olmak üzere iki şekilde üretilir. Aktif kaynaklar sismik enerjinin belirli bir konumda jeofon serimine göreceli olarak özellikle üretildiği ve kaynak enerji yere uygulandığında kaydın başladığı anlamına gelmektedir. Yüzey Dalgasının Çok-kanallı Analizi (MASW) (Park, 1999) yöntem, aktif kaynaklı yüzey dalgası yöntem olarak sınıflandırılır. Bu durum, Titreşimcik Dizi Yöntemi (MAM) (Okada, 2003; Hayashi, 2008) olarak bilinen pasif yüzey dalgası etütlerinde tam tersidir. Bu yöntemlerde herhangi bir zaman kırılması mevcut değildir ve jeofon serimine göre çeşitli ve genellikle konumları bilinmeyen doğal olaylarla (rüzgar, dalga hareketi) ve/veya yapay kaynaklardan (toplumsal gürültü, yani trafik, makina ve benzeri) üretilen ortam enerjisinin hareketi kaydedilir (SeisImagerSW Kullanım Kılavuzu 2.2, 2006).

Özetle, her iki yöntemde optimum veri alma parametreleri kullanılarak, pasif yüzey dalgası yöntemi (MAM) 1-B kesme dahası hız profilini oluşturmak için olan derin tabakaların bilgilerinin doğru olarak alınmasını sağlar. Diğer yandan, yüzey dalgalarının doğası ve jeofon aralığına yakınlıkları yüzünden aktif yüzey dalgası yöntemi (MASW) bu amaçlar için daha sık tabakaları çözme konusunda daha yüksek kapasitesi vardır. Bu yüzden, aktif yöntem ile birlikte pasif yüzey dalgası yöntemi inceleme derinliğini maksimuma ulaştırmasını ve her derinlikte (bu çalışmada 30 m ve olabildiğince daha derin) yüzeyden tahribatsız olarak bileşik yüksek çözünürlüklü sonuç elde edilmesini sağlar. Bu tez çalışmasında aktif kaynaklı Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi yöntemi (Multi spectral Analysis of Surface Waves, MASW), ve pasif kaynaklı MAM (Microtremor Array Method) yöntemleri kullanılmış olup bu yöntemlerde elde edilen bileşik dispersiyon eğrileri kullanılarak daha yüksek çözünürlüklü ve daha güvenilir 1 B Vs profilleri oluşturulmuştur.

İnceleme alanında, arazinin uygunluğuna bağlı olarak toplam 10 adet sismik (aynı noktalarda 10 adet MAM ve 10 adet MASW) serim yapılarak yüzey dalgası ölçümlerini alınması sağlanmıştır. Ölçümler, "GEODE" marka sinyal biriktirmeli

sismograf ve 12 adet doğal frekansı 4.5 Hz olan jeofonlar yardımı ile alınmıştır. MAM yönteminde; hedef derinlik olan 30 m ve daha da derin zemin profillerinin elde edilmesini sağlamak için 10 m'lik jeofon aralıklarıyla 110 m'lik profil boyunca kayıtlar alınmıştır. MASW yönteminde ise jeofon aralığı 1.5 metre olarak belirlenmiş olup, ölçümler 16.5 metrelik profil boyunca alınmıştır. Bu şekilde, daha sık tabakaların hızları hakkında yüksek çözünürlüklü ve daha hassas kayıtlar alınmıştır. Ölçümler 5, 10 ve 15 metre olmak 3 farklı vuruş uzaklığına göre biriktirmeli alınmıştır. Biriktirme sayısı ortam gürültüsüne bağlı olarak 3 ile 5 arasında seçilmiştir. Üç farklı vuruş uzaklığına ek olarak hem veri işleme de kullanılmak üzere, hem de MASW yönteminin ana varsayımlarından biri olan yanal homojenliği test etmek için 5 metre mesafeden ters atış ölçümleri de alınmış ve veri işlemlerine dahil edilmiştir.



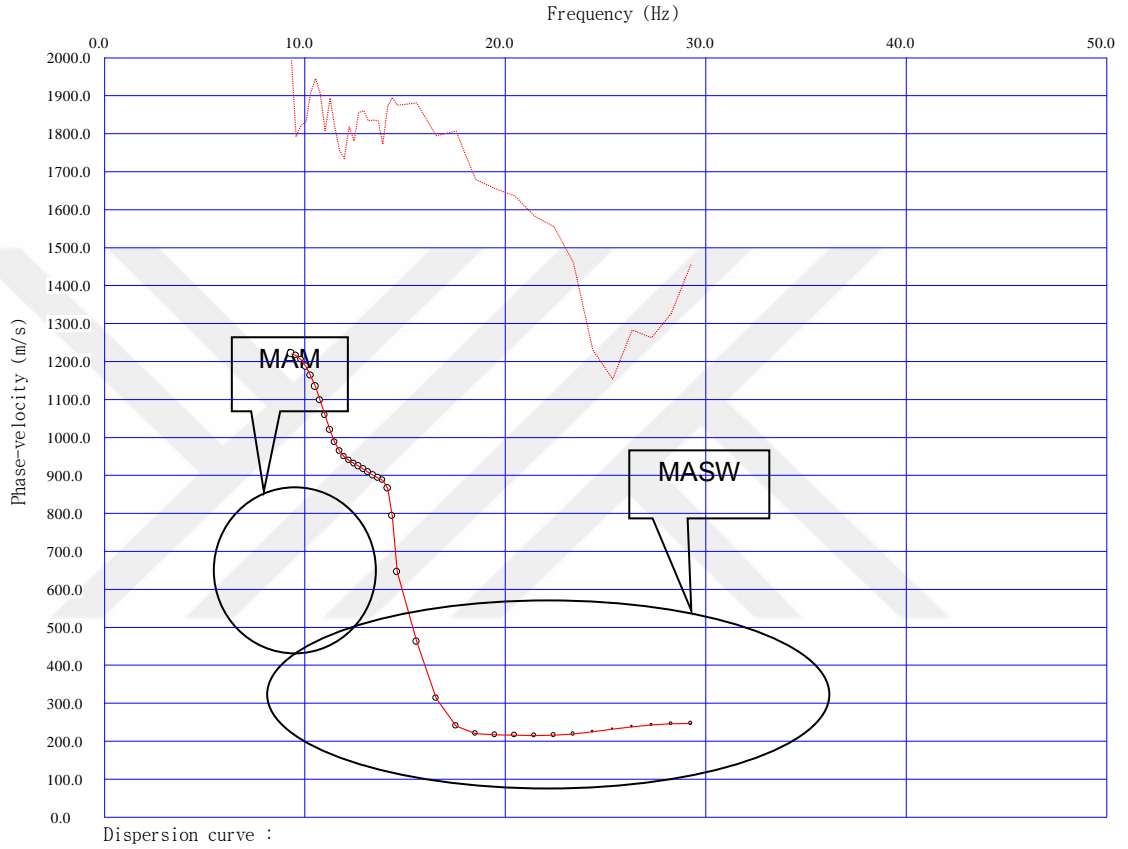
Şekil 3.1. Veri alım düzeneği

Aktif ve pasif yüzey dalgası ölçümlerinin analiz işleminde SeisImager/SWTM V. 2.2 yazılımı kullanılarak, ölçülen yüzey dalgası kayıtları işlenmiş ve analiz edilmiştir. SeisImager/SW kullanımını kolay olmasına karşın yüzey dalgası verisinin çok-kanallı aktif ve pasif kaynaklı analizinin yapılmasını sağlayan güçlü bir programdır. Program dört ayrı modül içerir (PickwinTM V. 3.3.0.3, PlotrefaTM V. 2.8.0.2, WaveEqTM V. 2.2.0.3 and GeoPlotTM V. 8.2.6.1). Ayrıca, ayrı bir modül olmayan yüzey dalgası analiz sihirbazını içerir. Sihirbaz yüzey dalgası analizi ile alakalı üç modülü içerir, yani Pickwin, WaveEq ve GeoPlot (sadece 2-B analiz için) modüllerini. Sihirbaz, işlem adımlarına göre bu modüllerin spesifik fonksiyonlarını etkinleştirir. SeisImager/SW 1-B yüzey dalgası analizi için temel olarak iki modülden oluşur (Pickwin ve WaveEq). Bu çalışmada, yüzey dalgası yöntemlerinin analiz aşamalarında, yeraltı yapısının 1-B kesme dalgası hızını elde etmek için bu iki ana modül kullanılmıştır.

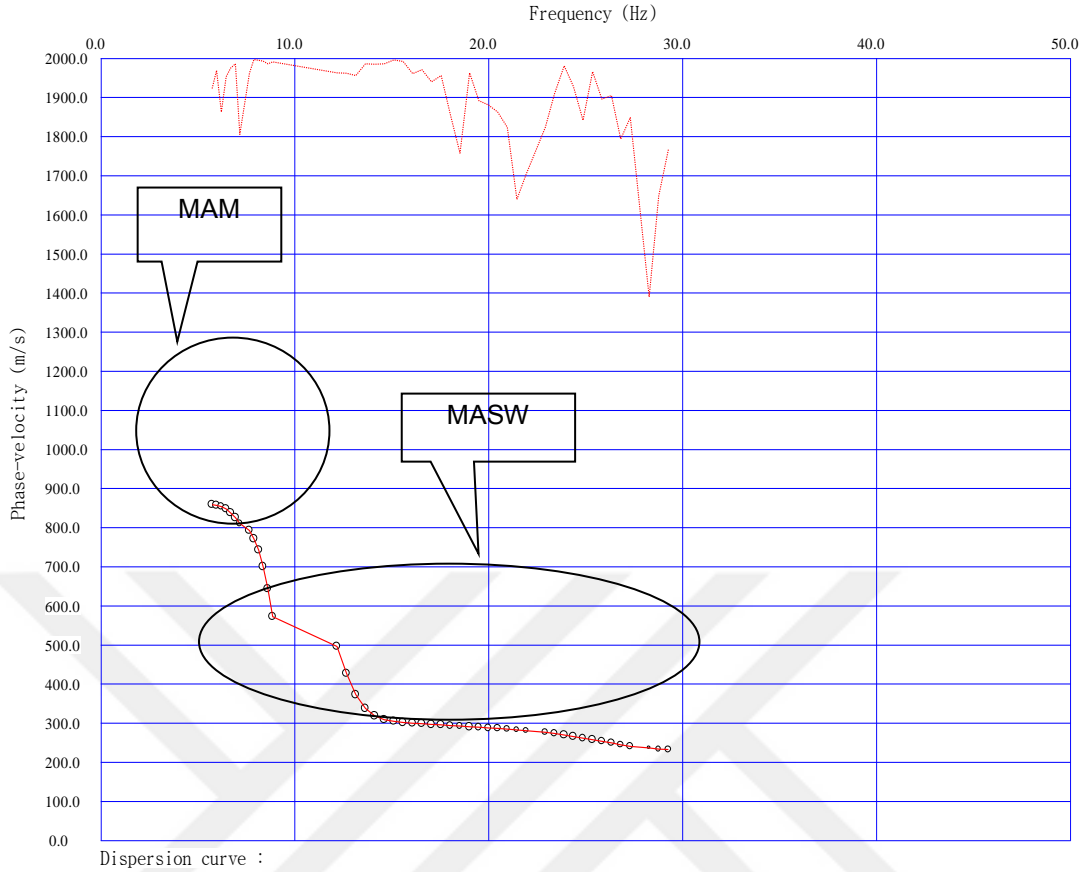
Analiz adımları esnasında ilk olarak, Pickwin modülünde jeofon aralığı, yakın ofset ve kanal sayısı (yani, ofset aralığı) gibi veri alım parametreleri tanımlanmıştır. Daha sonra veriyi faz hızı-frekans (v-f) alanına dönüştürmek için, analiz edilen saha koşullarına göre sahanın başlangıç hızı (sıfıra eşit) ve maksimum beklenen bitiş faz hızları belirlenmiştir.

Bu, daha güvenilir sonuçlar elde etmek için farklı sahalar için bitiş faz hızının farklı ayarlanması gerektiği anlamına gelmektedir. v-f alanında dağılım eğrilerini elde etmek için başlangıç ve bitiş frekansları da literatürde verilen bilgilere göre tanımlanmıştır. Genelde bu değer MASW kayıtları için 5-30 Hz ve MAM kayıtları için 2-15 Hz olmaları tüm sahalar için çoğunlukla uygun olarak kabul edilmiştir (Park ve diğ., 1999; Louie, 2001; Hayashi, 2008). Bu birimlere değerler atandıktan sonra, dönüşüm yöntemi MASW kayıtları için faz kaydırma ve MAM kayıtları için SPAC 2D olarak seçilmiştir. Buna ek olarak, SeisImager/SW Kullanım Kılavuzu V. 2.2'de önerildiği üzere dönüşüm işlemi esnasında hem MASW hem de MAM kayıtlarına maksimum ve minimum dalga boyu sınırlamaları uygulanmıştır. Son olarak, sahanın deneysel bir dağılım eğrisi elde edilmiştir. Burada bahsedilen prosedürün tamamı SeisImager yazılımın Pickwin modülünde gerçekleştirilmiştir.

