



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BATMAN KENTİ DEPREM-ZEMİN
ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

Sümeyye CAN

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sümeyye CAN

BATMAN-2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

BATMAN KENTİ DEPREM-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

Sümeyye CAN

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

2021, 98 Sayfa

Jüri

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN
Dr.Öğr.Üyesi Abdülrezzak BAKIŞ
Prof.Dr.Ferhat ÖZÇEP

Türkiye, konumu itibarıyla deprem kuşağı üzerindedir. Bu durum, yapılaşmanın yoğun olduğu ve deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde zemin araştırmalarının daha kapsamlı yapılması ihtiyacını gerektirmektedir. Geoteknik mühendisliğinde, depremler gibi dinamik yüklerden kaynaklı zemin problemlerinin ayrıntılı araştırılması önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada deprem kayıtları ile kayma dalgası hızları kullanılarak (V_{s30}) zemin yüzeyindeki ivme-periyot, hız-periyot, deplasman-periyot ilişkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada Batman kent merkezindeki üç mahalle için (Gültepe, Tilmerç ve Fatih) kayma dalgası hızları kullanılmıştır. Bir boyutlu eşdeğer lineer analize dayalı analiz yapan EERA (Eşdeğer-Doğrusal Deprem Tepki Analizi) programı kullanılarak, kayma dalgası hızlarından zemin hakim periyot değerleri bulunmuştur. EERA (Eşdeğer-Doğrusal Deprem Tepki Analizi) programında bu kayma dalgası hız verileri kullanılarak 24.01.2020 de gerçekleşen $M_w:6.8$ büyüklüğündeki Elazığ-Sivrice depremi model deprem olarak kullanılmıştır. Beş farklı istasyondan alınan Elazığ-Sivrice depremi ivme verileri EERA (Eşdeğer-Doğrusal Deprem Tepki Analizi) programında kayma dalga hızları (V_{s30}) ile etkileşime sokularak zemin-deprem etkisi araştırılmıştır. Kayıtları kullanılan istasyonlar; Elazığın Sivrice, Malatya Pütürge, Adıyaman Gerger, Elazığın Kovancılar, Kahramanmaraşın Pazarcıdır. Çalışmanın sonucunda deprem verileri ve kayma dalga hızları etkileşime sokularak zemin-deprem etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Batman, EERA (Eşdeğer-Doğrusal Deprem Tepki Analizi), Çok kanallı yüzey dalga analizi (MASW), V_{s30} (Kayma dalgası hızı)

ABSTRACT**MS THESIS****EXAMINATION OF EARTHQUAKE-SOIL INTERACTION IN BATMAN PROVINCE****Sümeyye CAN****INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY****THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING****Advisor: Assistant Professor Nuray ALPASLAN****2021, 98 Pages****Jury****Advisor: Assistant Professor Nuray ALPASLAN****Assistant Professor Abdülrezzak BAKIŞ****Professor Doctor Ferhat ÖZÇEP**

Turkey is on the seismic zone due to its location. This situation requires more comprehensive soil investigations in areas where construction is intense and earthquake risk is high. In geotechnical engineering, detailed investigation of soil problems caused by dynamic loads such as earthquakes is important. In this study, it is aimed to investigate the acceleration-period, velocity-period, displacement-period relations on the soil surface using earthquake records and shear wave velocities (V_{s30}). In the study, shear wave velocities were used for three neighborhoods (Gültepe, Tilmerç and Fatih) in the city center of Batman. The soil dominant period values were found from shear wave velocities by using the EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses) program, which analyzes based on one-dimensional equivalent linear analysis. In the EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses) program, using this shear wave velocity data, Elazığ-Sivrice earthquake with a magnitude of $M_w: 6.8$ that happened on 24.01.2020 was used as a model earthquake. The soil-earthquake effect was investigated by interacting the Elazığ-Sivrice earthquake acceleration data received from five different stations with shear wave velocities (V_{s30}) in the EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses) program. The stations whose records were used are Sivrice in Elazığ, Pütürge in Malatya, Gerger in Adıyaman, Kovancılar in Elazığ, Pazarcık in Kahramanmaraş. As a result of the study, soil-earthquake effect was investigated by interacting earthquake data and shear wave velocities.

Anahtar Kelimeler: Batman, EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses), Multi-channel surface wave analysis (MASW), Shear wave velocity (V_{s30})

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmama başladığım ilk andan itibaren gerek bilgi ve tecrübeleriyle gerekse çalışmama verdiği kişisel motivasyon sayesinde tez çalışmama katkılarından dolayı Sayın Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN ve Prof. Dr. Ferhat ÖZÇEP'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisansımın başlangıcında çalışmalarımın devamlılığı için desteğini ve hoşgörüsünü eksik etmeyen bilgilerinden yararlandığım Jeofizik Yüksek Mühendisi Aral BENLİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam aşamasında maddi ve manevi desteğini her daim yanımda bulunan sevgili aileme teşekkür ederim.

Sümeyye CAN
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT	2
MS THESIS	2
ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
SİMGELER VE KISALTMALAR	6
1. GİRİŞ	8
1.1. Amaç ve Kapsam	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Depremsellik ve Deprem Parametreleri	12
3.1.1. Deprem türleri	12
3.1.2. Deprem parametreleri	13
3.2. Yer Hareketinin Parametreleri	15
3.2.1. Genlik parametreleri	15
3.2.2. Frekans içeriği parametreleri	16
3.2.3. Deprem süresi	16
3.2.4. Zemin koşullarının tepki spektrumuna etkisi	17
3.2.5. Yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisi	18
3.3. Zeminlerin Dinamik Yükler ile İlişkisi	20
3.3.1. Kayma modülü ve sönüm oranı	21
3.4. Zemin Davranış Analizleri	23
3.4.1. Tek boyutlu zemin davranış analizleri	24
3.4.2. İki boyutlu zemin davranış analizleri	25
3.5. Zemin Tepkisi İçin Eşdeğer-Doğrusal Model	26
3.5.1. Bir boyutlu stress-strain (gerilme-yerdeğiştirme) ilişkisi	26
3.5.2. Lineer olmayan gerilme-deformasyon tepkisinin eşdeğer-lineer yaklaşımı	28
3.6. Bir Boyutlu Zemin Tepki Analizi	32
3.6.1. Serbest yüzey, yüzeye çıkmış anakaya ve anakaya hareketi	36
3.6.2. Geçici hareketler	37
3.6.3. Eşdeğer doğrusal yanıtın iteratif yaklaşımı	38
3.7. EERA Programı	39
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42
4.1. İnceleme Alanı	42
4.2. İnceleme Alanı Tektoniği ve Jeolojisi	42
4.2.1. Hoya formasyonu (Teh)	47
4.2.2. Germik formasyonu (Tog)	47
4.2.3. Şelmo formasyonu (Tmş)	47
4.2.4. Kıradağı bazaltları (QB)	48
4.2.5. Alüvyonlar (Qal)	48
4.3. EERA Programı ile Batman Kenti Vs ₃₀ Hızları Etkileşimi	48

4.3.1. Gültepe mahallesi V_{s30} hızları ile sivrice depreminin EERA programında dinamik analizi	49
4.3.2. Tilmerç mahallesi V_{s30} hızları ile sivrice depreminin EERA programında dinamik analizi	61
4.3.3. Fatih mahallesi V_{s30} hızları ile sivrice depreminin EERA programında dinamik analizi	73
5. SONUÇLAR	85
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	:En büyük yer ivmesi
A_{ilmiik}	:Histeresis ilmiğinin alanını
A_K	:Zemin Büyütme Faktörü
$A(T)$	:Spektral ivme katsayısı
D	:Tabaka kalınlığı
d_i	:i tabaka kalınlığı
f	:Frekans
G	:Kayma modülü
G_{maks}	:Maksimum kayma modülü
G_0	:Düşük deformasyondaki kayma modülü
G^*	:Karmaşık kayma modülü
G_s	:Sekant kayma modülü
h_1	:En üst zemin tabakası kalınlığı
km	:Kilometre
M	:Deprem magnitü
m	:Metre
ω_o	:Hakim frekans
$S(T)$	:Spektral ivme
s	:Saniye
R	:Faya olan uzaklık
T_A, T_B	:Spektrum karakteristik periyotları
T_o	:Zemin hakim periyodu
$U(z)$	:Yer değıştirmenin genliğini
$V_{eş}$	:Eşdeğer kayma dalgası hızı
V_s	:Kayma dalgası hızı
V_{si}	:i. tabakanın kayma dalgası hızı
V_p	:P dalgası hızı
V_s	:S dalgası hızı
V_s	:Kayma dalgası hızı
z	:Derinlik
W_D	:Absorbe edilen enerji

W_d	:Yükleme döngüsü anında kullanılan enerji
W_s	:Maksimum deformasyon enerjisi
$\Gamma(z)$	:Kayma gerilmesinin genliğini
$\Sigma(z)$	:Kayma gerilmesinin genliğini
τ_c	:Kayma gerilmesi
γ_c	:Kayma deformasyonunu
μ	:Sıkışmazlık Modülü
ρ	:Yoğunluk
γ	:Birim şekil değiştirmeyi
ξ	:Sönüm oranını
λ	:Elastik sabit dalga boyu
ε	:Kayma şekil değiştirmesi
α, β	:Rayleigh sönüm katsayıları
η	:Viskozite
τ	: Kayma gerilmesi

Kısaltmalar

EERA	:Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses
------	---

1. GİRİŞ

Depremler gibi dinamik yükler altında zemin davranış ve karakterinin belirlenmesi yapıların projelendirilmesinin yanısıra mühendislik amaçlı tüm çalışmalarda önemli bir yere sahiptir. Depremlerden kaynaklanan tekrarlanmalı gerilmeler özellikle gevşek zemin birimlerinde daha büyük problemlere yol açmaktadır. Depremlerin tektonik olarak bıraktığı etkilerin yanısıra deprem titreşimlerinin yol açtığı çok sığ derinliklerdeki zemin davranışlarının araştırılması da büyük önem teşkil etmektedir. Zemin tabakaları, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları da, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözlendiği gibi, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini etkiler (Ansal, 2004; Das, 1993, Gündoğdu ve Özçep, 2003, Kramer, 1996, Richard, ve ark., 1970).

Zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışı mukavemet, gerilme-şekil değiştirme özellikleri açısından incelenir. Tekrarlı yükler altındaki davranışı belirleyen iki önemli parametre kayma modülü ve sönüm oranıdır. Dolayısıyla bu parametreler, malzemenin mukavemetinin azalması ve malzemenin sönümü olarak da ifade edilir. Kayma modülü ve sönüm oranının artan birim deformalarla ilişkisi laboratuvar ve saha veri şartlarında incelenmesine yönelik ilk çalışmalar Hardin ve Drenevich (1972); Seed ve Idris (1970) tarafından yapılmıştır. Zeminlerin dinamik özellikleri ve bunun sonuçlarının geoteknik analizde kullanılması (sıvılaşma, dinamik yamaç stabilitesi, taşıma gücü kaybı vb) konusunda, Finn (1991); Krinitzsky ve ark. (1993), Richard ve ark. (1993); Ishihara ve Yoshimine (1992); Tokimatsu ve Seed (1984), Siyahi ve Ansal (1993); Majumdar (1971), Siyahi (1992) ve Tokimatsu ve Seed (1984) 'in çalışmaları örnek olarak verilebilir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında, bir boyutlu eşdeğer lineer analize dayalı EERA programı ile, Batman kent merkezinde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz (MASW) tekniği uygulanarak saha ölçümlerinden elde edilmiş kayma dalga hızları (V_{s30}) ve model olarak seçilmiş Elazığ-Sivrice depremine ait beş farklı istasyon deprem verisi etkileşime sokularak, zemin-deprem etkisi araştırılmıştır.

Tez çalışmasının amacı, Batman ili kent merkezinin deprem-zemin etkileşiminin değerlendirilmesi ve zemin problemlerini yönlendiren geoteknik faktörlerin irdelenmesini kapsamaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Zeminlerin tekrarlı (cyclic) yükler altında davranışının (kayma modülü ve sönüm oranının artan birim deformalarla ilişkisi) laboratuvar ve saha verisiyle koşullarında incelenmesine yönelik ilk çalışmalar konusunda Hardin ve Drenevich (1972); Seed ve Idris (1970) tarafından yapılmıştır. Zeminlerin dinamik özellikleri ve bunun sonuçlarının geoteknik analizde kullanılması (sıvılaşma, dinamik yamaç stabilitesi, taşıma gücü kaybı vb) konusunda, Finn (1991); Krinitzsky ve ark. (1993), Richard ve ark. (1993); Ishihara ve Yoshimine (1992); Tokimatsu ve Seed (1984), Siyahi ve Ansal (1993); Majumdar (1971), Siyahi (1992) ve Tokimatsu ve Seed (1984) 'in çalışmaları örnek olarak verilebilir.

Yerel zemin koşulları aynı zamanda depreme dayanıklı yapı tasarımında da önemli bir rol oynamaktadır. 1857 Neopolitan depremlerindeki zemin koşullarının etkisini Mallet (1862) rapor etmiş, 1906 San Fransisco depreminin yersarsıntıları üzerinde zemin koşullarının etkisini Wood (1908) ve Reid (1910) göstermiştir. Gutenberg (1927) farklı zemin koşullarına sahip mikro-seizm kayıtlarından zemin-bağımlı büyütme faktörlerini geliştirmiştir.

Zeminlerin göreceli büyütmesinin yerinde birlenmesine yönelik bir çok yöntem son yıllarda geliştirilmiştir. Bu konuda ilk çalışmalar, Nakamura (1985) ve Bard (1988) anılabilir. Deprem- zemin ilişkisinin yada büyütmesinin/tepkisini denetleyen en önemli jeofizik parametre zeminin kayma dalgası hızı (Borcherdt ve ark., 1991) olduğu için kayma dalgası hızını belirlemeye yönelik klasik jeofizik teknikler (sismik kırılma ve yansıma) yanında modern ölçüm teknikleri (cross-hole, down-hole, sismik-CPT gibi kuyu jeofiziği teknikleri, SASW ve MASW gibi yüzey dalgası analiz yöntemleri) (Park ve ark., 1999; Xia, ve ark., 1998; Okada, 2002; Stokoe ve Hoar, 1978; Stokoe ve ark., 1988; Nazarian, 1984; Nazarian ve Stokoe, 1984) geliştirilmiştir.

Bir boyutlu saha davranış analizleri, yerel zemin koşullarının deprem dalgaları altında göstereceği hâkim periyotlardaki davranışların modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan saha davranış analiz yöntemlerinden, Schnabel ve ark.(1972) tarafından geliştirilen Shake bilgisayar programında olduğu gibi, zemin davranışını modellemek için eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılmıştır.

Zemin davranış analiz konusunda birçok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Vucetic ve Dobry, 1991; Alim, 2006; Alim ve ark., 2007; Hashash YMA, Park D., 2001, Hashash YMA, 2002).

Seed ve Sun., (1989) tarafından zemin çökellerinin deprem sırasında oluşacak yüzey yer hareketi üzerindeki etkisini EERA programı kullanarak araştırmışlardır.

Kuruoğlu (2004), İzmir körfezi kuzey kıyılarını kapsayan çalışmasında CBS merkezli veritabanı oluşturarak bölgenin tek boyutlu dinamik analizlerini yapmıştır. Deterministik ve probabilistik tehlike analizlerinin her ikisi de bu çalışmada incelemiştir. Bölgeye ait dinamik zemin parametreleri bir ara yüz yazılımı ile hesaplanmıştır. Tek boyutlu davranış analizleri için ise EERA programı kullanılmıştır.

Selçuk ve ark. (2007) tarafından Küçükçekmece-Sefaköy bölgesinde, kalınlığı 200 m'yi bulan zemin çökellerinin deprem sırasında oluşacak yüzey yer hareketi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, bir boyutlu eşdeğer lineer ve bir boyutlu ve iki boyutlu non-lineer dinamik davranış analizlerini EERA ve Deepsoil programları ile yapmışlardır. Her bir kesit için dinamik analizler yapılmış ve bu kesitler üzerinde arazi topoğrafyası ve formasyonlar göz önünde bulundurularak, seçilen noktalarda (bir boyutlu analizlerin yapıldığı noktalar) yüzey ivmesi ve spektral ivme değerleri belirlenerek karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Batman kenti için zemin araştırma amaçlı olarak elde edilmiş kayma dalga hızları (V_{s30}) EERA programı ile değerlendirilmiş ve programda, farklı istasyonlardan alınan deprem ivme verileri kayma dalga hızları ile etkileşime sokularak Batman kentinin zemin-deprem etkisi araştırılmıştır.

3.1. Depremsellik ve Deprem Parametreleri

Yerküre'nin üst katmanları, manto'daki konveksiyonel ısı akımlarının etkisiyle hareket halinde olan levhalardan oluşmaktadır. Bu hareketler sırasında levhalar birbirinden uzaklaşır, birbirlerine çarpar veya birbirlerine sürtünürler. Sonuçta, hareket halindeki bu levhalar birbirleri üzerine kuvvet uygularlar. Bu kuvvet yerkabuğundaki kayaların direnç göstermesi yüzünden belli bölgelerde enerji birikimine yol açar. Bu enerji birikimi kayalarda sınırı aştığı anda faylanma meydana gelir ve biriken enerji ortaya çıkar. Levha hareketleri yüzünden birikmiş gerilme enerjisinin aniden boşalması olayı depremleri meydana getirir. Bu levhaların, birbirlerine göre hareketleri, sınırlarda gerilmelerin (stress) ve yamulmaların (strain) oluşmasına ve birikmesine neden olmakta, biriken gerilmeler kayacın direncini aşınca kırılma meydana gelip, sismik dalgaların oluşumuna sebep olmaktadır.

Belirli bir yerdeki elastik dalga titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır (Bullen ve Bolt, 1985).

3.1.1. Deprem türleri

Levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "Tektonik" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhalar sınırlarında oluşurlar. İkinci tip depremler "Volkanik" depremlerdir. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bir başka tip depremler de "Çöküntü" depremlerdir. Bunlar yer altındaki mağara gibi boşlukların kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukları tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar.

3.1.2. Deprem parametreleri

3.1.2.1. Odak noktası

Yerin içinde depremin enerjisinin çıktığı nokta odak noktası veya hiposanr olarak tanımlanmaktadır. Reel olarak bu enerjinin ortaya çıktığı nokta değil bir alandır.

3.1.2.2. Dış merkez

Odak noktasına en yakın ve yer üzerinde bulunan aynı zamanda depremin en çok hissedildiği nokta dış merkez olarak tanımlanmaktadır.

3.1.2.3. Odak derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Yerin 0-60 km.derinliğinde olan depremler sığ deprem, 70-300 km.derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km.'den fazla derinliğinde olan depremlerdir.

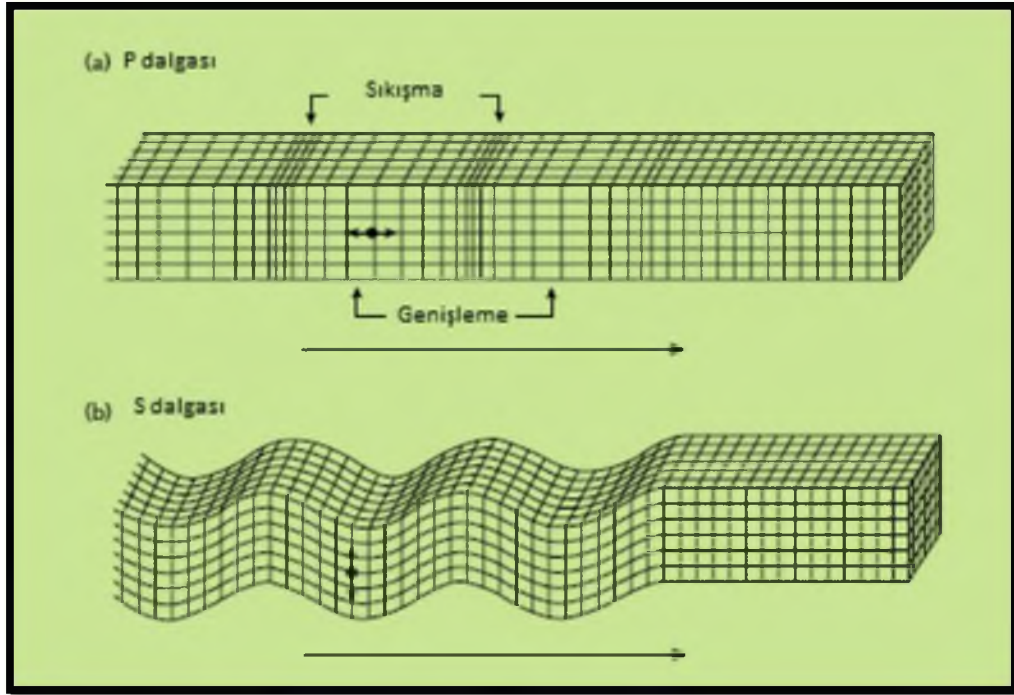
3.1.2.4. Magnitüd (büyüklük) ve şiddet

Depremin büyüklüğü, deprem sırasında boşalan enerji ile ilişkili bir değerdir ve aletsel olarak ölçülür. Şiddet ise deprem bölgesindeki hasara göre belirlenen göreceli bir değerdir.

3.1.2.5. Deprem dalgaları: P ve S dalgaları

Sismik dalgalar, yer içerisinde elastik dalgalar şeklinde yayılırlar. Bu elastik dalgalar deprem sonucunda meydana gelen enerjinin açığa çıkmasıyla oluşurlar. Sismik dalgalardan faydalanılarak yer içinin özelliklerinin yüksek çözünürlüklü modelleri elde edilebilir ve böylece muhtemel yapı ve davranışları belirlenebilir. Deprem esnasında ortaya çıkan başlıca dalgalar cisim ve yüzey dalgalarıdır. Cisim dalgaları, kaynaktan bütün yönlere doğru yayılarak, yer içerisinde seyahat ederler. Cisim dalgaları P ve S olmak üzere ikiye ayrılırlar. P dalgaları her türlü ortamda, S türü dalgalar ise yayılma

doğrultusu boyunca ve yayılma doğrultusuna dik olarak hareket ederler. Şekil 3.1’de P ve S dalgalarının yayılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. P ve S dalgalarının yayılımı (Kearey ve ark., 2002)

P türü cisim dalgaları yayılma doğrultusuna paralel ileri-geri yayılan dalga türüdür. P dalgaları gözlem noktalarına ilk olarak ulaşırlar ve ortam değişkenlerine bağlı olarak P dalgası hızı Formül 3.1’ de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (3.1)$$

Formül (3.1)’de V_p = P dalgası hızı, λ = Elastik sabit dalga boyu, μ = Sıkışmazlık Modülü, ρ =Yoğunluktur.