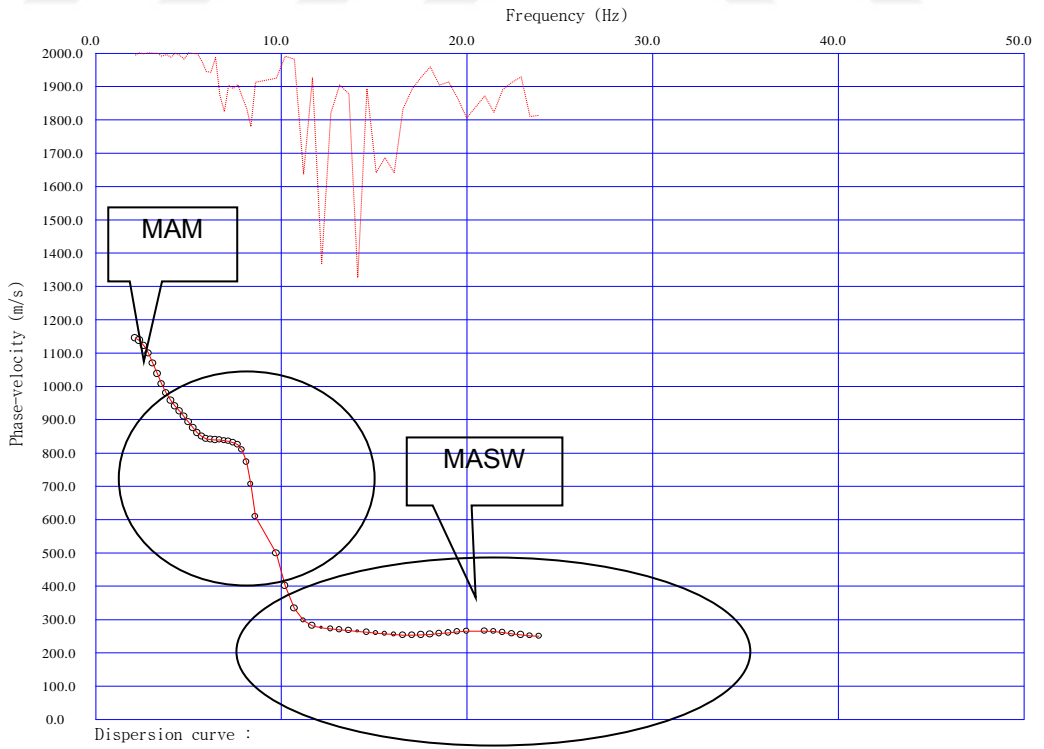
Çalışma alanında aktif kaynaklı Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi yöntemi (Multi spectral Analysis of Surface Waves, MASW), ve pasif kaynaklı MAM (Microtremor Array Method) yöntemleriyle elde edilen bileşik dispersiyon eğrileri aşağıda Şekil 3.2’de çalışma alanındaki 10 ayrı sismik ölçüm noktasında verilmiştir. Bu bileşik dispersiyon eğrilerinin toplu olarak gösterimi de Şekil 3.3’de verilmiştir.



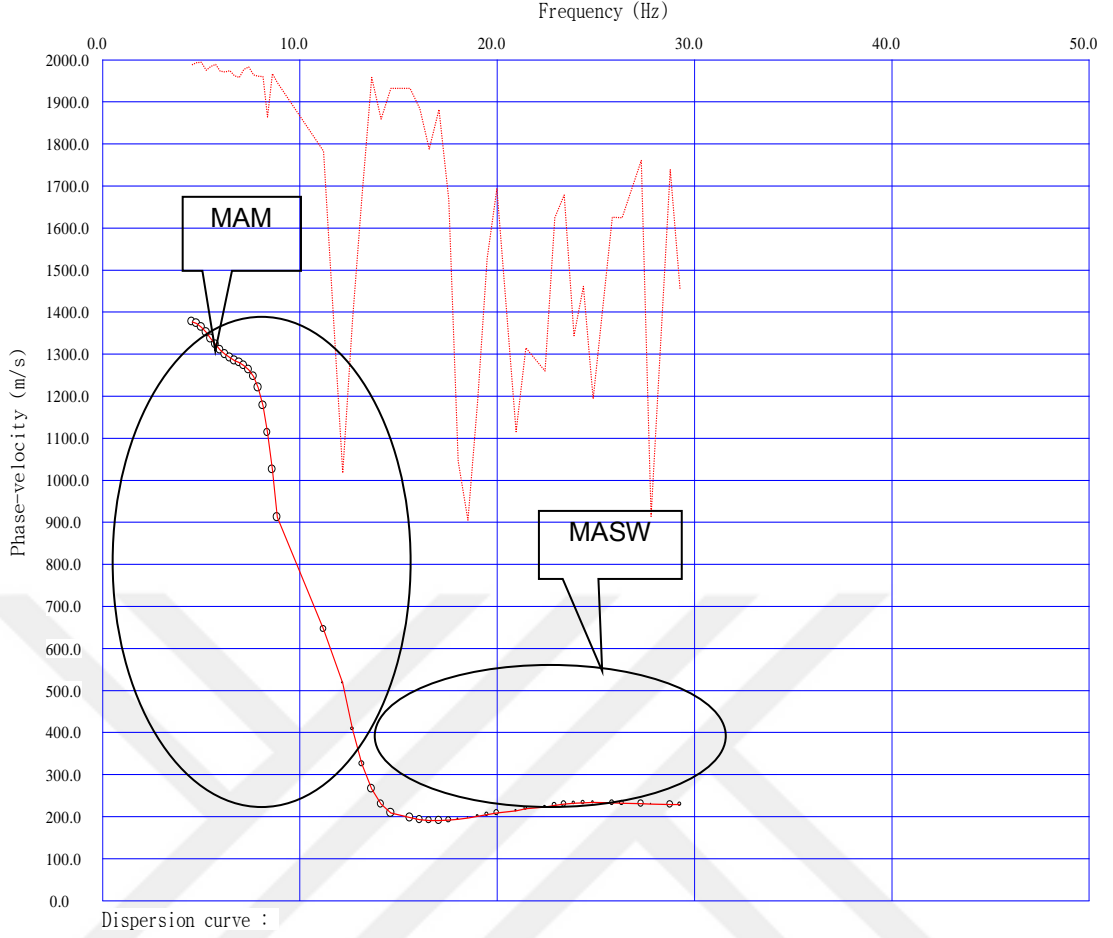
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-1



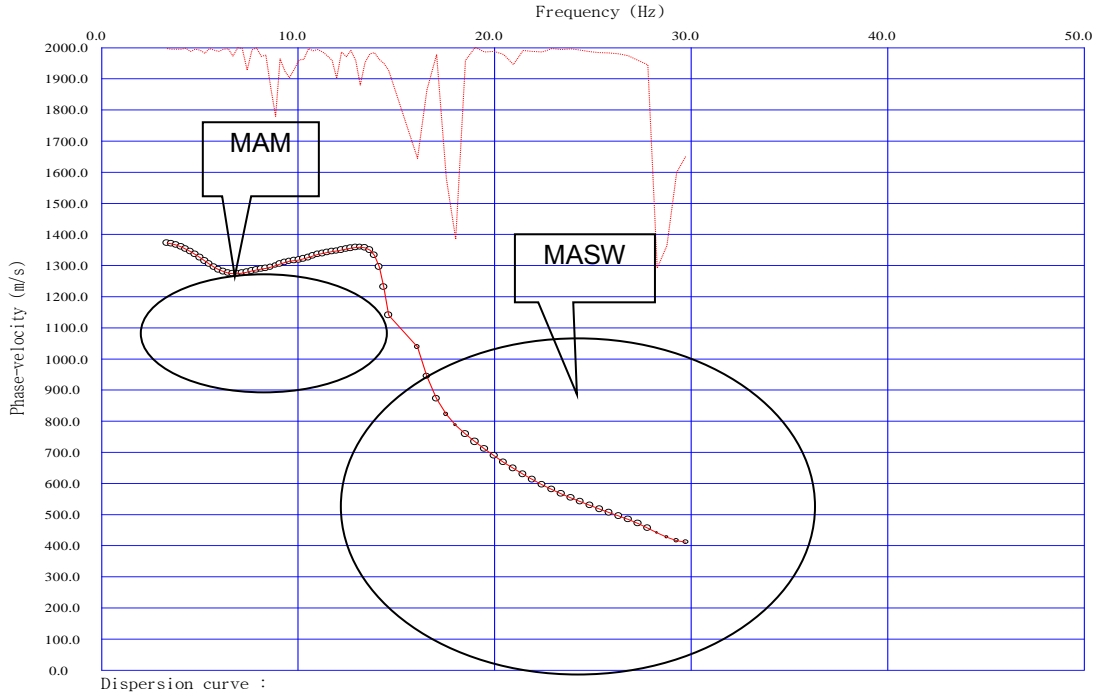
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-2



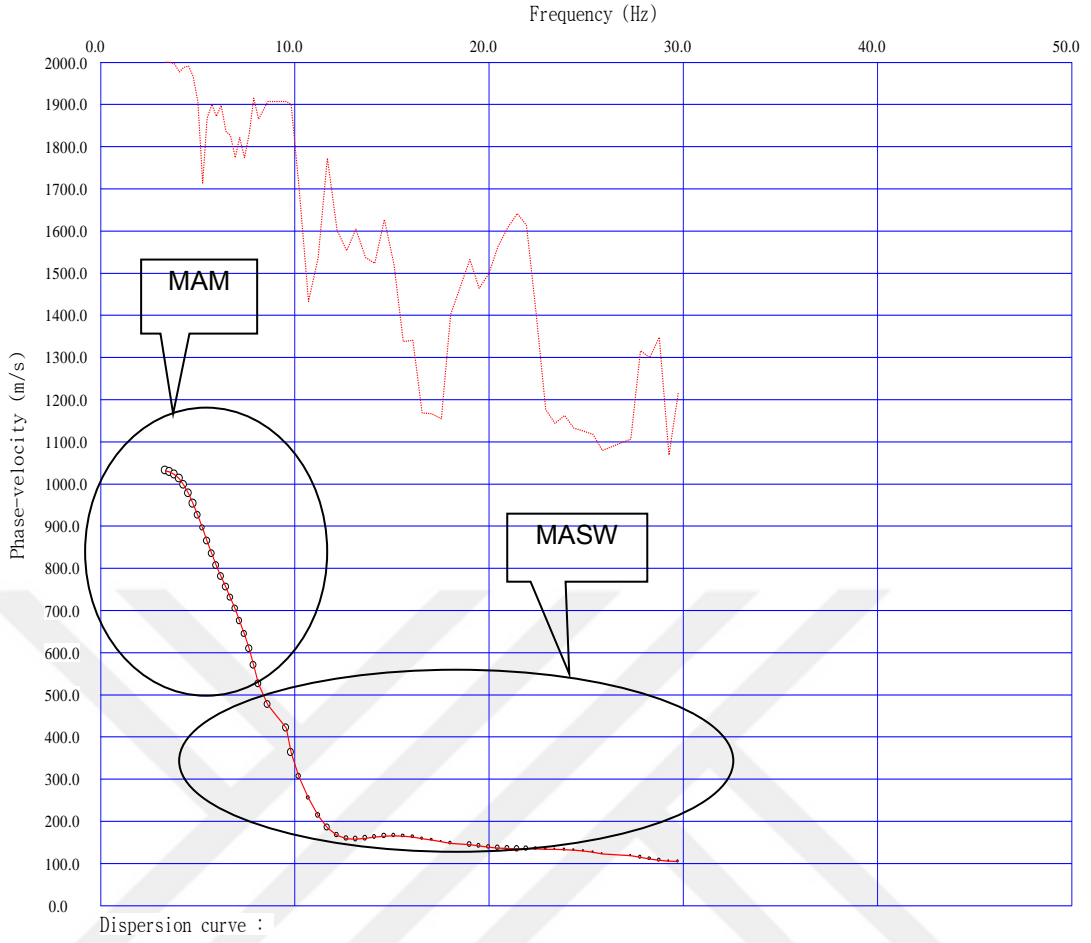
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-3



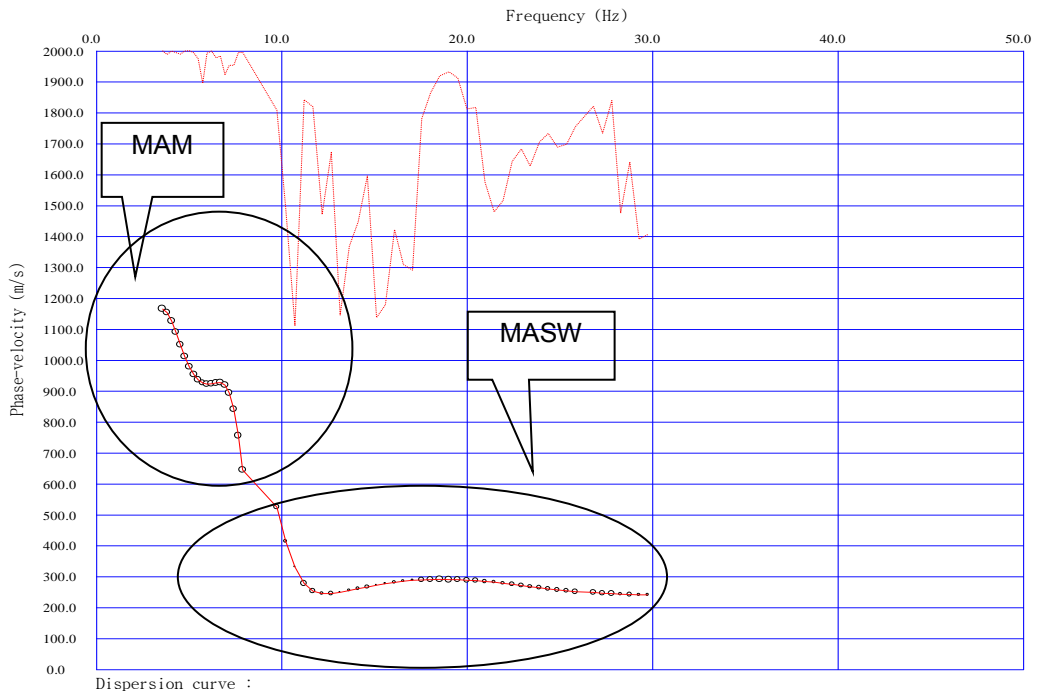
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-4