S dalgası yayılma doğrultusuna dik titreşim yaptığından enine veya kayma dalgası (shear wave) olarak adlandırılır. S dalgası hızı ise formül (3.2) de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3.2)$$

Formül (3.2)'de V_s = S dalgası hızı, μ = Sıkışmazlık Modülü, ρ = Yoğunluktur.

3.2. Yer Hareketinin Parametreleri

Yapılar üzerinde hasara sebep olan şiddetli zemin hareketleridir. Depremlerin neden olduğu değişimleri araştırabilmek amacıyla, söz konusu zemin hareketliliğin oransal olarak belirleyip, depremin yapısal özelliklerinin saptanmalıdır (Kramer, 1996). Deprem hareketlerini belirleyen öncülleri şöyle sıralanabilir: Genlik, frekans içeriği ve depremin süresi.

3.2.1. Genlik parametreleri

Genel anlamda deprem esnasında ölçülen kayıtları; yer değiştirme, ivme ve hız parametrelerinin zaman içerisindeki değişimini ifade eder. Zamana bağlı olacak biçimde deprem sırasında kaydedilen yer değiştirme, hız ve ivme değerlerinden herhangi birinin belirlenmesi üzerine geriye kalan değerler türev veya integral işlemlerinin ardından tespit edilebilir.

3.2.1.1. Maksimum ivme

Deprem ivmesi, deprem anında zeminin ne kadar miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Maksimum (Pik) ivme, deprem anında kaydedilen en büyük ivmedir. Maksimum deprem ivmesi ile depreme neden olan faya uzaklık arasında çok sayıda azalım ilişkileri mevcuttur.

Erdik ve ark. (1985) tarafından önerilen azalım ilişkisi Formül (3.3)'de verilmiştir.

$$A = 0.0159 \exp(0.868M) [R + 0.0606 \exp(0.700M)]^{-1.09} \quad (3.3)$$

Formül (3.3)'de, A ; En büyük yer ivmesi, (g), R ; Faya olan uzaklık, (km), M ; Deprem magnitudüdür.

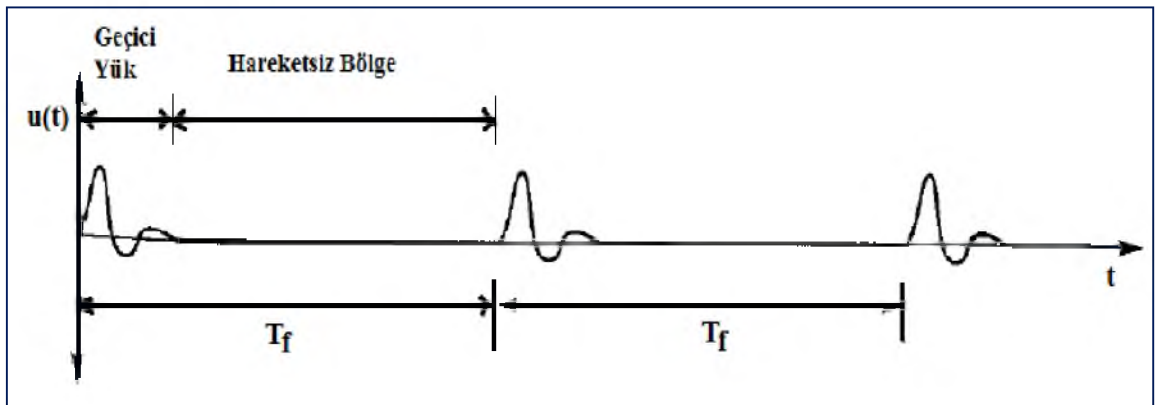
3.2.1.2. Maksimum yer hızı

Maksimum ivmesinde olduğu gibi maksimum yer hızı ve uzaklık ilişkileri incelenmiştir. Sadigh ve ark. (1979) tarafından $M=6.5$ büyüklüğündeki depremler için mesafe ve maksimum yer hızı ilişkisi araştırılmış V_{max}/A_{max} oranlarının hareketle farklı formasyonlar için değişiklik gösterdiği öne sürülmüştür.

3.2.2. Frekans içeriği parametreleri

Farklı frekanslar boyunca deprem genliğinin dağılımının incelenmesi frekans içeriği olarak tanımlanmaktadır. , Fourier analizlerinden yararlanarak, belli bir aralıkta kendini tekrar eden periyodik fonksiyonlar birbirinden ayrı frekans, genlik ve fazlardaki harmonik hareketlerinin toplamını ifade eder. Zamanla belirlenmiş data frekans ortamına iletilmesi ile spektrum denilen datalar bulunur.

Periyodik olmayan yükler, deprem yüklerinde olduğu gibi herhangi bir an periyodunda aynı değerleri tekrarlamayan, sürekli olmayan yüklerdir. Bu yükler bir zaman zarfından sonra tekrardan aynı değerleri vereceği varsayımında bulunularak periyodik hareket kabul edilip Fourier formüllerinden yararlanılarak işlem yapılır (Kramer, 1996). Şekil 3.2’de, Geçici yükün, hareketsiz bölge tanımlayarak T_f periyodunda hareketin kendini tekrar etmesi durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Geçici yükün hareketsiz bölge tanımlayarak T_f periyodunda hareketin kendini tekrar etmesi (Kramer, 1996)

3.2.3. Deprem süresi

Belirli bir fay hattında depolanan enerjinin zamanla açığa çıktığı durumundaki zamana deprem süresi denir. Deprem süresi, fayın kırılma zonuyla orantılı bir biçimde

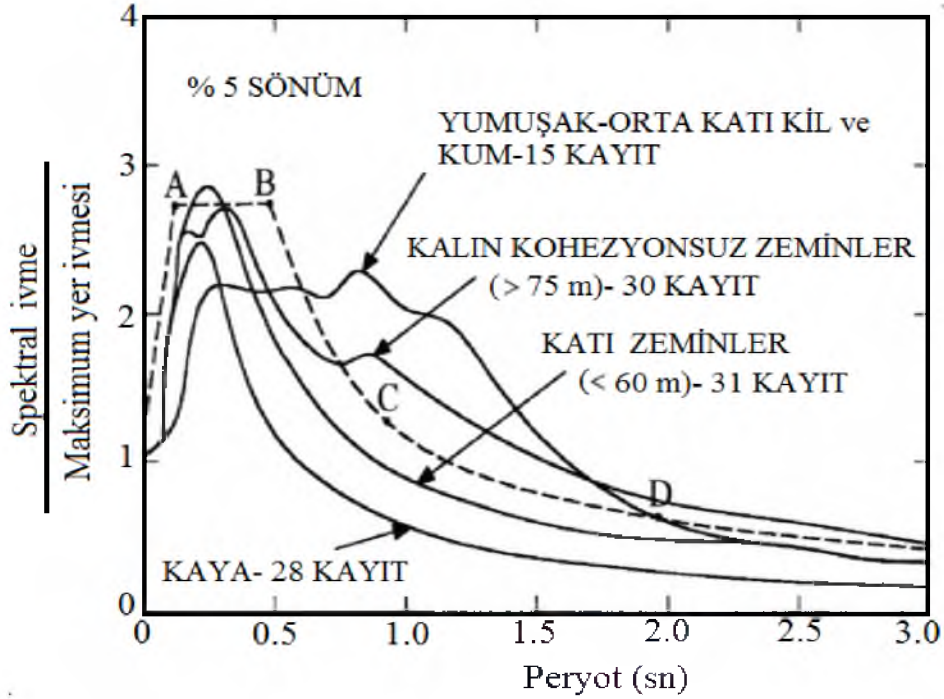
değişir. Depremi oluşturduğu andan başlanarak deprem verileri alınır ve bu kayıtlar gürültünün başladığı seviyeye inene değin kayıt edilir. Kuvvetli yer hareketinin süresini belirleyebilmek amacıyla belirli bir seviyenin altında bulunan ivme kayıtları önemsenmemelidir. Buna Sınırlandırılmış Süre (Bracketed Duration) denilir.

3.2.4. Zemin koşullarının tepki spektrumuna etkisi

Deprem dalgaları, zemin tabakalarının içinden geçerken depremin özelliklerinin değişmesi bir yana, bu dalgalar, zemin tabakalarının özelliklerini de etkilemekte, bir dayanım (mukavemet) yitimine yol açabilmektedir. Bu nedenle bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken en önemli adımlardan biri o bölgedeki zemini oluşturan tabakaların tekrarlı gerilmeler altındaki davranışlarının beklenmesidir. Zemin koşullarını da içine alan deprem çalışmaları, depremlerin yerel zemin koşulları üzerinde çok büyük önem taşıdığını göstermiştir (Ansal, 1999, Keçeli, 2000).

Yerel zemin tabakalarının özellikleri, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan geniş kapsamlı bir inceleme yardımıyla istenen hassaslıkta saptanabilmektedir. Aynı biçimde, bölgede oluşabilecek bir depremin kaynak özelliklerini de önceden tahmin edebilmek için, kapsamlı bir çalışma gerekmektedir. Geçmişte olmuş depremler, her depremin bölgesel tektonik yapıya ve faylanmaya bağlı olarak farklı tekil özellikleri olabileceğini göstermiştir (Ansal, 2001).

Seed ve Idriss (1975), 104 yerden alınmış deprem kayıtlarına göre, ivme kayıtları elde etmişlerdir. Kayıtların elde edildiği profilleri kaya, sert zeminler, derin kohezyonsuz zeminler, yumuşak-orta kil ve kum olarak sınıflandırmış ve bu sınıflandırmaya göre ortalama spektrumlar elde etmişlerdir (Şekil 3.3).