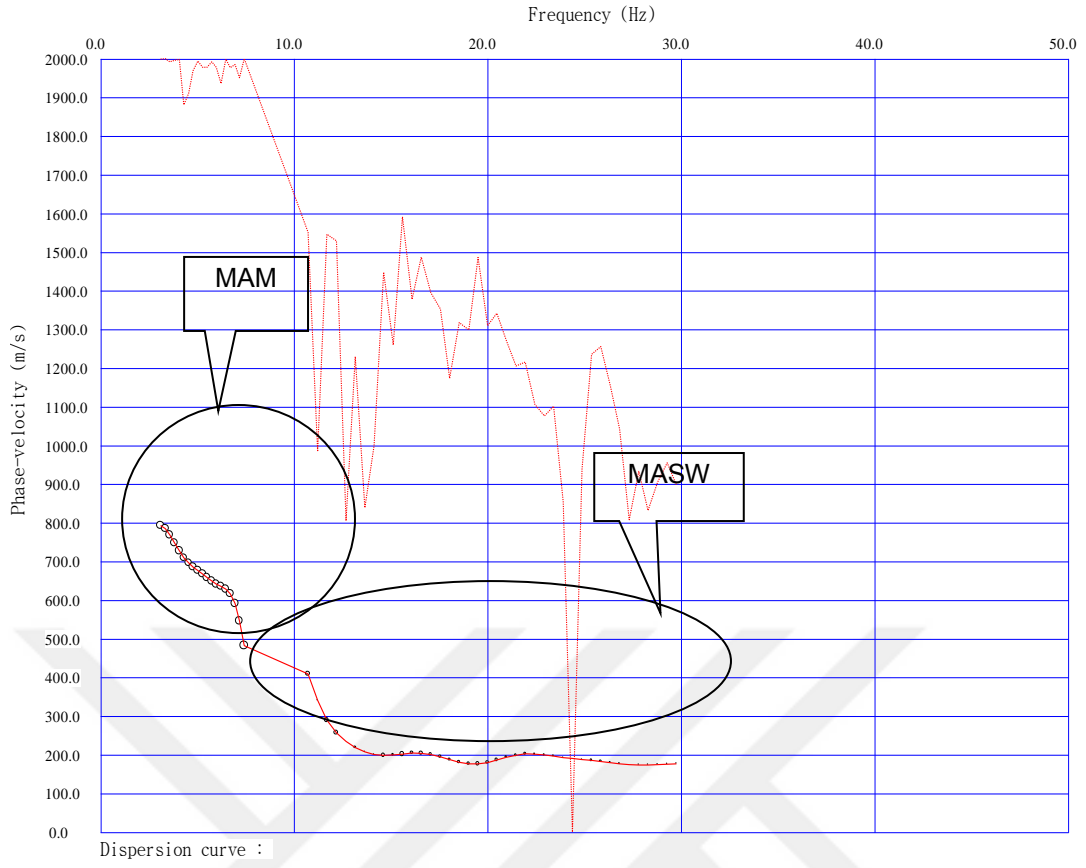
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-5



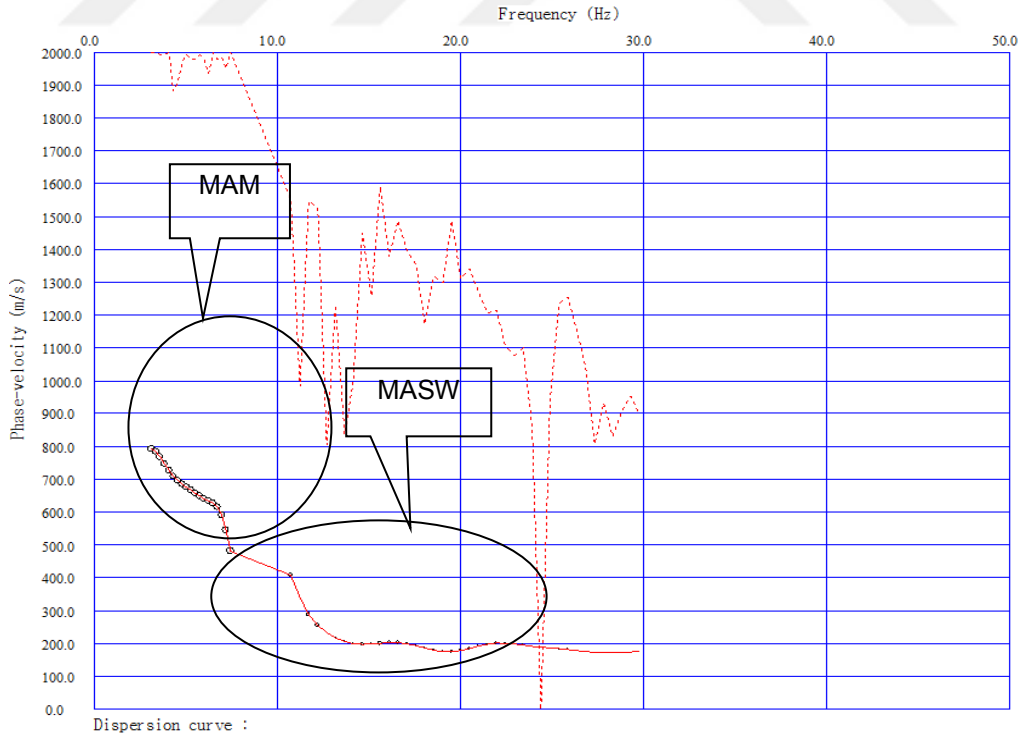
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-6



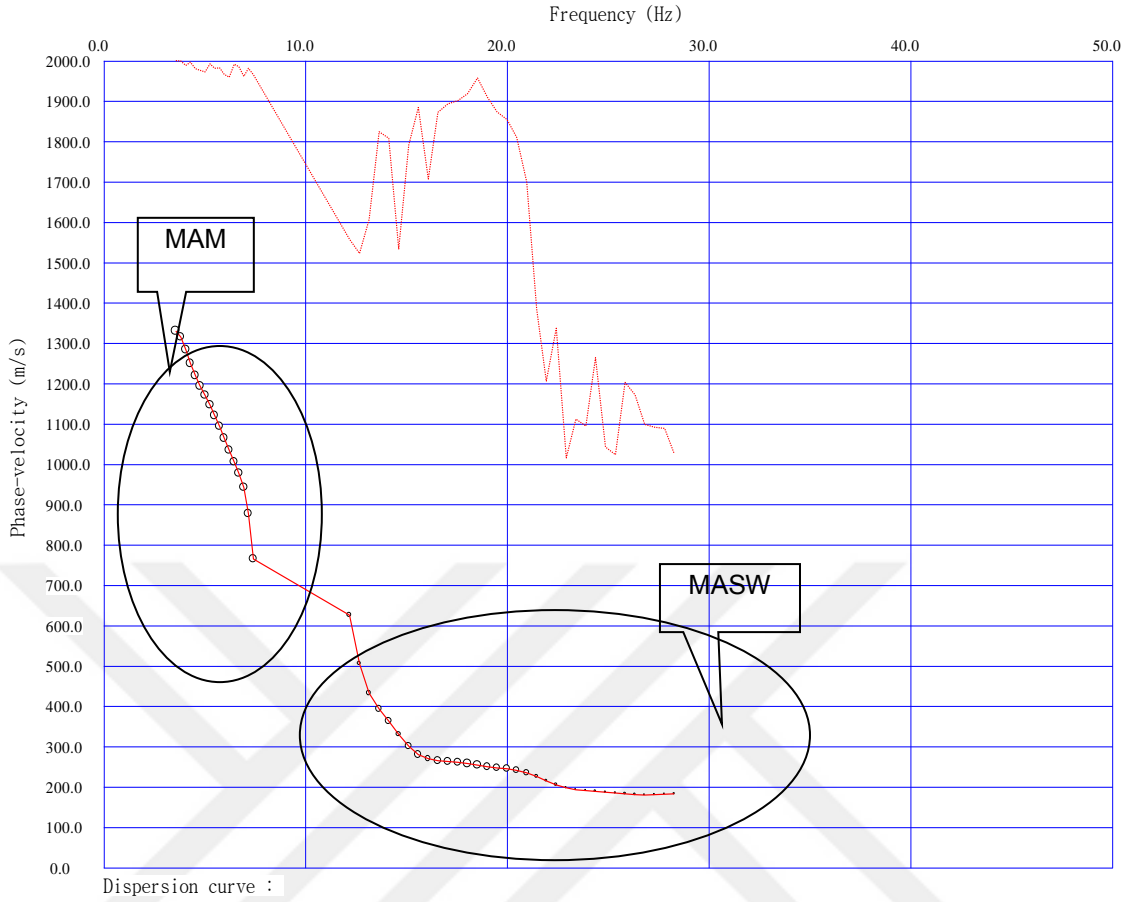
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-7



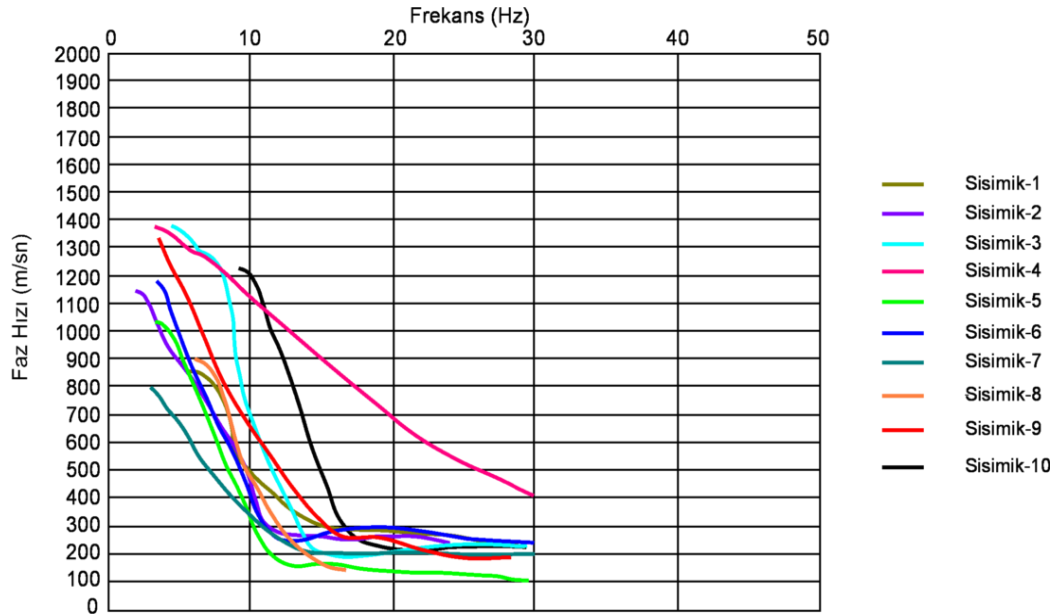
Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-8



Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-9

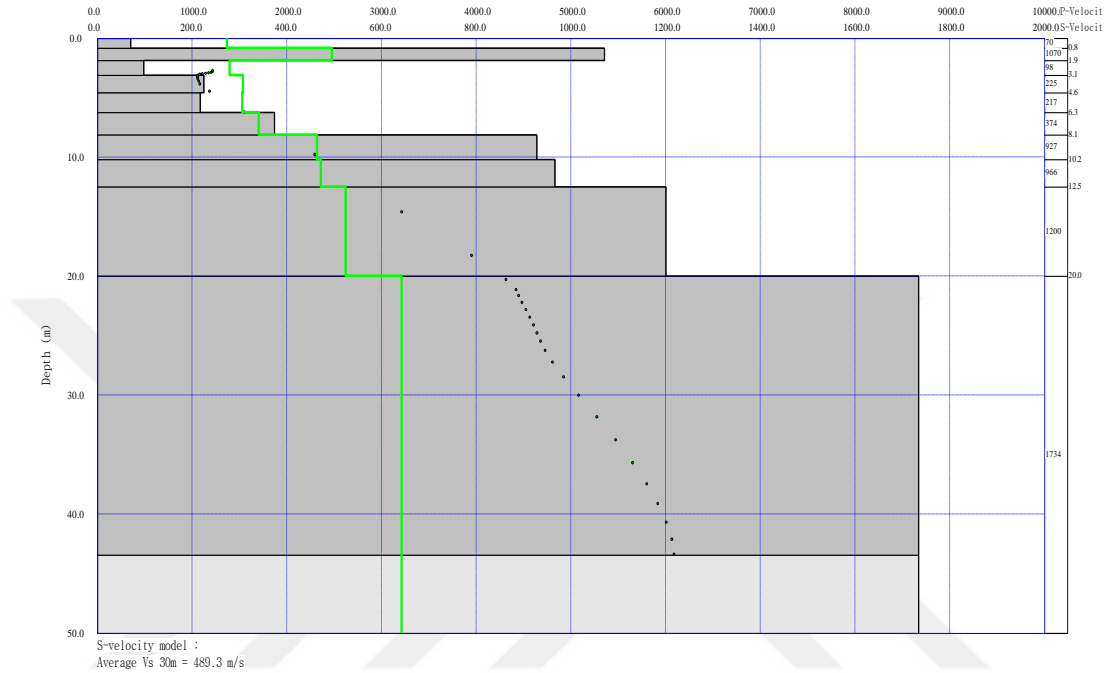


Şekil 3.2.(a). Sahada alınan ölçümlere göre yüzey dalgası dağılım eğrisi Ölçüm No: Tez Sismik-10

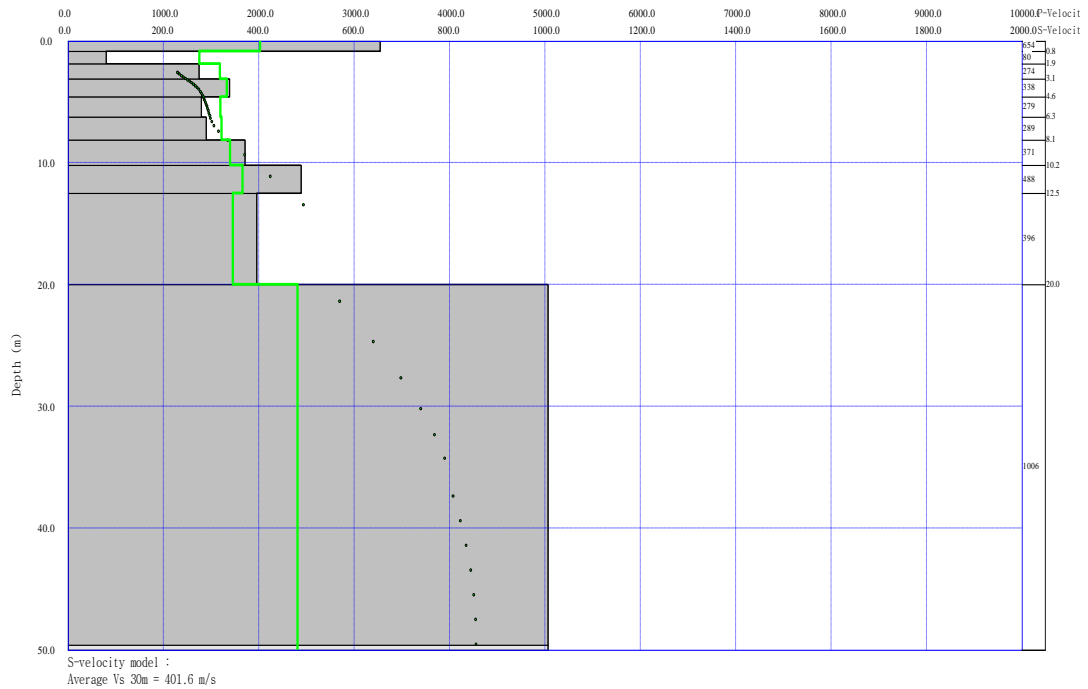


Şekil 3.3. Sahada alınan ölçümlere göre tüm dispersiyon dispersiyon eğrilerinin gösterimi