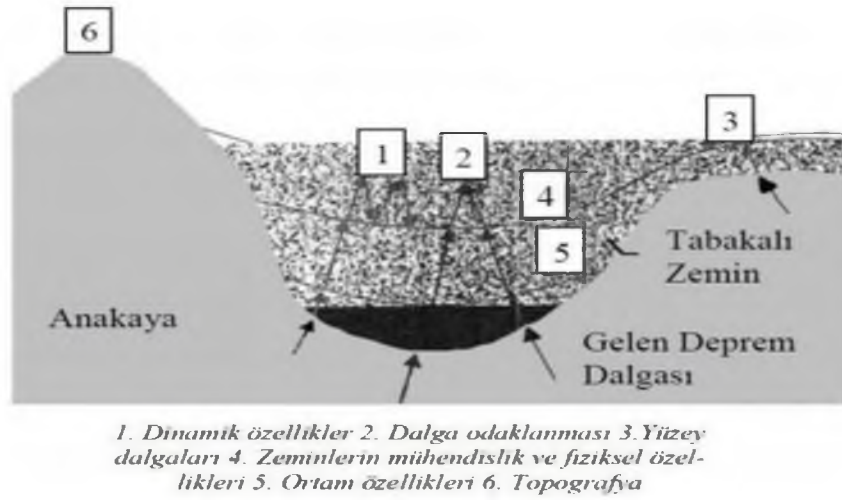
Şekil 3.3. Farklı zemin profilleri için elde edilen ortalama ivme spektrumları (Seed ve Idriss (1975))

3.2.5. Yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisi

Deprem dalgaları, zemin katmanlarının mukavemet ve şekil değiştirme gibi parametrelerini etkiler. Zemin katmanları deprem dalgalarının genliğini, frekans içeriğini, süresini ve deprem dalgalarının karakteristik özelliklerini etkiler. Süregelen yükler etkisinde bulunan zemin davranışı yükün genliğine göre değişiklikler gözlemlenir. Zeminde elastik davranış düşük genlikli titreşimlerde gözlemlenirken, plastik şekil değiştirmelerde ise büyük genlikli tekrarlı yükler altında gerçekleşir. Yapılarda meydana gelen büyük ölçekli hasarlar, zemine etkileyen büyük genlikli tekrarlı yükler altında oluşur. (Lav,1994; Vucetic ve Dobry,1991). Deprem sırasında oluşan farklı dalgaların zemin içerisindeki hızlarında farklılık gözlemlenir. Dalgalar, yeryüzeyine ulaştığında farklı sürelerde titreşimler oluşturur. Dalgaların yol aldığı ortamın fiziksel özellikleri, kaynaktan uzaklığı, depremin büyüklüğü ve dalgaların içinden geçtiği zemin tabakalarının özellikleri depremin titreşiminin şiddetini ve süresini etkiler. Anakayadan yüzeye doğru ilerleyen sismik dalgalar zemin katmanlarına eriştiği anda zeminde dalgaların karakteristik özellikleri değişime uğrar. Deprem dalgalarındaki frekanslar zeminlerde büyütülür veya sönümlenir. Zemin etkisi bu değişimlerin tümünü kapsar. Böylece genlikler artırıcı bir etkiye sahip olduğundan zemin büyümesi gerçekleşir (Kramer, 1996; Lav, 1994).

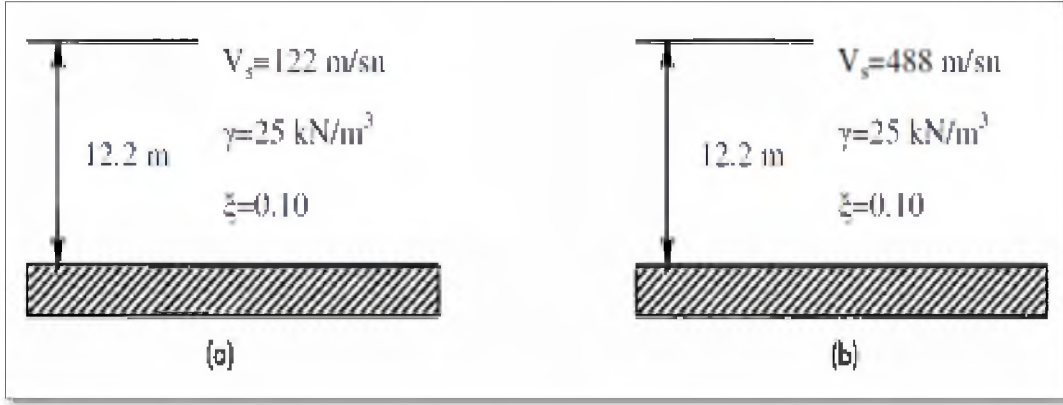
Zemin büyütmesine etkili olan etmenler:

Anakaya yüzeyindeki zemin katmanlarının kalınlığı, anakayanın derinliği, zeminin dinamik özellikleri (kayma modülü, cinsleri ve sönüm oranı vb.) ve bu dinamik etmenlerin şekildeğiştirme ve derinlikle değişimleri, yerel zemin koşulları, katmanların farklı dinamik özellikleri, yüzey altındaki katmanlaşmaya bağlı olarak odaklanan deprem dalgalarını, cisim dalgalarının yüzeyde oluşan dalgalara dönüşmesi (İyisan ve Haşal, 2011) (Şekil 3.4).

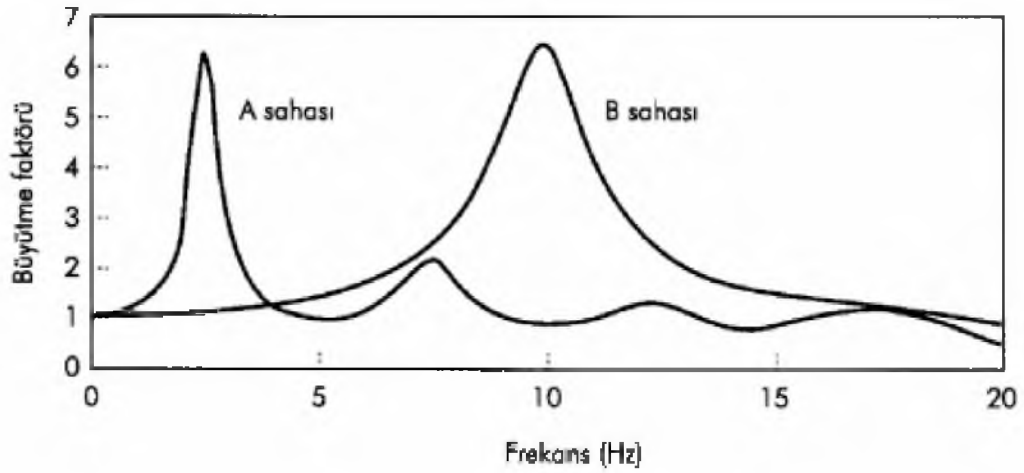


Şekil 3.4. Zemin büyütmesini etkileyen faktörler (Şafak, 2001)

Yerel zemin katmanları, deprem dalgalarında süzgeç görevi görmektedir. İki ayrı zemin profili Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Gösterilen profillerin geometrileri birbiriyle aynıdır ancak kayma dalga hızları farklılık gösterirken bu profillerden biri diğer profile göre daha rijit bir özellik göstermektedir. Dolayısıyla zemin profillerinin büyütme fonksiyonları, anakayanın rijit, zeminlerinde lineer elastik davranış gösterdiği varsayımına göre Şekil 3.6’deki gibi olacaktır. Şekil 3.5’de görüldüğü üzere, A profili yumuşak olan zemini gösterirken frekansı düşük ve ana kayadan gelen dalgalar daha sert zemin olan B profili üzerinde daha büyük oranlar oluşur.



Şekil 3.5. Anakaya üzerinde bulunan hipotetik iki zeminin profili; (a) A alanı, (b) B alanı (Kramer, 1996)



Şekil 3.6. A ve B alanlarının amplifikasyon grafikleri (Kramer, 1996)

3.3. Zeminlerin Dinamik Yükler ile İlişkisi

Statik yükler altında olduğu gibi deprem gibi dinamik yükler altında da zeminleri farklı iki yönden ele alabiliriz. Bu durumu, zeminin inşaat malzemesi olarak kullanılması ve binaların temel altı malzemesi şeklinde kabul edebiliriz.

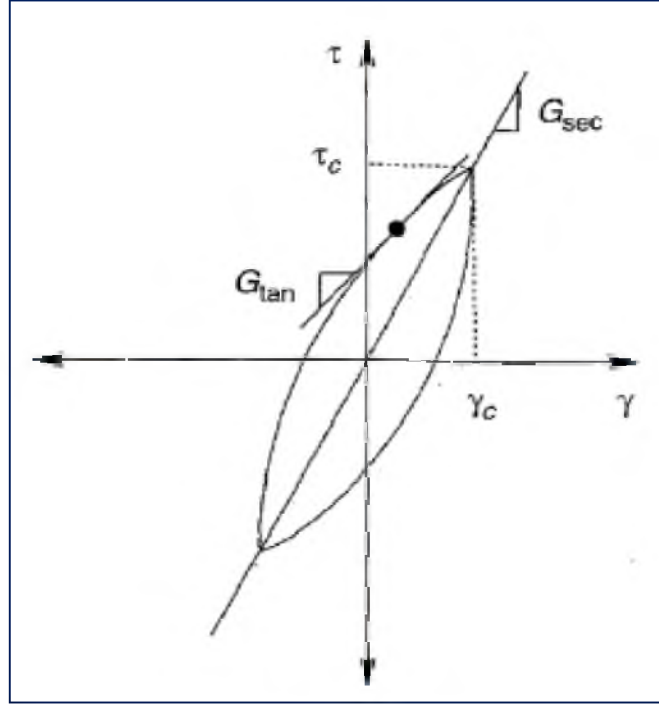
Zeminlerin dinamik yükler altındaki gerilme (stress) ve deformasyon (strain) ilişkilerinin ayrıntılı incelenmesi zeminin dinamik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında önem arz etmektedir. Dinamik kayma modülü, sönüm oranı, kayma dalga hızı (V_s) ve poisson oranı zemin dinamiğinin önemli parametreleridir. Deprem dalgalarının yayılmasını etkileyen zemin özelliklerinden rijitlik, sönüm, Poisson oranı ve yoğunluk değerleri arasında, rijitlik ve sönüm değerleri diğerlerine göre daha büyük öneme sahiptir (Kramer, 1996).

Dinamik (tekrarlı, cyclic) yükler altında zeminlerin davranışı, deprem hasarına/zarına neden olma potansiyeli ile doğrudan ilişkili olan zemin yerdeğiştirmeleri/yenilmelerinin boyutlarını ve dağılımını belirlemede önemli/yaşamsal bir rol oynamaktadır. Dinamik yükler altında gerilme-deformasyon ve mukavemet önemlidir. Genelde, indüklenmiş/tetiklenmiş deformasyonun (strain) farklı seviyeleri, farklı türde malzeme modellerinin hesaba katılmasını gerektirir. Eğer odaklanma sismik dalgalarının yayılımı üzerine ise, elastik davranış, yani küçük deformasyon düzeyi yeterlidir. Öte yandan, dinamik yüklemenin düzeyi büyük/güçlü ise, inelastik kalıcı deformasyonları ve bir o kadar da dinamik olarak indüklenmiş mukavemet değişimlerini hesaba katmak gereklidir. Zeminlerin dinamik gerilme-deformasyon ve mukavemet özellikleri doğrudan yada ampirik olarak saha yada laboratuvar deneylerinden elde edilebilirler (Brandes, 2003).

Zemin davranışları açısından ince daneli zeminlerde plastisite yani kilin su tutma kapasitesi; iri daneli zeminlerde ise boşluk oranı en önemli parametreler olmaktadır. Bu parametrelerin de derinlikle ve yatay doğrultuda değişebilir nitelikte olması, zeminlerin farklı noktalarda farklı davranışlar sergilemelerine neden olabilmektedir (Ansal ve ark., 1999).

3.3.1. Kayma modülü ve sönüm oranı

Zemin davranışı, tekrarlı yüklemeler etkisinde bulunduğu durumlarda zeminin dinamik parametreleri esas alınarak belirlenir. Şekil 3.7’de gösterildiği gibi tekrarlı yükler etkisinde zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışı histeresis ilmiği elde edilmektedir.



Şekil 3.7. Sekant kayma modülü(G_{sec}) ve tanjant kayma modülü(G_{tan}) (Kramer, 1996)

Tekrarlı yükler etkisinde zeminin şekil değiştirme-gerilme davranışını ifade eden iki parametre Histeresis ilmiğinin genişliği ve eğimidir. Zeminin rijitliğine bağlı olan ilmiğin eğimi yükleme anında herhangi bir noktanın tanjantı, kayma modülüdür ve G_{tan} ile gösterilmektedir. Zemin rijitliği, efektif gerilme, boşluk oranı, aşırı konsolidasyon oranı, tekrarlı döngü sayısı, tekrarlı deformasyonun büyüklüğü ve plastisite indeksine bağlı olarak değişim gösterir. Kayma modülü, G_{tan} yükleme döngüsünce eğimin tanjantına bağlı olarak değişim gösterir. Sekant kayma modülü, histeresis ilmiğinin ortalama bir değeridir ve bu değer ilmiğin uç noktalarından geçen doğrunun eğimi olarak hesaplanır. G_{sec} olarak gösterilir (Kramer, 1996).

$$G_{sec} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3.4)$$

Formül (3.4)'de, τ ; gerilmeyi, γ ; birim şekil değiştirmeyi, ξ ; sönüm oranını ifade etmektedir. Burada sönüm oranı, histeresis ilmiğinin genişliği olup enerji kaybı ile bağlantılıdır (Kramer, 1996);

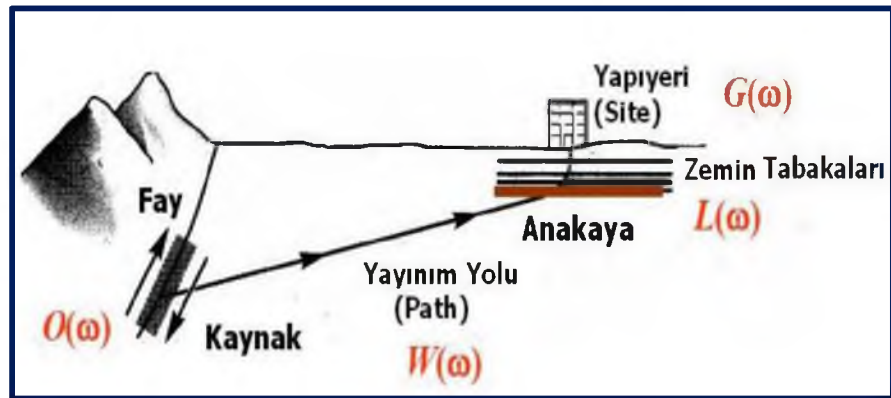
$$\varepsilon = \frac{W_D}{4\pi W_S} = \frac{1}{2\pi} \frac{A_{ilmik}}{G_{sec} \gamma^2} \quad (3.5)$$

Formül (3.5)'de W_S ; maksimum deformasyon enerjisi, W_D ; absorbe edilen enerji, A_{ilmik} ; histeresis ilmiğinin alanını ifade eder. Sönüm oranı ise zeminde bir döngü esnasında absorbe edilen enerji miktarıdır.

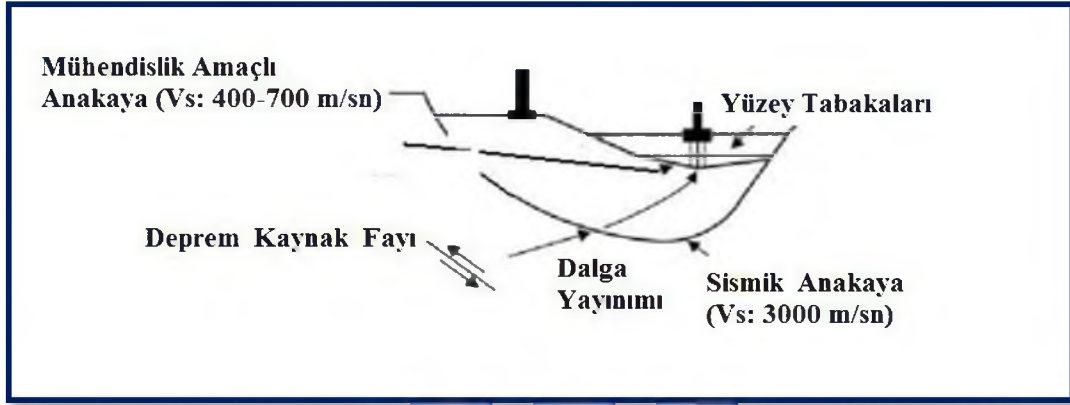
G_{sec} (G ; kayma modülü) ve ξ (sönüm oranı) parametreleri Eşdeğer lineer analiz yönteminde önemli parametrelerdir. Sabit bir kayma modülü ve sönüm oranı değerleriyle zeminin lineer davranışı belirlenebilir. Eşdeğer lineer analiz yöntemi, zeminlerin dinamik yükler etkisinde bulunan lineer olmayan davranışını gerilme-şekil değiştirme ilişkisine göre sönüm oranının ve kayma modülünün devamlı değişimi), değişen G_{sec} modülleri ile yaklaşık olarak bulunur. Bundan dolayı maksimum kayma modülü (G_{max}) ve kayma modülü oranı (G/G_{max}) parametreleri de dikkate alınır. Kayma deformasyonunun değerine dayalı olarak kayma modülü değişmektedir.

3.4. Zemin Davranış Analizleri

Depremler esnasında meydana gelen yer hareketleri; kaynak, yayılım yolu ve arazi yapısı gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Bu sebeplerden ötürü oluşacak olan yer hareketlerinin incelenebilmesi amacıyla; bölgesel sismisite, yer hareketinin sönümlenmesi, yerel zemin koşulları gibi etmenler önem taşımaktadır. Yerel zemin koşullarında oluşan deprem dalgalarının etkisi altında bulunan hâkim periyotlardaki davranışların modellenmesinde genellikle tek boyutlu zemin davranış analizleri kullanılır.



Şekil 3.8. Deprem hareketinin kaynaktan yapıyerine ulaşırken geçtiği çeşitli aşamalar (Yamazaki, 2003)

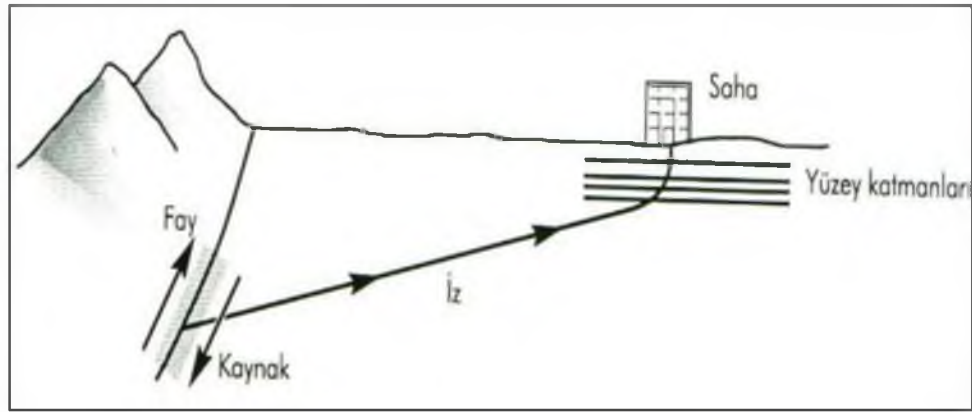


Şekil 3.9. Deprem üreten bir kaynaktan yeryüzeyine dalga yayılımı (Yoshida ve Iai, 1998)

3.4.1. Tek boyutlu zemin davranış analizleri

Yüzeye yakın zeminlerde bir fay kırıldığında, cisim dalgaları kaynak kısmından bütün yönler'e dağılır. Farklı jeolojik katmanların sınırlarına ulaştıklarında yansıyıp kırılırlar. Sığ derinlikteki zeminlerin dalgaları iletme hızları daha derinde bulunan dalgalar'dan çoğunlukla daha düşük olduğu için eğimli ışınlardan yatay katman sınırına çarpanlar çoğunlukla daha düşey bir yere doğru kırılırlar. Işın yer yüzeyine ulaşana dek oluşan kırılmalar bunların çoğunlukla düşeye yakın yönde kırılmalarına sebep olur. Tek boyutlu zemin davranış analizleri, bütün sınırların yatay olduğu ve zeminin tepkisine hakim olarak anakayadan düşey yönde yayılan SH dalgalarının neden olduğu varsayımına dayanmaktadır (Şekil 3.10).

Tek boyutlu zemin davranış analizlerinde zemin ve anakaya yüzeylerinin yatay yönde sonsuz uzanımlı olduğu varsayılır. Bu varsayıma dayalı yöntemlerle kestirilen zemin tepkilerinin birçok deprem sırasında ölçülmüş tepki ile uyum sergilediği gözlenmiştir (Kramer, 1996).



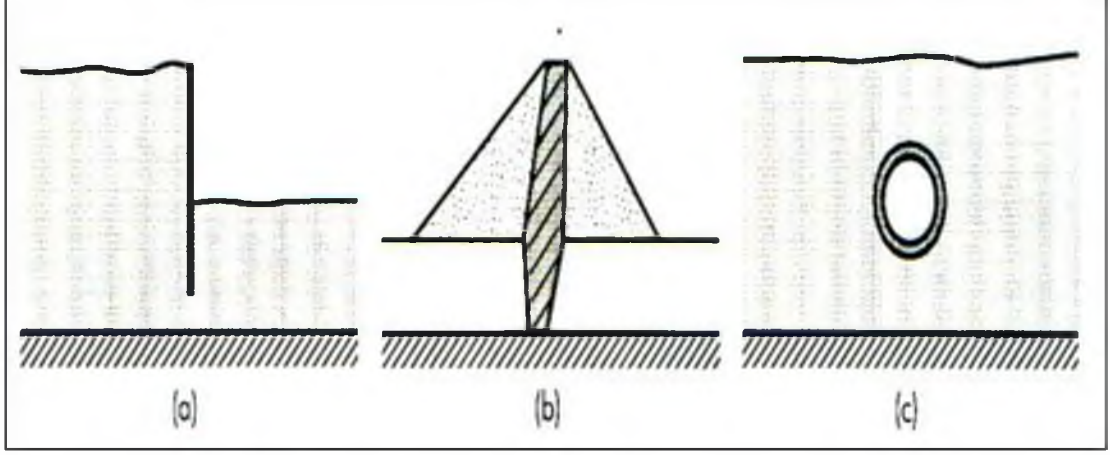
Şekil 3.10. Kırılma süreci ve dalga yayılma şeması (Kramer 1996)

Tek boyutlu eşdeğer lineer davranış analizi, yatay veya yataya yakın tabakalanmış ve yeterli derecede homojen zemin profilleri (anakaya dahil) için uygundur. Bu durumlarda, zemin koşullarının seçilen zemin kolonu ile temsil edilmediği haller haricinde, çoğu zaman doğru sonuçlara ulaşılabilir. Analizlerde, zemin kolonunda tek boyutlu analiz yapmak için yazılan standart programlar kullanılabilir (SHAKE, SHAKE 91 veya EERA v.s.). Deprem tehlikesi hesapları, zeminde yüksek birim şekil değiştirmelere ve doğrusal olmayan davranışa neden olabilecek çok yüksek ivme seviyeleri verebilmektedir. Uygulamada, doğrusal olmayan zemin davranışı ‘lineer eşdeğer zemin modelleri’ ile hesaba katılmaktadır. Ancak, bu modeller birim şekil değiştirme seviyeleri dahilinde mümkündür. Her zemin için izin verilen birim şekil değiştirme seviyesi, zeminin kıvamına ve mukavemetine bağlıdır. Genelde, bu modellerin geçerli olduğu aralığın üst sınırı, kayma modülünün (G) birim şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak en büyük kayma modülünün yarısına G_{max} eşit olduğu noktadır (Alim, 2006).