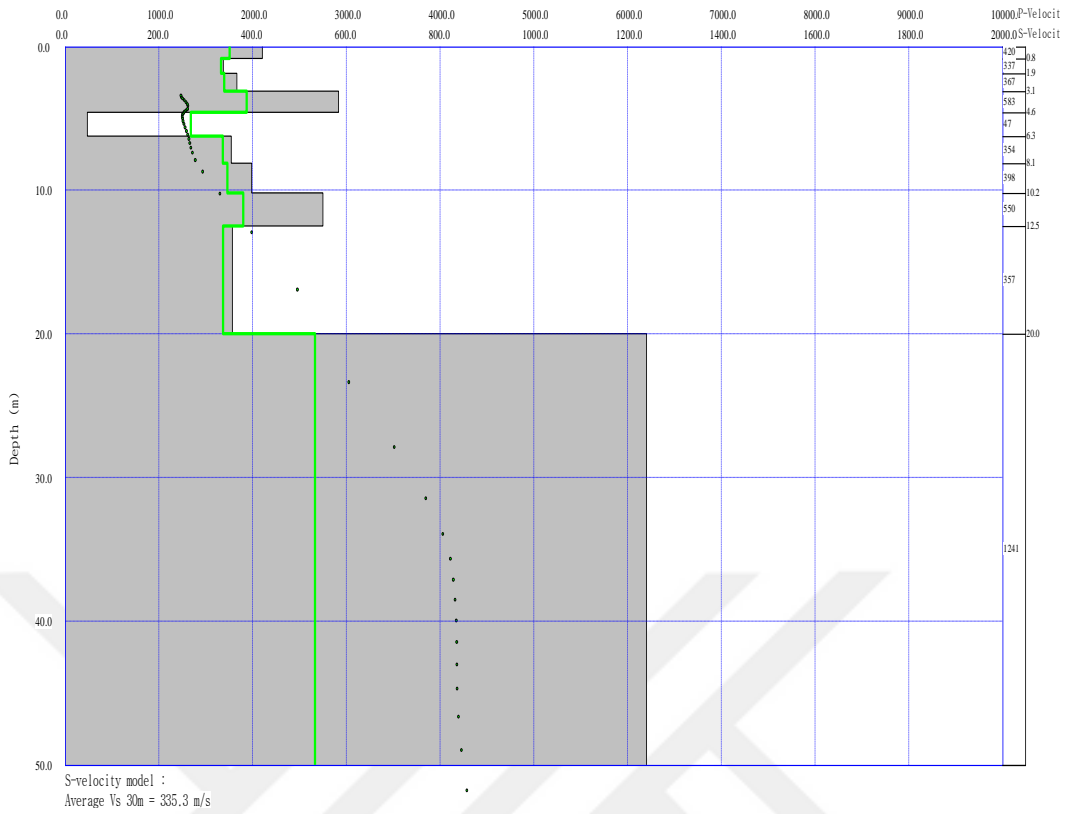
Hazırlanan dispersiyon eğrilerinden, bir boyutlu zemin profilleri çıkarılmıştır. Bu ters çözüm işlemi için doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemini uygulanarak, yer altı modeli oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te bu model sonucunda oluşturulan zemin profilleri sismik ölçüm alınan her nokta için verilmektedir.



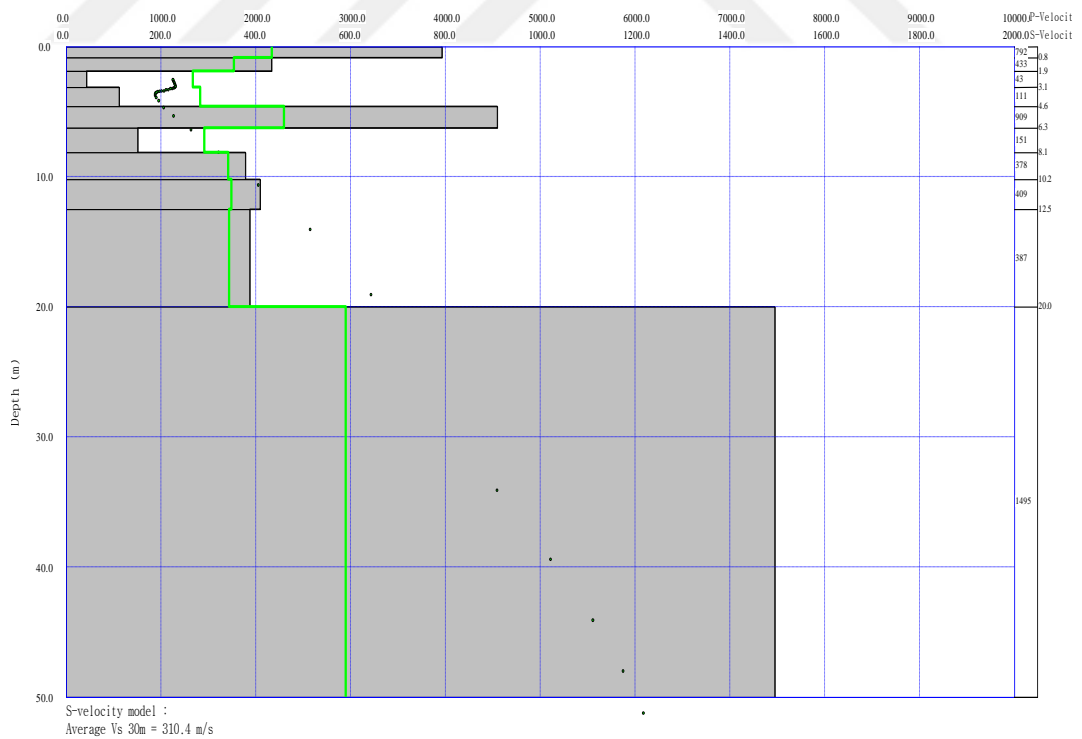
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-1



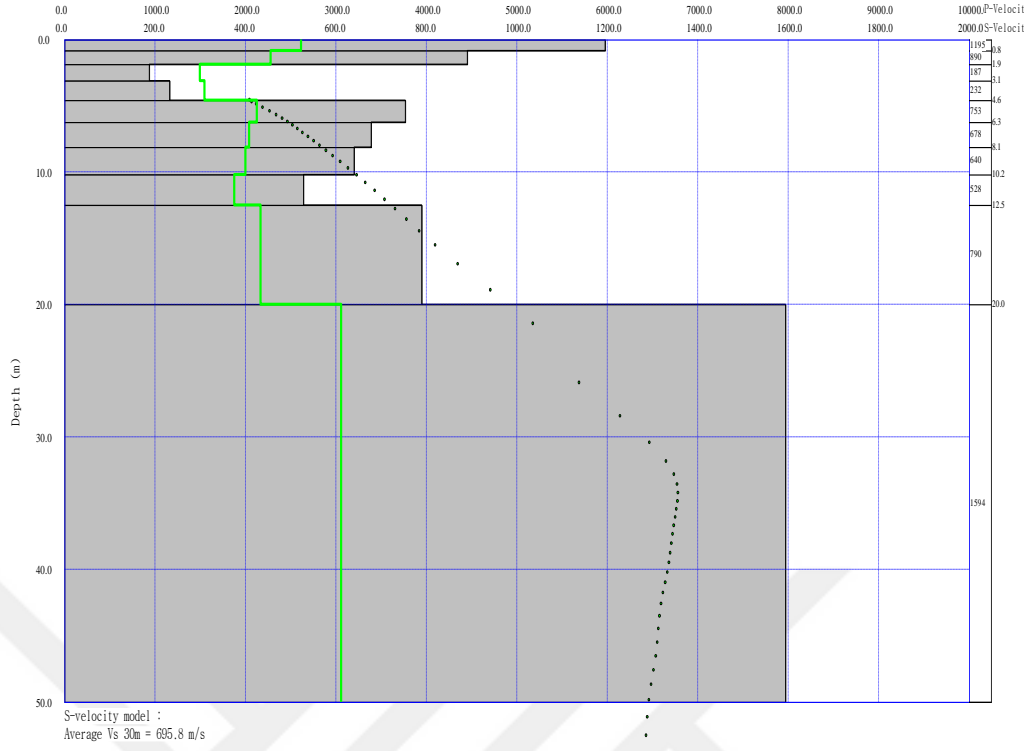
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-2



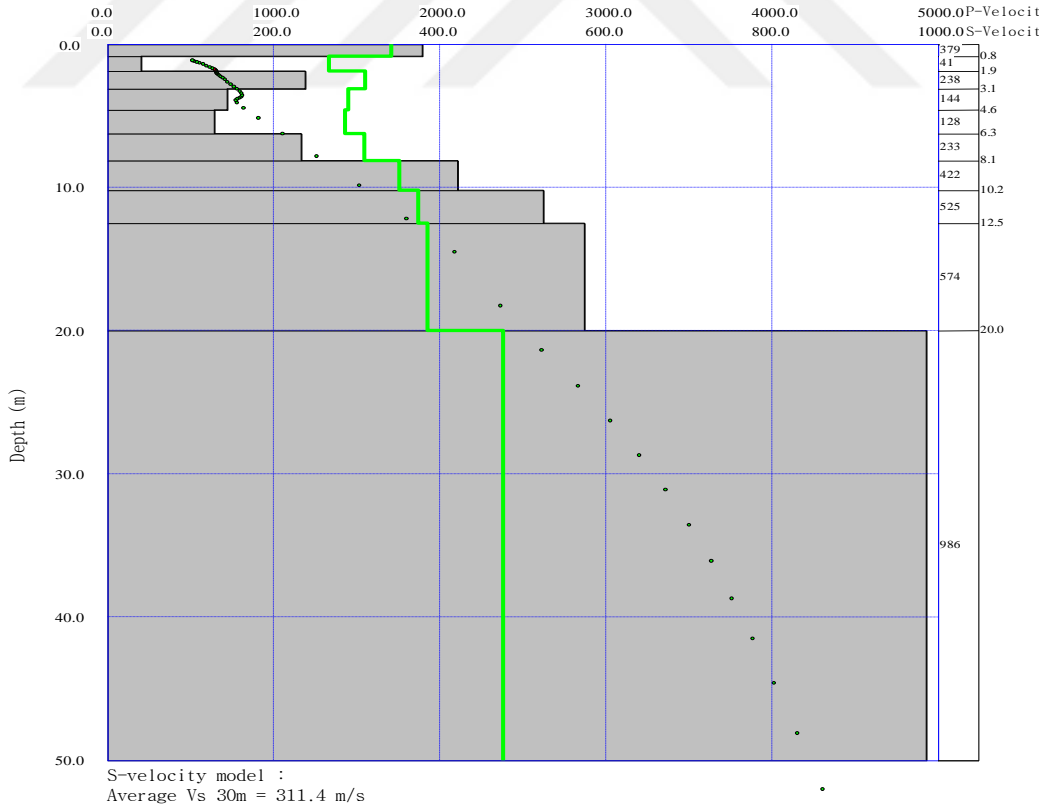
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-3



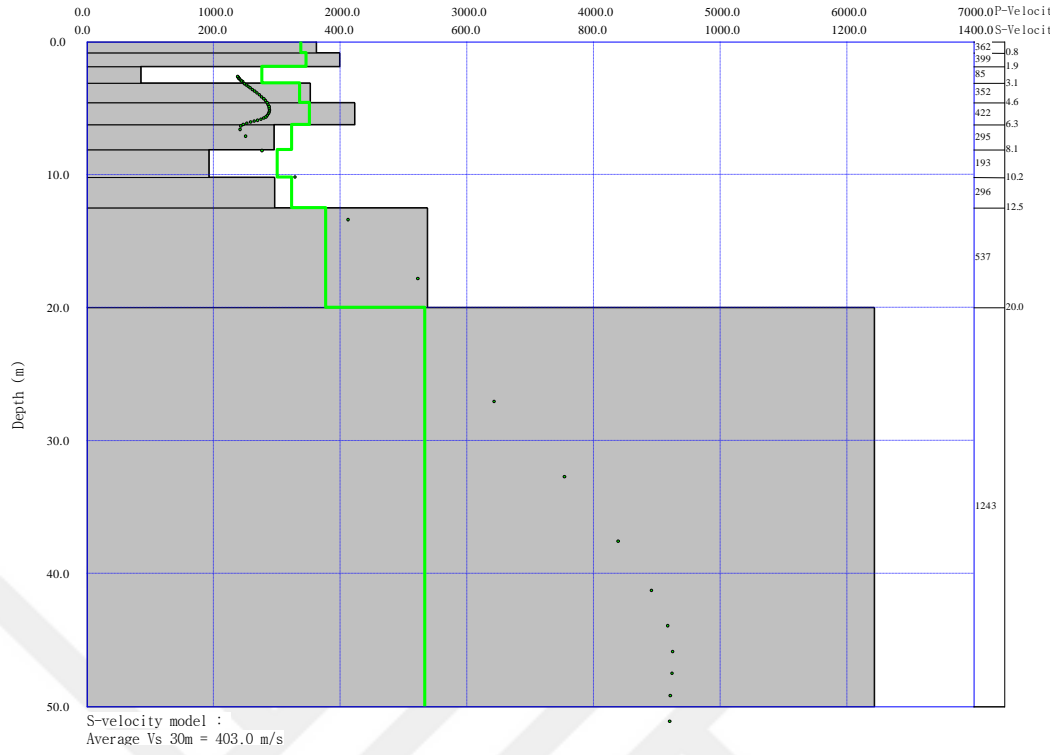
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-4