3.4.2. İki boyutlu zemin davranış analizleri

Genellikle, Geoteknik deprem mühendisliği uygulamalarında tek boyutlu analizler kullanılır. Fakat, tek boyutlu dalga yayılma varsayımı uygulamada karşılaşılan birçok problemin çözümüne cevap vermemektedir. Zemin yüzeylerinin düzensiz veya eğimli olması durumunda, rijit ve gömülü ağır yapılar veya duvarlar ile tünellerin bulunduğu tüm durumlar için iki boyutlu hatta belki de üç boyutlu analiz gerekir. İçinde bir boyutunun diğerlerine göre çok daha büyük olduğu problemler çoğu zaman iki

boyutlu düzlemsel birim deformasyon problemi olarak ele alınabilir. Bununla ilgili sıklıkla karşılaşılan problemler Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Dinamik tepki analizleri ile çözülen yaygın problemler (Kramer, 1996)

3.5. Zemin Tepkisi İçin Eşdeğer-Doğrusal Model

3.5.1. Bir boyutlu stress-strain (gerilme-yerdeğiştirme) ilişkisi

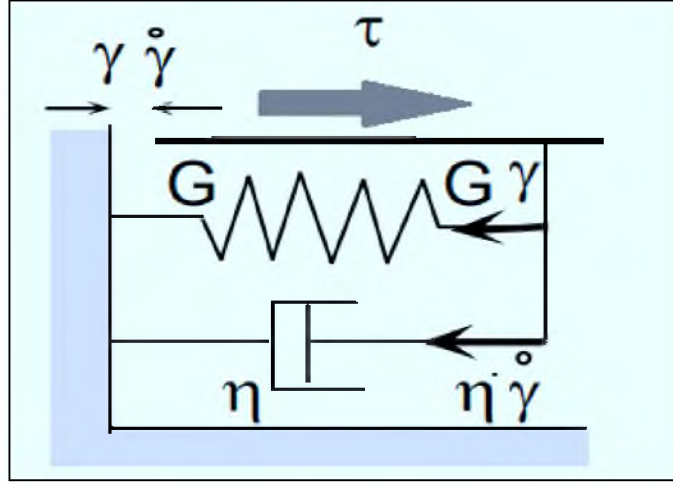
Zemin tepkisi için kullanılan Eşdeğer-Doğrusal modelin bir boyutlu stress-strain (gerilme-yerdeğiştirme) ilişkisinin temeli Kelvin-Voigt modeline dayanır. Eşdeğer lineer modelde kullanılan gerilme deformasyon ilişkisi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Kayma deformasyonu γ ve kayma deformasyonu hızına $\dot{\gamma}$ bağlı olan kayma gerilmesi τ formül (3.6)’de verilmiştir.

$$\tau = G \gamma + \eta \dot{\gamma} \quad (3.6)$$

Formül (3.6)’de; G , kayma modülü η , viskozitedir.

Bir boyutlu kayma gerilmesine maruz kalan zeminlerde kayma deformasyonu ve kayma deformasyonu hızı, z derinliğinde ve t anındaki yatay deplasman $u(z,t)$ dikkate alınarak; formül (3.7)’deki şekilde ifade edilir:

$$\gamma = \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} \rightarrow \dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \partial t} \quad (3.7)$$



Şekil 3.12. Eşdeğer-linear modelde kullanılan gerilme-deformasyon modelinin şematik gösterimi (Bardet ve ark., 2000)

Modelde, harmonik hareket durumunda, yer değiştirme, şekil değiştirme ve şekil değiştirme hızı Formül (3.8)'deki şekilde ifade edilir:

$$u(z, t) = U(z)e^{i\omega t}, \gamma(z, t) = \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = \Gamma(z)e^{i\omega t} \text{ ve } \dot{\gamma}(z, t) = i\omega\gamma(z, t) \quad (3.8)$$

Formül (3.8)'de yer alan $U(z)$ ve $\Gamma(z)$ değerleri sırasıyla yer değiştirme ve kayma gerilmesinin genliğini ifade eder. Şekil 3'de, gerilim-yerdeğiştirme ilişkisi (yani Denklem 1) eşitliği kullanılarak harmonik yüklemeler durumuna gelir.

$$\tau(z, t) = \Sigma(z)e^{i\omega t} = (G + i\omega\eta) \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = G^* \gamma(z, t) \quad (3.9)$$

Formül (3.9)'da G^* karmaşık kayma modülü ve $\Sigma(z)$ kayma gerilmesinin genliğini ifade eder. Akabinde ξ (kritik sönüm oranı)'nin $\xi = \omega\eta/2G$ yapısını alması durumunda karmaşık kayma modülü olan G^* şu şekilde formülize edilir.

$$G^* = G + i\omega\eta = G(1 + 2i\xi) \quad (3.10)$$

Tam bir yükleme döngüsü anında kullanılan enerji olan W_d , gerilim-yerdeğiştirme döngüsü tarafından üretilen alana eşit olur.

$$W_d = \oint_{\tau_c} \tau d\gamma \quad (3.11)$$

(3.11) Denklemi; γ_c 'nin yani genliğin ($\gamma(t) = \gamma_c e^{i\omega t}$) gerilim kontrolünde bulunan harmonik yükleme durumunda şu duruma gelir.

$$W_d = \int_t^{t+2\pi/\omega} \text{Re}[\tau(t)] \text{Re} \left[\frac{d\gamma}{dt} \right] dt \quad (3.12)$$

Bu durumda gerilme ve şekil değiştirme oranının yalnızca gerçek olan kısımları hesaba katılır (Meirovitch, 1967). Denklem (3.9), eşitlik kullanımı, gerilme ve gerilme oranının gerçek kısımları şu şekildedir.

$$\text{Re}[\tau(t)] = \gamma_c (G \cos \omega t - \omega \eta \sin \omega t) \text{ ve } \text{Re} \left[\frac{d\gamma}{dt} \right] = -\gamma_c \omega \sin \omega t \quad (3.13)$$

En son aşamada denklem (3.12) aşağıdaki duruma gelir.

$$W_d = \frac{1}{2} \omega \gamma_c^2 \int_t^{t+2\pi/\omega} [-G \sin 2\omega t + \omega \eta (1 - \cos 2\omega t)] dt = \pi \omega \eta \gamma_c^2 \quad (3.14)$$

Sistemde depolanan maksimum gerilme enerjisi aşağıdaki gibi olur.

$$W_s = \frac{1}{2} \tau_c \gamma_c = \frac{1}{2} G \gamma_c^2 \quad (3.15)$$

ξ (Kritik sönümlenme oranı)'nin, W_d ve W_s arasındaki bağıntısı aşağıdaki şekilde olur.

$$\xi = \frac{W_d}{4\pi W_s} \quad (3.16)$$

3.5.2. Lineer olmayan gerilme-deformasyon tepkisinin eşdeğer-lineer yaklaşımı

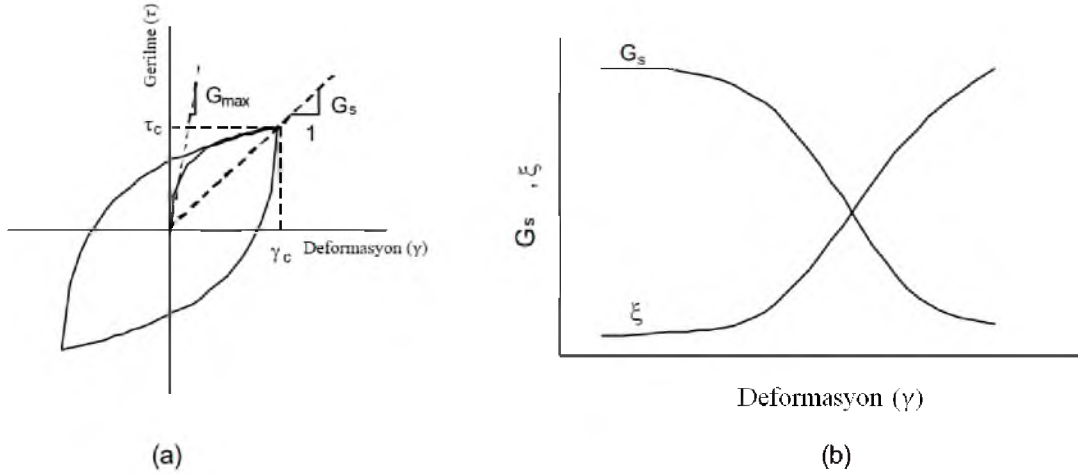
Kelvin-Voigt modelinin bazı bölümleri dikkate alınarak yapılacak olan eşdeğer lineer yaklaşım modeli, lineer olmayan zemin davranışını ele almaktadır. Şekil 2 de yükleme döngüsünde zeminlerin lineer olmayan ve histerik gerilme-deformasyon davranışları gösterilmektedir. Kayma şekildeğiştirme büyüklüğüne (γ) bağlı olarak

eşdeğer lineer kayma modülü olan G , sekant kayma modülü G_s biçimini alır. Şekil 3.13’de gösterildiği gibi simetrik gerilim sonundaki G_s aşağıdaki gibi olur

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (3.17)$$

Formül (3.17)’da, τ_c ve γ_c sırasıyla kayma gerilmesi ve kayma deformasyonunu ifade eder. Eşdeğer lineer sönüm oranı (ξ), tekrarlı yük altındaki zemin gerilme-deformasyon histerisis eğrisinin bir turu boyunca harcanan enerji miktarı kadar olan enerji sönüm oranını ifade eder.

Eşdeğer lineer model veri örnekleri için Hardin ve Drnevitch (1970), Kramer (1996), Seed ve Idriss (1970), Seed ve ark. (1986), Sun ve ark. (1988) ve Vucetic ve Dobry (1991) de bulunabilir.