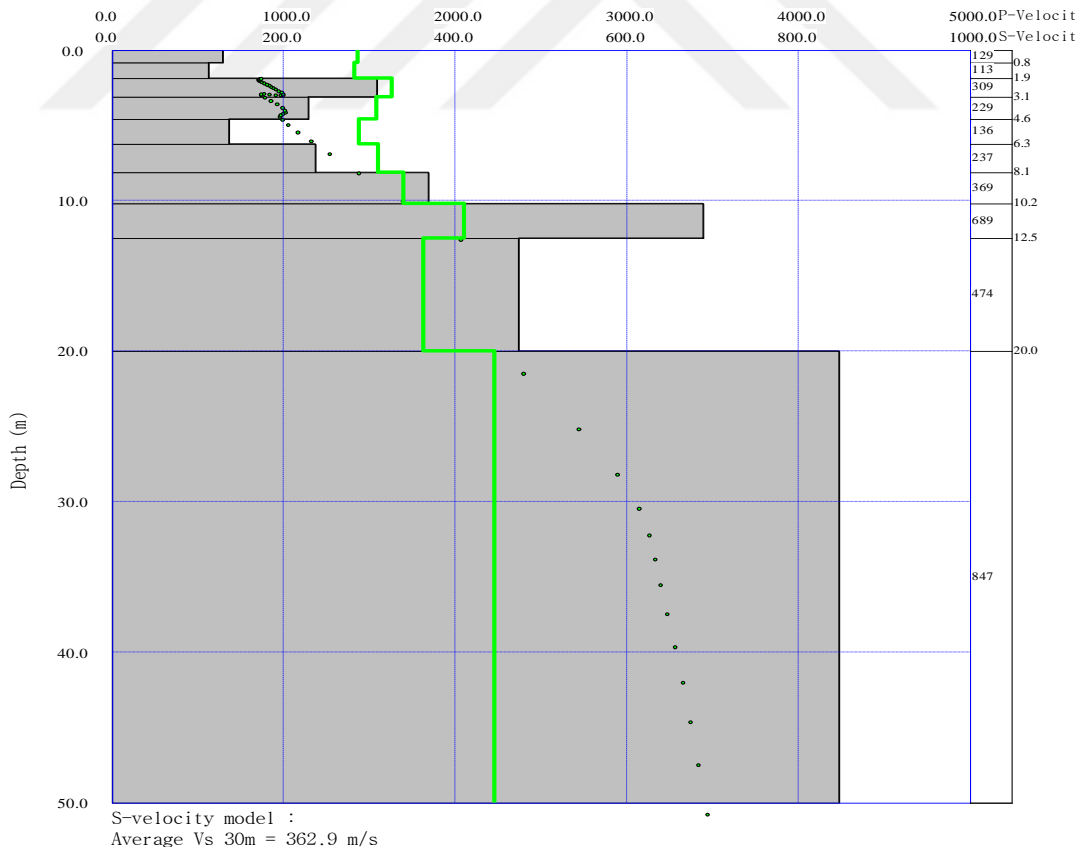
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-5



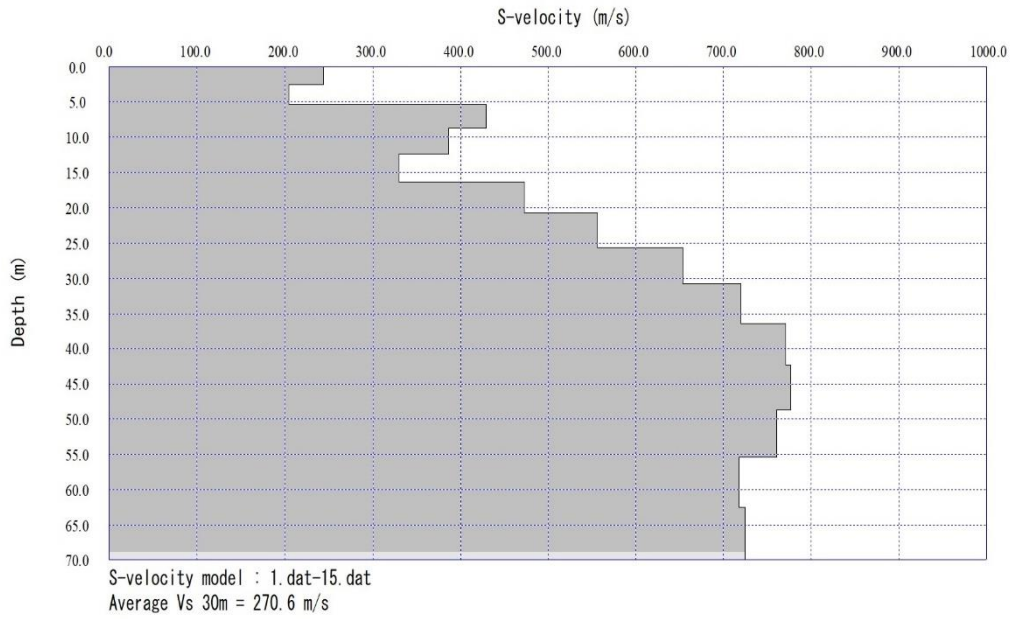
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-6



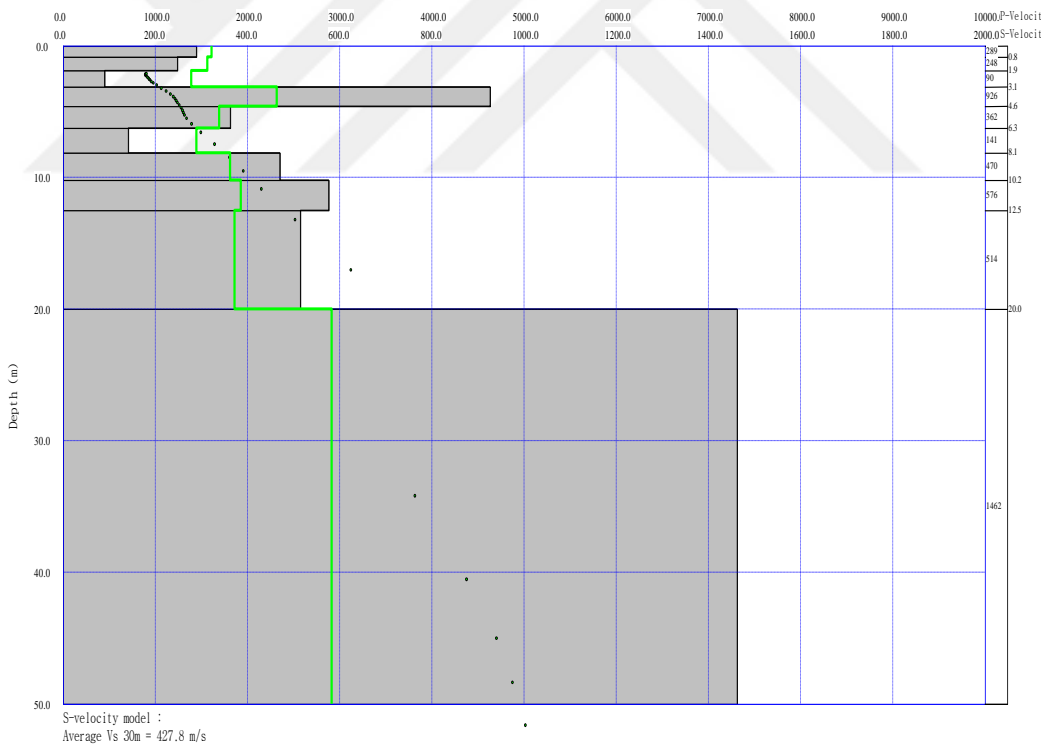
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-7



Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-8



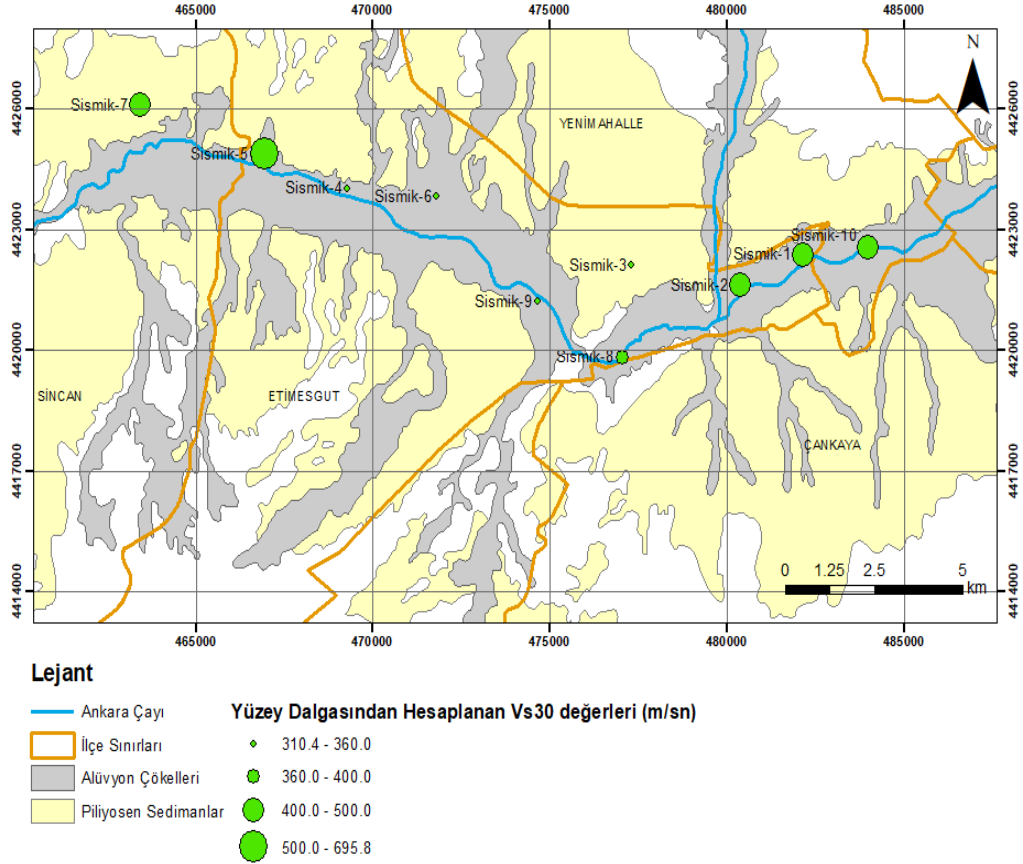
Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-9



Şekil 3.4.(a) Saha çalışmasından çıkan bir boyutlu yeraltı modeli Ölçüm No: Tez Sismik-10

Şekil 3.4' te verildiği gibi, bu çalışmalarda aktif (MASW) ve pasif (MAM) yüzey dalgası analiz yöntemlerle elde edilen sonuçlar, birlikte veri işleme tabi tutularak yorumlanmıştır. Bu analiz sayesinde daha yüksek çözünürlüklü ve daha derin sismik

profillerin elde edilmesi sağlanmıştır. Birleştirilmiş Yüzey Dalgası Yöntemi ile yapılan ölçümler sonucunda hesaplanan Kayma dalga hızı (V_{s30}), yer salınım periyotları (T_{pp}) ve zemin büyütme değerleri ve Tablo 3.1’de çalışma sahasındaki her nokta için verilmiştir. Yüzey dalgası sonuçlarının V_{s30} değerleri haritası Şekil 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.5. Yüzey dalgasının V_{s30} değerleri haritası

Tablo 3.1. Çalışma sahasında alınan yüzey dalgası analiz sonuçları ve dinamik zemin parametreleri

Tez sismik-1

	Y	X	Vs30 489,3 m/sn									
KOORDİNAT (UTM ED50)												
PARAMETRELER	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	8.Seviye	9.Seviye	10.Seviye	
Hız (Vp)	m/sn	1368	2479	1399	1540	1531	1705	2320	2363	2623	3215	
Hız (Vs)	m/sn	70	1071	98	225	217	374	928	966	1201	1734	
Kalınlık (H)	M	0,83	1,42	1,25	1,46	1,76	1,88	2,08	2,29	7,5	30	
Zemin Büyütme (A)	-	1,65										
Hakim Titreşim Periyodu	sn	0,3										

Tez sismik-2

	Y	X	Vs30 401,6 m/sn									
KOORDİNAT (UTM ED50)												
PARAMETRELER	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	8.Seviye	9.Seviye	10.Seviye	
Hız (Vp)	m/sn	2016	1379	1595	1666	1600	1612	1702	1833	1730	2407	
Hız (Vs)	m/sn	654	80	275	339	280	290	371	489	396	1007	
Kalınlık (H)	M	0,83	1,42	1,25	1,46	1,76	1,88	2,08	2,29	7,5	30	
Zemin Büyütme (A)	-	1,86										
Hakim Titreşim Periyodu	Sn	0,40										

Tablo 3.1. (Devamı)

Tez sismik-5

	Y	X	Vs30 695,8 m/sn								
KOORDİNAT (UTM ED50)											
PARAMETRELER	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	8.Seviye	9.Seviye	10.Seviye
Hız (VP)	m/sn	2617	2279	1498	1548	2127	2043	2001	1877	2167	3060
Hız (VS)	m/sn	1195	891	188	233	754	678	640	528	790	1594
Kalınlık (H)	M	0,83	1,42	1,25	1,46	1,76	1,88	2,08	2,29	7,5	30
Zemin Büyütme (A)	-	1,34									
Hakim Titreşim Periyodu	Sn	0,22									

Tez sismik-6

	Y	X	Vs30 311,4 m/sn								
KOORDİNAT (UTM ED50)											
PARAMETRELER	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	8.Seviye	9.Seviye	10.Seviye
Hız (VP)	m/sn	1711	1336	1554	1450	1433	1549	1769	1873	1928	2385
Hız (VS)	m/sn	379	41	238	145	129	233	422	525	574	986
Kalınlık (H)	M	0,83	1,42	1,25	1,46	1,76	1,88	2,08	2,29	7,5	30
Zemin Büyütme (A)		2,17									
Hakim Titreşim Periyodu	Sn	0,51									

Tablo 3.1. (Devamı)

Tez sismik-9

	Y	X	Vs30 270,8 m/sn								
KOORDİNAT (UTM ED50)											
PARAMETRELER	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	8.Seviye	9.Seviye	10.Seviye
Hız (VP)	m/sn	1460	1460	1461	1490	1552	1618	1678	1724	1853	1989
Hız (VS)	m/sn	792	144	56	272	295	278	299	343	482	975
Kalınlık (H)	M	0,83	1,42	1,25	1,46	1,76	1,88	2,08	2,29	7,5	30
Zemin Büyütme (A)	-	2,36									
Hakim Titreşim Periyodu	Sn	0,45									

Tez sismik-10

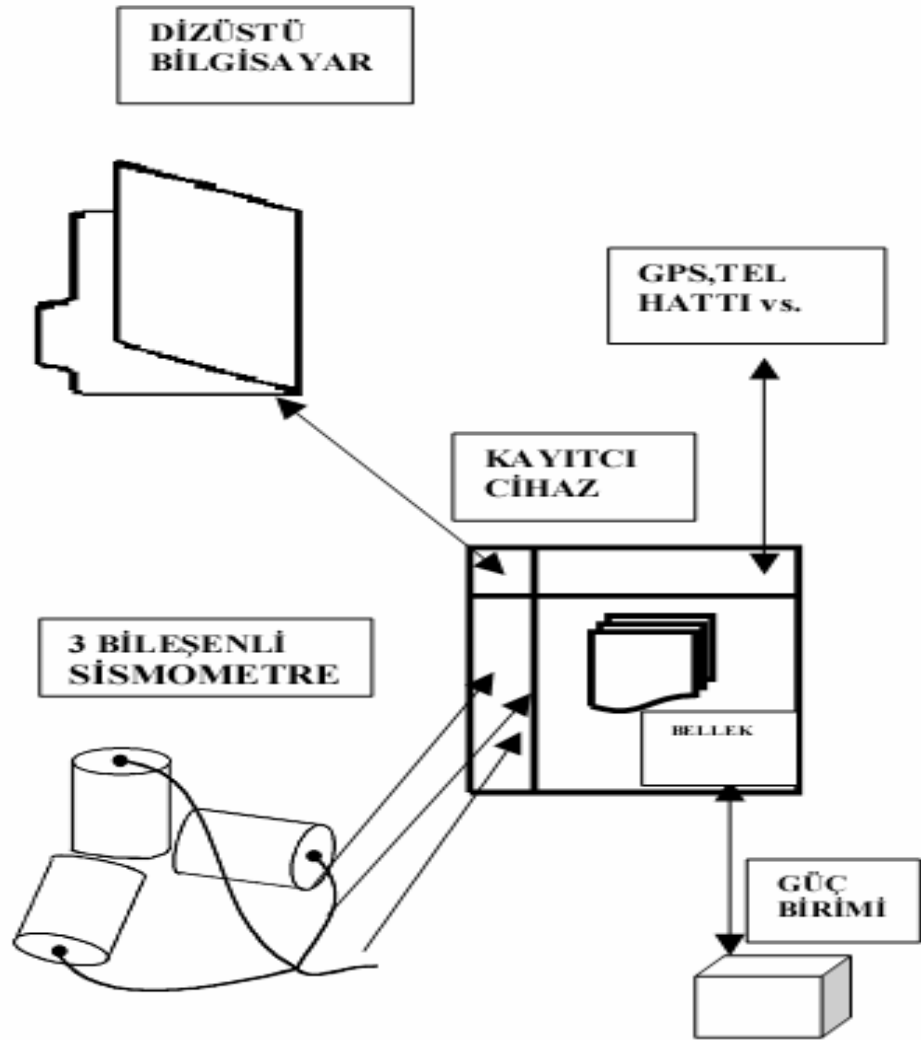
	Y	X	Vs30 427,8 m/sn								
KOORDİNAT (UTM ED50)											
PARAMETRELER	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	8.Seviye	9.Seviye	10.Seviye
Hız (VP)	m/sn	1611	1566	1390	2318	1693	1447	1812	1930	1861	2914
Hız (VS)	m/sn	290	248	90	927	363	142	471	576	515	1463
Kalınlık (H)	M	0,83	1,42	1,25	1,46	1,76	1,88	2,08	2,29	7,5	30
Zemin Büyütme (A)		1,79									
Hakim Titreşim Periyodu	Sn	0,34									

3.1.2. Mikrotremör yöntemi

Doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan, genlikleri 0,1–1 mikron arasında ve periyotları 0.05 ve 2 sn aralığında değişen yer titreşimlerine mikrotremör adı verilmektedir. Bu titreşimler jeotermal aktiviteler, yeraltındaki sismik aktiviteler, atmosfer etkileri, yerkürenin belli bir ekseninde dönmesi, gelgit etkisi, rüzgâr ve kültürel gürültüler (trafik, endüstriyel aktiviteler vb. bazı insan kaynaklı etkiler) nedeniyle oluşmaktadır. Tüm bu sayılan etmenler yeryüzünde titreşim olarak alınabilmektedir. Mikrotremör kısa periyotlu ve uzun periyotlu olmalarına göre ikiye ayrılırlar. Kısa periyotlu gürültülerin kaynağı rüzgâr, trafik ve diğer endüstriyel aktiviteler, daha uzun periyotlu hareketlerin kaynağı ise alçak basınç ve okyanus etkileşimi, okyanusların oluşturduğu etkiler ve gelgit gibi etkenlerdir.

Mikrotremör kayıtlarının analizinde farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler spektral genlikler referans olarak alınan bir noktaya göre rölatif spektral oranlar ve yatay bileşenin düşey bileşene olan spektral oranlarıdır.(Nakamura, 1989) Nakamura Yönteminin temelinde, mikrotremörlerin yarı sonsuz ortam üzerinde bulunan tek tabakalı gevşek bir zeminde ağırlıklı olarak Rayleigh dalgası olarak yayıldığı, ayrıca mikrotremörlerin bölgesel, yakın yüzey kaynaklarından etkilendiği ve derin kaynakların etkisi olmadığı varsayımları yapılmıştır. Diğer bir varsayım ise düşey bileşenin zemin tabakası tarafından büyütülmediğidir. Yani zemin tabakasının yüzeyindeki hareketin düşey bileşenin genlik spektrumunun, zemin tabakasının tabanındaki hareketin düşey bileşenin genlik spektrumuna oranının 1 olduğu varsayımdır. Zaman ortamında alınan sayısal veriler, Fourier dönüşümü ile frekans ortamına taşındıktan sonra, verilerin frekans içerikleri ve genlikleri ile ilgili analizler ve değerlendirmeler yapılabilir. Nakamura Tekniğini uygulamak için öncelikle elde edilen mikrotremör kayıtlarının her bileşen için FFT' leri (Fast Fourier Transform) elde edilir. Frekans ortamına geçilir. Bu geçiste dikkat edilecek husus veri boyunun 2'nin katları seçilmesidir (1024, 2048, 4096 v.b.). Daha sonra her bileşen için elde edilen genlik değerleri frekanslarına göre $(H/V) = (h_{12}+h_{22})^{1/2} / v_1$ oranlanır. Burada, Burada h_1 , h_2 ve v kuzey güney, doğu- bati ve düşey bileşenlere ait spektrum değerleridir Arazide mikrotremör ölçüsü alınırken temel olarak bir kayıt aleti, bir diz üstü bilgisayar, sismometre sistemi, güç ünitesi ve bunlara bağlı olarak yan birimler

gerekmektedir (Şekil 3.6). Bu çalışmada 10 adet mikrotremör ölçümleri alınarak değerlendirilmiş ve H/V oranları Nakamura yöntemine göre belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Mikrotremör kayıtlarının alınmasında kullanılan temel birimler

Arazide mikrotremör ölçümlerinde verilerin analiz edilmesi için 24-bit dijital kayıt birimi ile DATAMARK LS-8000 WD A/D tipi ölçüm cihazı (Hakusan Co. Ltd.) ve JEP-6A3 üç bileşenli ivme-ölçer akselerometreden (Akashi Co. Ltd.) kullanılmıştır. $1\mu g$ ve 1 mgal 'e (cm/s/s) tekabül eden sensör ve LS-8000 WD sayısallaştırıcının çözünürlüğü, diğer ivme-ölçer sensörler ile karşılaştırıldığında H/V mikrotremör

deneyi için olan ortam titreşim seviyelerini tespit etmek için yeterli olduğu söylenebilir.

Mikrotremörleri, genliklerinin küçük olması nedeniyle, büyütmesi oldukça fazla olan bu sismometrelerle kaydetmek mümkündür. Mikrotremör kayıtlarının değerlendirilmesi sırasında, kayıt dosyaları UNIX altında çalışan MicPlot (Version 1.1, Motoki, 2002) programı kullanılarak işlenmiş ve analiz edilmiştir.

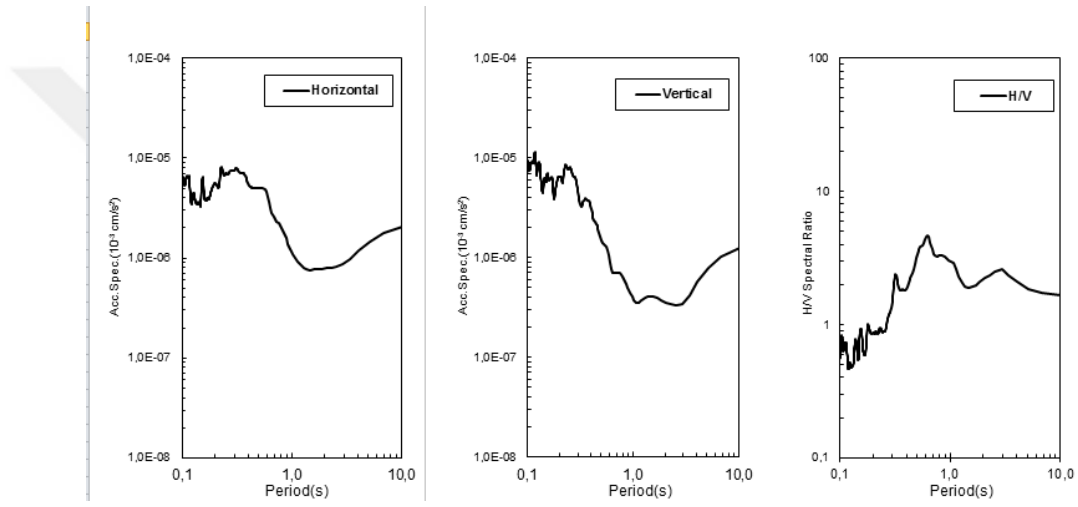


Şekil 3.7. Mikrotremör aleti ve ekipmanı

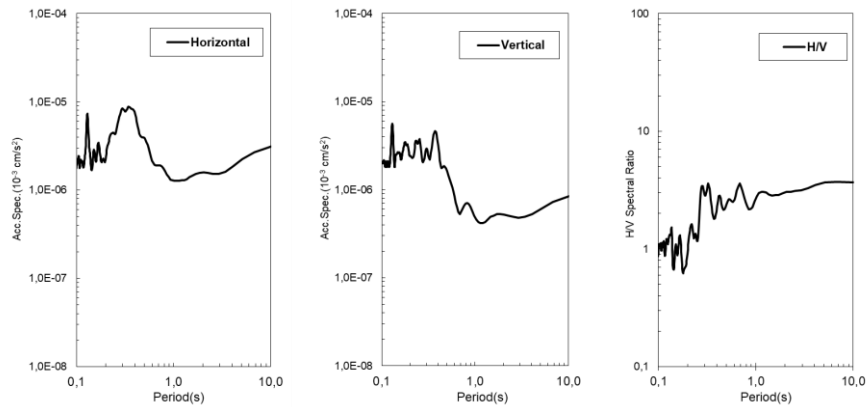
Sismometreler ivme, hız ve yer değiştirmeye duyarlı olduğu için sismometrelerde bunlardan biri için kayıt alınır. Mikrotremörler genel olarak partikül hızı algılayan sismometrelerle kaydedilmektedir. Yerdeki titreşimleri kaydetmek için kullanılan sismometrelerin doğal frekansı 1 Hz dir.

H/V yöntemi, tek bir noktadaki ortam gürültüsünün yatay bileşeninin spektral oranının düşey bileşenine oranına dayanmaktadır (Nakamura, 1989). Bu yöntemin amacı S-dalgalarının yumuşak sedimanlardan dolayı büyütme değerinin mikrotremör ölçümleri ile belirlenmesini amaçlamaktadır. Kaydedilen ortam gürültüsünün yatay ve düşey bileşenlerinin spektral oranının, bir deprem kaydındaki S-dalgalarının yüzey sedimanlardaki kaydının sediman katmanının en altındaki sediman-anakaya ara yüzündeki S-dalgalarına oranına eşdeğer olduğu düşünülmektedir.