Şekil 3.13. Eşdeğer-lineer model: (a) Histerisiz gerilme-şekil değiştirme eğrisi; ve (b) Kayma deformasyonu, kayma modülünün değişimi ve kayma deformasyonu genliği ile sönümleme oranı

Saha tepki analizinde, zemin davranışı çoğunlukla Şekil 3.14’de gösterildiği gibi belirlenir. G_s - γ eğrileri, τ - γ gerilme-şekil değiştirme eğrilerine bağlı olarak oluşur. Örneğin, gerilme yumuşatmanın τ - γ eğrilerinden çıkarılmasıyla G_s - γ eğrilerini oluşturur. Deformasyondaki artış, gerilmedeki azalmayla birlikte deformasyon yumuşamasını oluşturur. Yapılan hesaplamalarda karmaşık mühendislik hesapları kullanılır. Bu karmaşık hesaplar kullanılmadığı durumda, gerginliğin yumuşatılmasının sonsuz sınır değer problemleri ve mekansal ayrıklaştırmaya (yani ağ geometrisi) kuvvetle bağımlı olan sayısal çözümler gibi istenmeyen sayısal etkiler yarattığı gösterilmiştir. Gerginlik yumuşatmanın hariç tutulması şu anlama gelir:

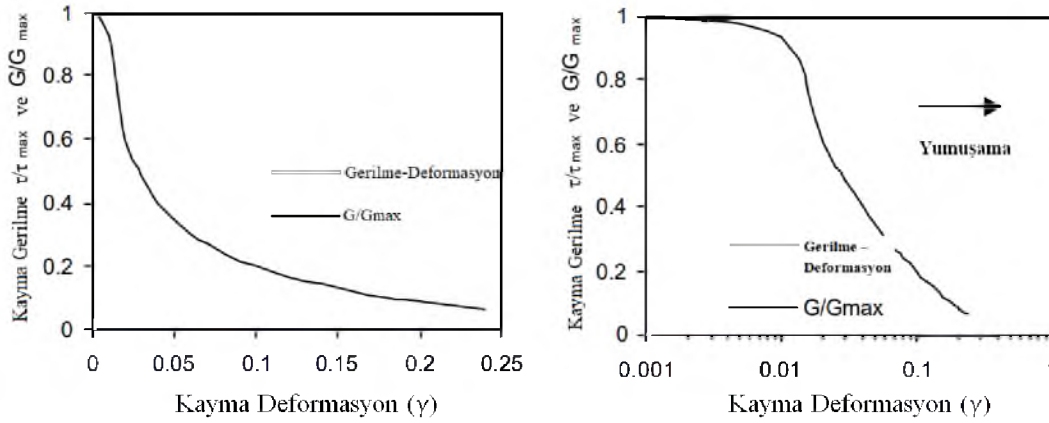
$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0 \quad (3.18)$$

G_s - γ eğrilerinde (G_i, γ_i), farklı noktaların kullanılmasıyla Denk 3.18'de olduğu gibi verilir.

$$\frac{\Delta G_s}{G_{max}} \geq - \frac{G_s(\gamma) \Delta \gamma}{G_{max} \gamma} \quad (3.19)$$

Burada ΔG_s 'ler, γ cinsinden $\Delta \gamma$ 'deki artışına karşılık gelen G_s deki azalmadır ve G_{max} , G_s 'nin maksimum değeridir. Denk 3.19 aşağıdaki denkleme eşdeğerdir.

$$G_{i+1}/G_i \geq 2 - \gamma_{i+1}/\gamma_i \quad (3.20)$$



Şekil 3.14. Bir gerilme-deformasyon eğrisinde net bir şekilde görülebilen fakat bir G_s - γ eğrisinden belirlenmesi zor olan belirli bir şekil yumuşatma durumunu göstermektedir.

3.5.2.1. Model 1

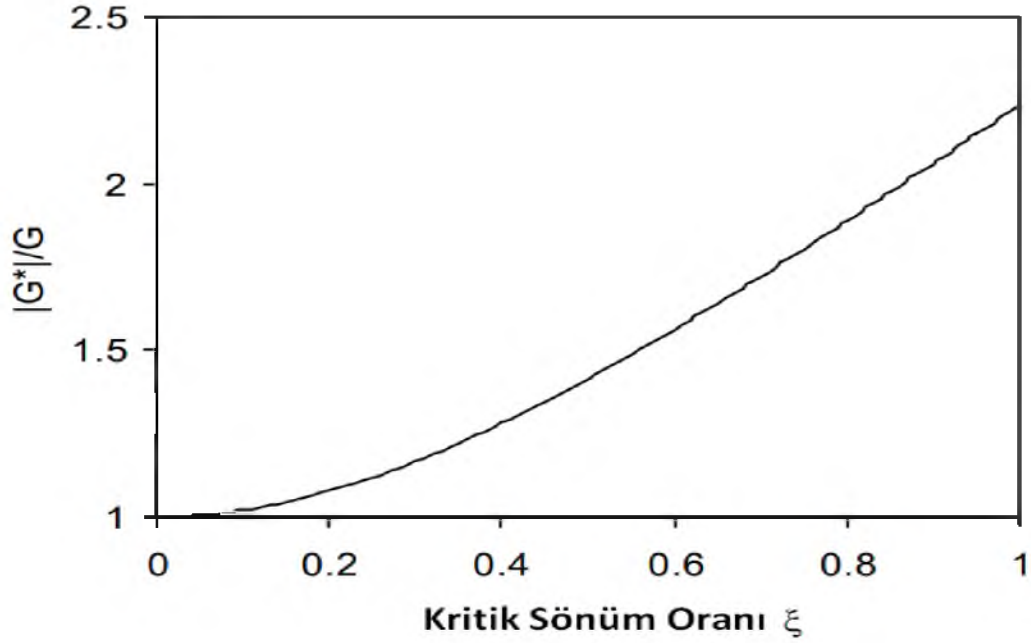
Bu model SHAKE'nin orijinal versiyonunda kullanılır (Schnabel ve ark. 1972). Burada ξ sabit ve ω 'dan bağımsız olarak incelenir, böylelikle ω 'nın G^* modülünden bağımsız olduğu sonucuna ulaşılır. Bir yükleme döngüsü anında kaybolan enerji şu şekilde ifade edilir.

$$W_d = 4\pi W_s \xi = 2\pi \xi G \gamma_c^2 = \pi \eta \gamma_c^2 = \pi \eta \gamma_c^2 \omega \quad (3.21)$$

Dağıtılan enerji, ξ ile lineer şekilde artar ve ω' dan bağımsızdır; ayrıca bu durum ω , gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altındaki alanının frekanstan bağımsız olduğu görülmektedir. Kompleks kayma modülünün ve gerçek kayma modülünün genlikleri arasında şöyle bir ilişki vardır.

$$|G^*| = G\sqrt{1 + 4\xi^2} \quad (3.22)$$

Yani denklemde ifade edildiği gibi ξ arttıkça $|G^*|$ de artar. Şekil 3.15'de, $|G^*|/G$ 'nin ξ ile arasındaki ilişkiyi göstermektedir. ξ , % 25'e eriştiğinde kompleks kayma modülünün genliği % 12'lere dek bir değişim mümkün olmaktadır.



Şekil 3.15. Kritik sönüm oranına ile karmaşık kayma modülü genliğinin arasındaki ilişki (Model 1)

3.5.2.2. Model 2

Bu modelde, SHAKE 91 (Idriss ve Sun, 1992) programında kullanılmıştır. Burada ξ 'nin karmaşık kayma modülünün bir fonksiyonu olduğu görülür.

$$G^* = G\left\{(1 - 2\xi^2) + 2\xi j\sqrt{1 - \xi^2}\right\} \quad (3.23)$$

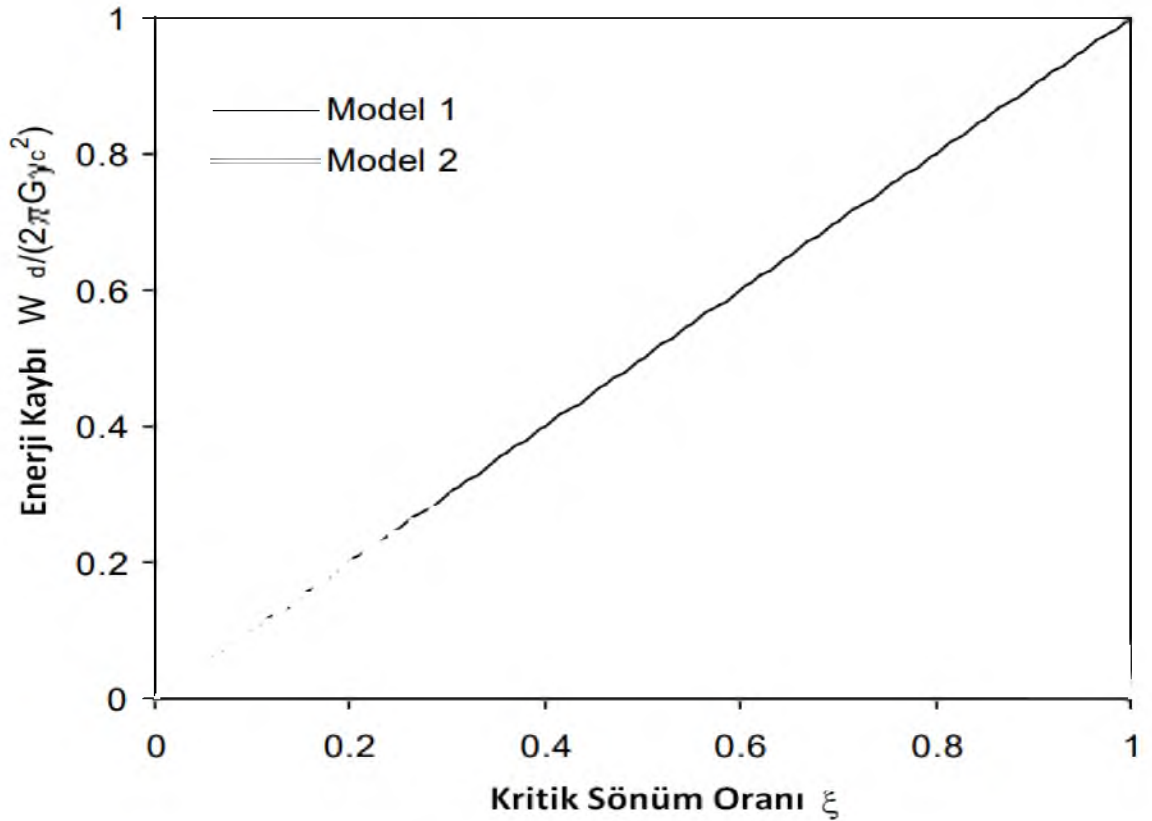
Yukarıdaki ifadede malzemede meydana gelen değişimi ifade eden önde gelen bir varsayımdır. Burada, kompleks modülün ve gerçekte modülün aynı genliğe sahip olduğunu gösterir, yani:

$$|G^*| = G\{(1 - 2\xi^2)^2 + 4\xi^2(1 - \xi^2)\} = G \quad (3.24)$$

Bir yükleme döngüsü sırasında harcanan enerji şu şekildedir:

$$W_d = \frac{1}{2} \omega \gamma_c^2 \int_t^{t+2\pi/\omega} 2G\xi\sqrt{1-\xi^2} dt = 2\pi G\xi\sqrt{1-\xi^2} \gamma_c^2 \quad (3.25)$$

Şekil 3.16'da, harcanan enerjinin ξ ile arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Model 2'nin harcanan enerjisi, bire ulaştıktan sonra sıfıra doğru yönelim gösterir. Uygulamada ξ 'nin genellikle % 25'in altında olduğu gözlenir. Bu tür koşullarda, Model 1 ve 2'de harcanan enerjiler birbirinin benzeridir.