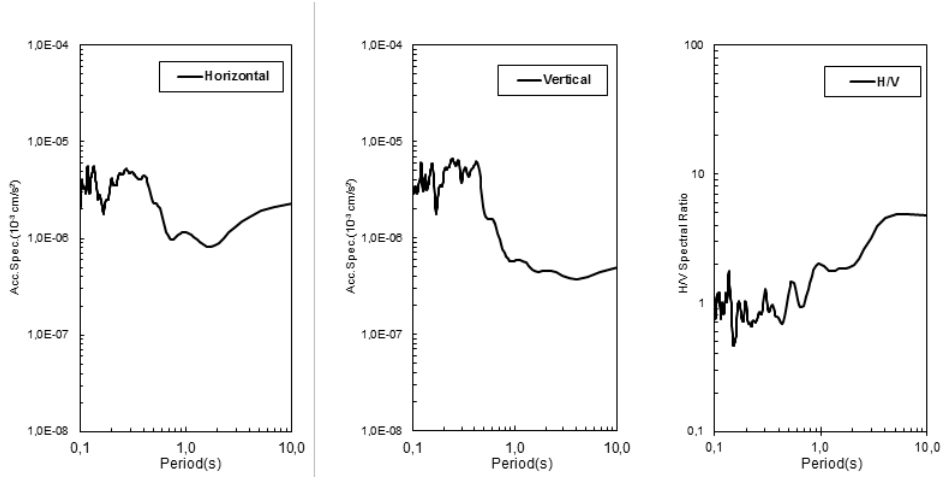
Aşağıda ivme-ölçer sensörü ile elde edilen H/V spektrumlarıyla çalışma alanındaki ölçüm noktaların civarında yapılan ölçümlerin sonuçları verilmektedir. (Şekil 3.8). Bu yöntemin zemin hakim titreşim periyotlarını ve büyütme oranlarını kestirmede nispeten tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Belirtilmelidir ki gürültü kayıtlarının anlamı ve büyüklüğü H/V yöntemi açısından halen tartışılmakta olan bir konudur. Ancak, spektral eğrilerden elde edilen hakim titreşim periyodu değerlerinin güvenilir olduğu hususunda genel bir fikir birliği söz konusudur (Raptakis ve diğ., 2005).



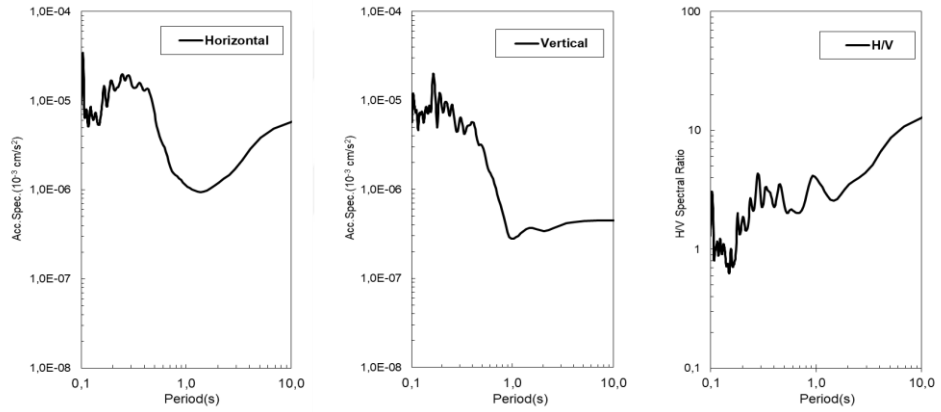
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-1



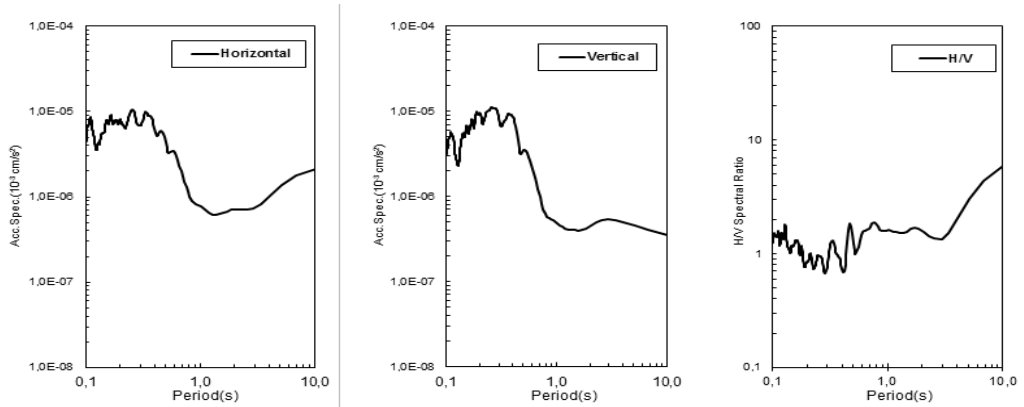
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-2



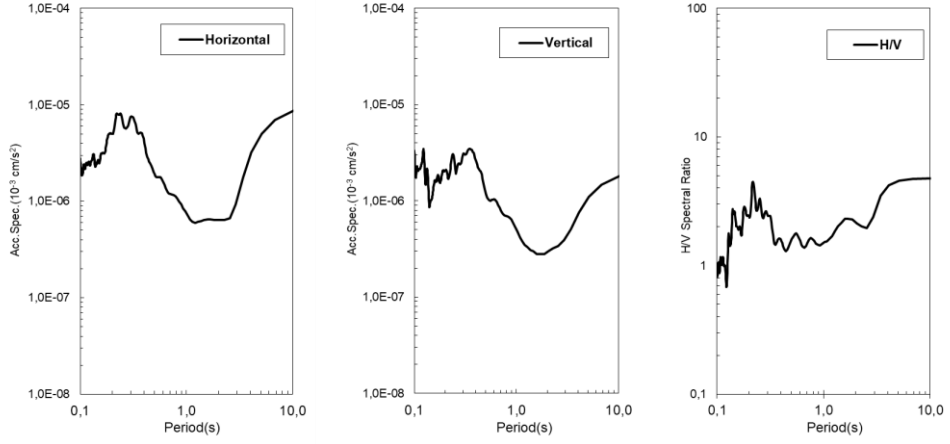
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-3



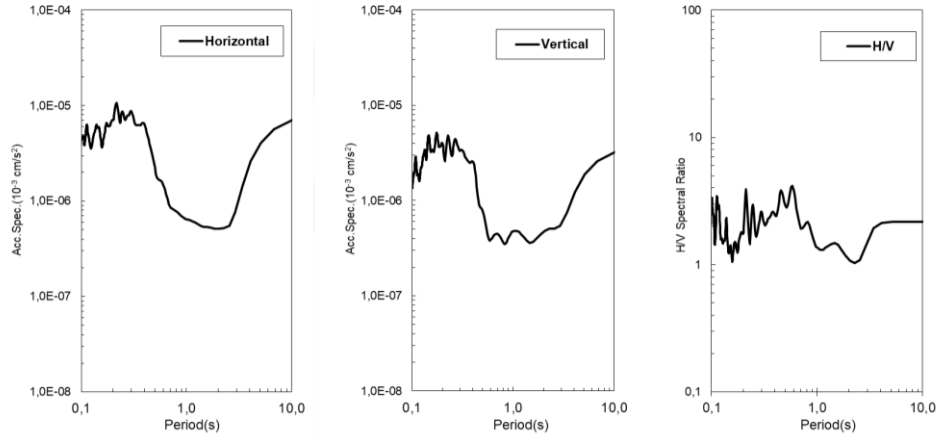
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-4



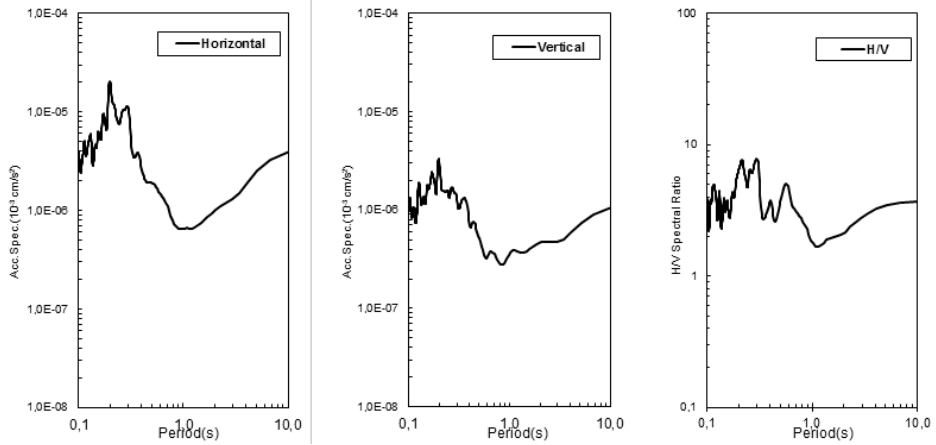
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-5



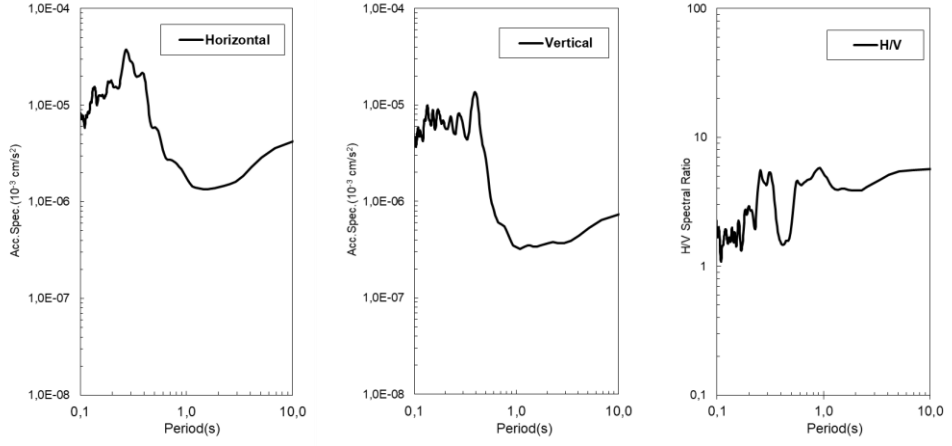
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-6



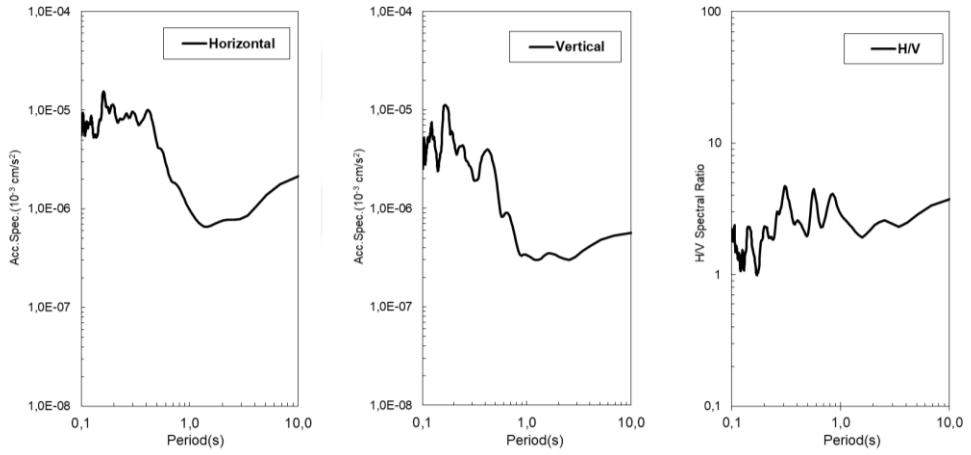
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-7



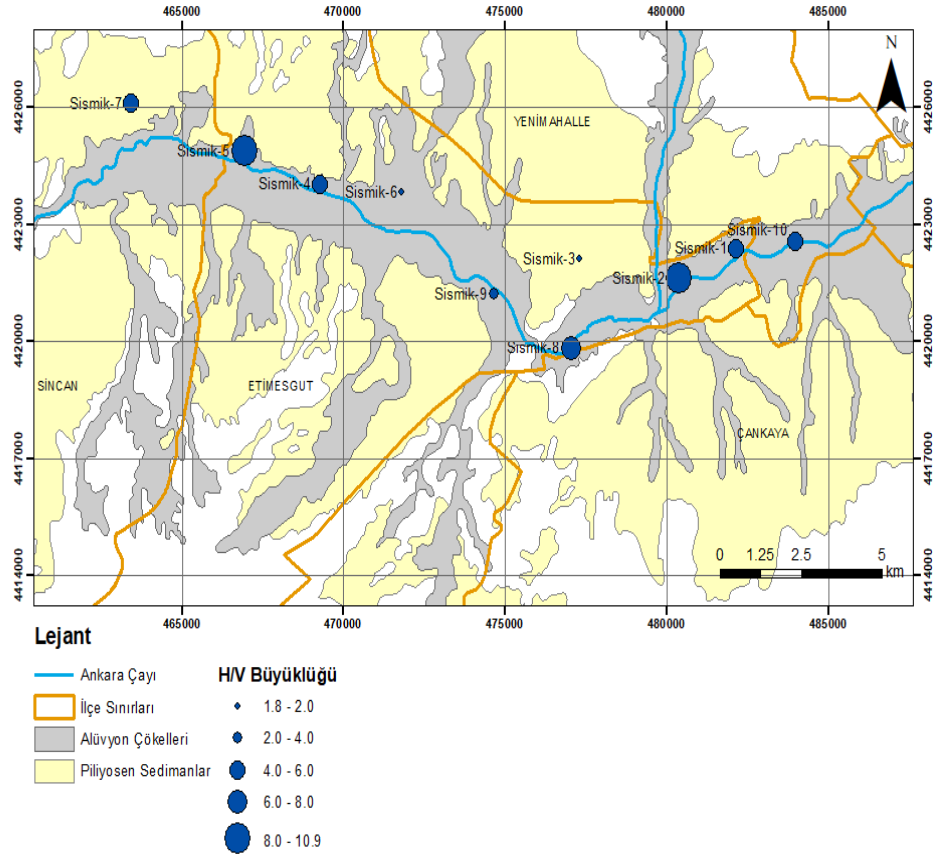
Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-8



Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-9



Şekil 3.8.(a) Mikrotremör verilerinden elden edilen spectrum sonuçları Ölçüm No: Tez Sismik-10



Şekil 3.9. Mikrotremör verilerinden elde edilen H/V Büyüklüğü sonuçlarının mekansal olarak gösterimi

3.2. Yerel Zemin Sınıflandırması

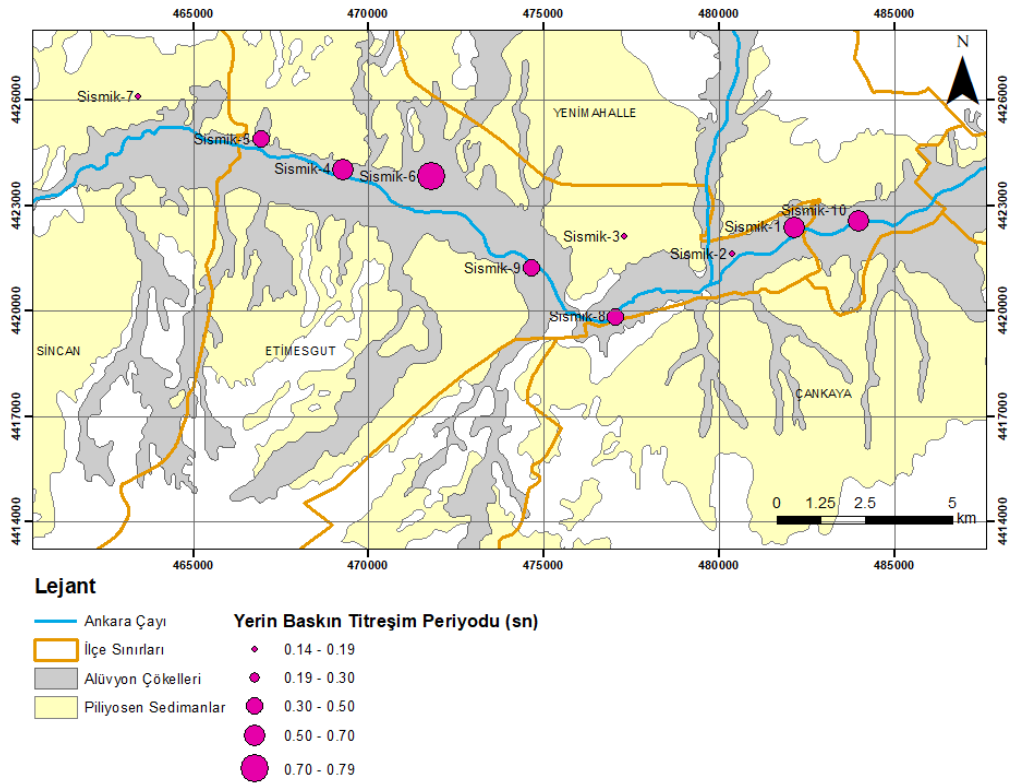
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) yaklaşımı esas alınarak gerekli olan sınır koşulları ile ilgili bilgiler, yüzeydeki tabakanın yerel zemin koşulları ve özellikle ilk 30 metredeki kayma dalgası hızı değişimidir (Tablo 3.2). Bu zemin sınıflandırma yöntemine göre çalışma alanındaki zeminler elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiş ve zeminlerin Z3- C ile Z4- D aralığında değişmekte olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2.(a) ABYYHY 'ye göre yerel zemin sınıflaması

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Kayma Dalga Hızı (Vs)
A	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	>1000 >700
	2. Çok sıkı kum, çakıl...	>700
	3. Sert kil ve siltli kil...	
B	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar...	700-1000 400-700
	2. Sıkı kum, çakıl...	300-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	
C	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar...	400-700 200-400
	2. Orta sıkı kum, çakıl...	200-300
	3. Katı kil ve siltli kil...	
D	1. Yassı'nın yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları...	<200
	2. Gevşek kum...	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil...	<200

Tablo 3.3.(b) ABYYHY 'ye göre yerel zemin sınıflaması

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h ₁)
Z1	A grubu zeminler, h ₁ ≤ 15 m olan B grubu zeminler
Z2	h ₁ > 15 m olan B grubu zeminler, h ₁ ≤ 15 m olan C grubu zeminler 15 m < h ₁ ≤ 50 m olan C grubu zeminler,
Z3	h ₁ ≤ 10 m olan D grubu zeminler
Z4	h ₁ > 50 m olan C grubu zeminler, h ₁ > 10 m olan D grubu zeminler



Şekil 3.10. Ankara'nın batısındaki Plio- Kuaterner Zeminlerin baskın Titreşim Periyodu Haritası

3.3. Zemin Hakim Titreşim Periyotu

Deprem zararlarından açıkça görülmüştür ki; zemin koşulları ile deprem hasarları arasında yakın bir ilişki vardır. Çeşitli tecrübelerden elde edilen bilgiler küçük bir yerleşim alanı içinde bile, deprem etkilerinin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Zeminlerin deprem anındaki davranışlarında en üstteki 0 – 25 m.'lik seviyenin sismik davranışı büyük rol oynamaktadır. Bundan ötürü zeminin titreşimi ile genlik ve periyotlar üst seviyedeki zeminlerin titreşimine çok daha bağlıdır.

Çok tabakalı formasyonların deprem anındaki davranışları tek tabakalı yapılarınkinden daha karmaşıktır. Bu durum aşağıdaki formül ile ifade edilebilir.

$$T_{pp} = 4 H_1 / V_{s1} + 4 H_2 / V_{s2} + \dots + 4 H_{n-1} / V_{s_{n-1}} \quad (\text{Sakai, Y., 1968})$$

T_{pp} = Zemin hakim titreşim periyodu'dur.

Bu yöntemle göre çalışma alanındaki veriler değerlendirilerek hakim titreşim periyotları ve zemin büyütme değerleri değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.



BÖLÜM 4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, Ankara'nın batısındaki, Ankara Çayı boyunca yer alan önemli büyüme potansiyeline sahip yerleşim alanlarının içerisinde olduğu Ankara havzasında yer alan Plio-Kuaterner zemin tipini belirleme amacıyla hazırlanmıştır.

Yakın geçmişteki yaşadığımız örnekler, Ankara baseni ve çevresinde meydana gelebilecek önemli sismik aktivitelerin Ankara'nın yoğun nüfuslu şehir merkezini etkileyebileceğini göstermektedir. Ankara şehir merkezinin büyük fay sistemlerinden nispeten uzakta yer aldığı düşünülse de Ankara gibi büyük şehirlerin kentleşme oranının hızla artması, aşırı nüfus, plansız kentleşme ve yetersiz altyapısından dolayı can ve mal kaybı açısından afet risklerine açıktır. Bu sebeple, yapılan çalışmalar genel arazi kullanımı, kentsel planlama ve özel çalışma sahalarının belirlenmesi açısından Ankara için önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada zemin tipini belirlemek için kayma dalga hızları, yer salınım periyotları, zemin büyütme oranları elde edilerek çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda yüzey dalgası analiz yöntemi belirlenerekve mikrotremör yöntemi kullanılmıştır.

Yüzey dalgası çalışmasında elde edilmiş olan dispersiyon eğrisine uygulanan ters çözüm işlemi ile S dalga hızı ve ortalama V_{s30} hızı elde edilmiştir. S dalga hızı (kayma dalgası) zemin gruplarının sınıflandırılmasında göz önünde bulundurulmuş en önemli parametrelerden (SPT, rölatif sıklık, serbest basınç direnci, kayma dalgası hızı vb.) biridir.

Seviyelerdeki S dalga hızlarının 200 m/sn'den küçük olan yerler yumuşak, kalın alüvyon tabakaları, gevşek kum, yumuşak kil, siltli kil gibi alüvyon birimleri göstermektedir ki, bu yerlerde sıvılaşma potansiyeli olduğu için detaylı

incelemelerinden sonra yapı yapılmasına izin verilmemelidir. Kayma dalgası hızları 200 – 400 m/sn aralığında olan zeminler ise; orta sıkı kum, çakıl, katı kil ve siltli kil gibi birimleri temsil etmektedir. Kayma dalgası hızları 400 – 700 m/sn aralığında olan zeminler ise; yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar ile Sıkı kum, çakıl, çok katı kil ve siltli kil gibi birimleri temsil etmektedir. Bu çalışmada görülmüştür ki; aktif kaynak ile 20-40 metre derinliklerden bilgi alınırken pasif kaynak ile daha derinlerden de bilgi alınabildiği görülmüştür.

Yüzey dalgası yöntemi sonuçlarına göre $V_{s30} = 310-695$ m/sn aralığında değişmektedir. Ampirik yöntemlerle hakim titreşim periyodu 0,22- 0,51 sn aralığında, zemin büyütme oranı 1,34-2,36 aralığında değişmektedir. Zemin tipi C sınıfı Z3 grubu ile D sınıfı Z4 grubu arasında değişmektedir.

Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Nakamura yöntemiyle hesaplanmıştır. Zemin büyütme oranları yaklaşık 1,7- 6.7 aralığında, hakim titreşim periyotları ise yaklaşık 0.2- 0.8 sn arasında değişmektedir.

Nakamura yöntemi sonuçları ile ampirik yöntem sonuçları karşılaştırıldığında hakim titreşim periyodu sonuçlarının göreceli olarak uyumlu, zemin büyütme oranı sonuçlarının uyumsuz olduğu gözlenmiştir. Mikrotremör ölçümlerinden elde edilen sonuçlardaki üst limit periyot değerleri daha yüksektir. Bu durum zeminlerin doğrusal olmayan davranışları sebebiyle olduğu açıklanabilir.

Yer etkilerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma sonuçlarının, deprem tehlike analizleri ve zeminlerin karakterizasyon çalışmaları için önemli bir kaynak oluşturacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye 1900- 20xx Deprem Kataloğu. <http://www.deprem.gov.tr/tr/depremkatalogu>.
- Aksu, T.F., 2006, Jeofizik elektrik yöntemlerinde 2 boyutlu tomografi ve arazi uygulamaları, Yeraltı suyu Araştırmalarında Uygulanan Yöntemler ve Saha Uygulamaları Seminer Notları, Jeofizik Mühendisleri Odası
- Berge, M.A., 2002, Sığ aramacılıkta sonlu farklar yöntemi ile iki-boyutlu düz çözüm öz direnç modellemesi, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü (yayımlanmamış).
- Bernard, J., Orlando, L., and Vermeersch, F., 2004, Electrical resistivity imaging for environmental applications. 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Abstracts Book,376-379
- Bernard, J., Orlando, L., and Vermeersch, F., 2008, Multi-electrode resistivity imaging for environmental applications, 31 p. (www.iris-instruments.com)
- Candansayar, M.E., 2005, Doğru akım öz direnç yöntemi ile yeraltı suyu aramaları, Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Semineri Notları, Jeofizik Mühendisleri Odası,-52-114
- Erol, O., Yurdakul, M.E., Algan, Ü., Gürel, N., Herece, E., Tekirli, E., Ünsal, Y., Yüksel, M., “Ankara'nın jeomorfoloji haritası”, MTA Rapor No: 6875, 300 p, 1980.
- Foti, S., 2005. Surface wave testing for geotechnical characterization, surface waves in geomechanics – direct and inverse modeling for soil and rocks, Lai and Wilmanski (Ed.), CISM Lecture Notes, Springer-Verlag, Wien-Newyork, 47-71.
- Griffiths, D. H., and Barker, R. D., 1993, Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, Journal of Applied Geophysics,29,211-226
- Griffiths, D.H., Turnbull, J. ve Olayinka, A.I., 1990, Twodimensinal resistivity mapping with a computer-controlled array, First Break,8(4),121-129
- Hayashi, K., 2008. Development of surface-wave methods and its application to site investigations, PhD Thesis, Kyoto University, 278 p.

- ISSMFE, 1993, Manual of Seismic Microzonation, Japan Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Jin, X., Luke, B., Louie, J., 2006. Comparison of Rayleigh wave dispersion relations from three surface wave measurements in a complex-layered system, Proc., ASCE Geotronics (Atlanta), ASCE Press, New York.
- Kasapoğlu, K.E., “Ankara Kenti Zeminlerinin Jeomühendislik Özellikleri”, Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara, 1980.
- Koçkar, M.K., 2016. Küçük ve Orta Büyüklükte Sismik Aktivite Gösteren Bölgelerdeki Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji GU J Sci Part:C 4(4):331-341.)
- Louie, J.N., 2001. Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., v. 91, n. 2, p. 347-364.
- Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., Ivanov, J.M., 1999. Multichannel analysis of surface waves to map bedrock, Kansas Geological Survey, the Leading Edge, December, 1392-1396.
- Nakamura, Y., “A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface”, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (QR of RTRI) 30:1, pp. 273-281, 1989.
- Nazarian, S., 1984. In situ determination of elastic moduli of soil deposits and pavement systems by spectral-analysis-of-surface-waves method. Ph.D. dissertation, Univ. of Texas, Austin.
- Okada, H., 2003. The microtremor survey method, Geophysical Monograph Series no. 12, Published by Society of Exploration Geophysicists (SEG), Tulsa.
- Raptakis, D.G., Manakou, M.V., Chavez-Garcia, F.J., Makra, K.A., Pitilakis, K.D., “3D configuration of Mygdonian basin and preliminary estimate of its site response”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25, pp. 871-887, 2005.
- SeisImager/SWTM V. 2.2 Manual., 2006. Geometrics Inc San Jose, California, USA., 281 p. Park, C.B., Miller R.D. Xia J., 1999. Multi-channel analysis of surface waves, Geophysics, 64(3), 800-808.
- Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Karadenizli, L., Kaypak, B., Şen, Ş., Kazancı, N., Işık, V., Esat, K., Parlak, O., Varol, B., Saraç, G. ve İleri, İ. (2009). A late Pliocene-Quaternary pinched crustal wedge in NW central Anatolia, Turkey: a neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolian plate. Türkiye Jeoloji Bülteni, 52:1, 121-154.
- Stokoe, II., K.H., Wright, S.G., Bay, J.A., Roesset, J.M., 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method, in geophysical characterization of sites, ISSMFE Technical Committee #10, edited by R.D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Hunter, J.A., Harris, J.B., Ivanov, J., 2002. Comparing shear-wave velocity profiles inverted from multichannel surface wave with borehole measurements, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (3), 181-190.



ÖZGEÇMİŞ

Gülçin FELEK, 08.05.1982 yılında Almanyada doğdu. İlk, Orta ve lise eğitimini Ankara da tamamladı. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden mezun oldu (2001-2006). 2007 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezinde Uzman Mühendis olarak halen görevine devam etmektedir