Şekil 3.16. Yükleme döngüsünde Model 1 ve 2 için kritik sönüm oranı ile enerji kaybı arasındaki ilişki

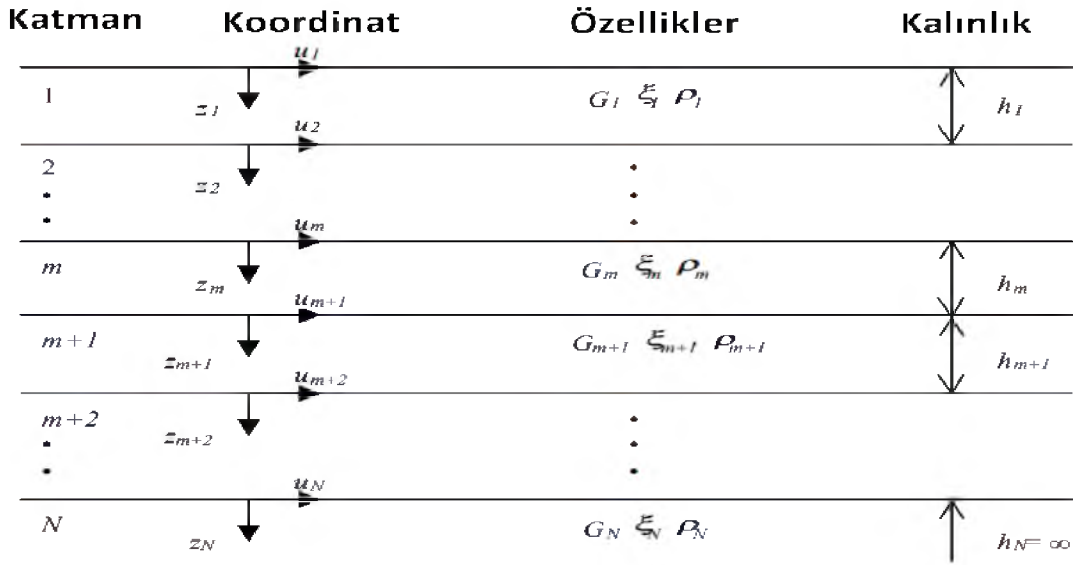
3.6. Bir Boyutlu Zemin Tepki Analizi

Şekil 3.17’de, bir boyutlu eşdeğer lineer tepki analizinin alanın varsayımlarını göstermektedir. Dikey bir harmonik kayma dalgası, Şekil 4.6’da gösterildiği gibi, bir boyutlu tek katmanlı sistemde yayılır. Dikey olarak yayılan kayma dalgaları için bir boyutlu hareket denklemi,

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (3.26)$$

Burada, ρ herhangi bir katmandaki birim kütledir. Tüm katmanlardaki kütlenin bir Kelvin-Voigt katı (örneğin Denk 3.1), Denk 3.27 şeklinde olur.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (3.27)$$



Şekil 3.17. Tek boyutlu katmanlı zemin sistemi (Schnabel ve ark., 1972)

Harmonik dalgalar için, deplasman şöyle yazılabilir.

$$u(z, t) = U(z)e^{i\omega t} \quad (3.28)$$

Denklem 4.29, Denklem 4.28 ile çözümlenmesi aşağıdaki gibi olur.

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3.29)$$

genel çözümü aşağıdaki şekli alır.

$$U(x) = Ee^{ik^*z} + Fe^{-ik^*z} \quad (3.30)$$

Burada karmaşık dalga sayısı şu şekilde ifade edilir: $k^{*2} = \frac{\rho\omega^2}{G+i\omega\eta} = \frac{\rho\omega^2}{G^*}$

Kritik sönümlendirmeden sonra elde edilen ξ denklemi, $\xi = \omega\eta/2G$ formuna dönüşüp denklemde yerleştirilmesiyle Karmaşık kayma modülü olan G^* ise şu biçimde tanımlanır.

$$G^* = G + i\omega\eta = G(1 + 2i\xi) \quad (3.31)$$

29 Denkleminin çözümü:

$$u(z, t) = (Ee^{ik^*z} + Fe^{-ik^*z})e^{i\omega t} \quad (3.32)$$

biçiminde olmaktadır ve bunu karşı oluşan gerilme şu şekildedir.

$$\tau(z, t) = ik^* G^* (Ee^{ik^*z} - Fe^{-ik^*z})e^{i\omega t} \quad (3.33)$$

h_m kalınlığı m katmanı ifade eder. h_m kalınlığındaki katmanın(m) üstündeki ($z = 0$) ve altındaki ($z = h_m$) yer değiştirmeler:

$$u_m(0, t) = u_m = (E_m + F_m)e^{i\omega t} \text{ ve } u_m(h_m, t) = (E_me^{ik_m^*h_m} + F_me^{-ik_m^*h_m})e^{i\omega t} \quad (3.34)$$

m katmanının üstündeki ve altındaki kayma gerilmeleri şunlardır.

$$\begin{aligned} \tau_m(0, t) &= ik_m^* G_m^* (E_m - F_m)e^{i\omega t} \text{ ve} \\ \tau_m(h_m, t) &= ik_m^* G_m^* (E_me^{ik_m^*h_m} - F_me^{-ik_m^*h_m})e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (3.35)$$

m ve $m + 1$ katmanları arasında kalan alanda yer değiştirmeler ve kayma gerilmesi şu şekilde olmalıdır:

$$u_m(h_m, t) = u_{m+1}(0, t) \text{ ve } \tau_m(h_m, t) = \tau_{m+1}(0, t) \quad (3.36)$$

Eşitliklerinin kullanılmasıyla denklem 34 ve denklem 36'de yer alan katsayılar E_m ve F_m arasındaki ilişki şu şekilde olur:

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-k_m^* h_m} \quad (3.37)$$

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (3.38)$$

(3.37) ve (3.38) denklemlerindeki E_{m+1} ve F_{m+1} değerleri, E_m ve F_m cinsinden şu şekilde gösterilir.

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (3.39)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (3.40)$$

m ve $m + 1$ katmanları arasında kalan alandaki karmaşık empedans oranını gösteren α_m^* :

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} = \sqrt{\frac{\rho_m G_m^*}{\rho_{m+1} G_{m+1}^*}} \quad (3.41)$$

Şeklinde gösterilir. Öz yinelemeli algoritma kayma gerilmesi olmayan üst serbest yüzeyde başlatılır

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* (E_1 - F_1) e^{i\omega t} = 0 \quad (3.42)$$

Bu denklemin karşılığı da şu biçimde gösterilir.

$$E_1 = F_1 \quad (3.43)$$

Denklem. (4.39) ve (4.40) sırasıyla 2 ve m katmanları arasındaki alanda uygulanır. m ve n katmanlarının üstündeki yer değiştirmeler, A_{mn} yani transfer fonksiyonundaki gösterimi şöyledir:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (3.44)$$

$\dot{u}(z, t)$ ve $\ddot{u}(z, t)$ ivme, aşağıda gösterilen denklemlerle ilişkilidir:

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \text{ ve } \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (3.45)$$

Diğer taraftan A_{mn} , m ve n katmanlarının üst katmanındaki hızları ve deplesmanları ilgilendiren bir transfer işlevini de gösterir:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (3.46)$$

Denk. 30'da derinliği z olan ve zamanı t olarak ifade eden kesme gerginliği:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^*(Ee^{ik^*z} - Fe^{-ik^*z})e^{i\omega t} \quad (3.47)$$

Şeklinde gösterilir ve aynı fonksiyonlardaki kayma gerilmeleri:

$$\tau(z, t) = G^*\gamma(z, t) \quad (3.48)$$

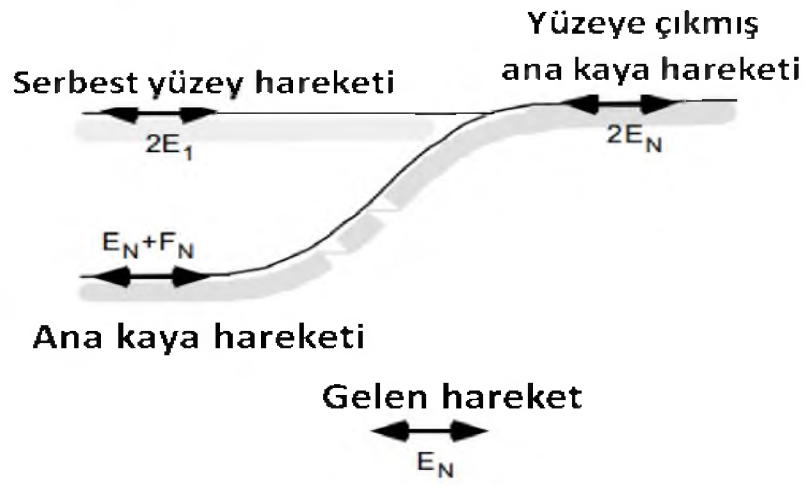
3.6.1. Serbest yüzey, yüzeye çıkmış anakaya ve anakaya hareketi

Şekil 3.18'de zemin tepki analizinde yer alan dört terim verilmiştir. Serbest yüzey hareketi bir zemin birikintisinin en üst yüzeyindeki harekettir. Ana kaya hareketi zemin tabakalarının tabanındaki harekettir. Yüzeyde mostra veren ortam hareketi, ana kayanın zemin yüzeyine çıktığı yerdeki harekettir. Şekil 3.18'de gösterildiği gibi, dikey olarak yukarı doğru hareket eden giriş kayma dalgası ana kaya boyunca E_N kadardır. Ana kaya hareketi, ana kayanın üstündeki zemin birimleri altında $E_N + F_N$ kadar olur. Serbest yüzeylerde kayma gerilimi olmadığından (yani, $E_N = F_N$) Ana kaya hareketi $2E_N$ kadar olur. Ana kaya hareketi ve ana kayadan çıkma hareketi ile ilgili transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi olur.

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (3.49)$$

Serbest yüzeyde $E_1 = F_1 = 1$ olduğu kabulü ile, serbest yüzey hareketi ve kaya tırmanma hareketi arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde olur:

$$A'_{1N}(\omega) = \frac{1}{E_N} \quad (3.50)$$



Şekil 3.18. Zemin tepki analizinde kullanılan terminoloji

3.6.2. Geçici hareketler

Tek boyutlu zemin kolon tepkisi yukarıdaki teoride sabit durum için ele alınmış olup harmonik hareket yani frekans alanındadır. Fourier serisi (örneğin, Bendat ve Piersol, 1986) kullanılarak geçici hareketlerin zaman değişimi dikkate alarak genişletilebilir. Gerçek değerli veya karmaşık değerli bir fonksiyon olan $x(t)$, farklı N değerleri kullanılarak aşağıdaki duruma gelir.

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{i\omega_k t_n} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{i\omega_k n\Delta t} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{2\pi i k n}{N}} \quad n = 0, \dots, N-1 \quad (3.51)$$

Δt , sabit zaman aralığı (yani, $n = 0, \dots, N-1$ için $x(n\Delta t) = x_n$) olup X_n değerleri, $t_n = n\Delta t$ zamanlarına karşılık gelir. Ayrık frekanslar olan ω_k :

$$\omega_k = 2\pi \frac{k}{N\Delta t} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (3.52)$$

Fourier bileşenleri:

$$X_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_n e^{-2\pi i k m / N} \quad m = 0, \dots, N-1 \quad (3.53)$$

Fast Fourier Dönüşüm algoritması ile hesaplanan X_m katsayıları, Cooley ve Tukey (1965) tarafından geliştirilmiştir. İşlem sayısı, $N \log N$ olarak ölçeklendirildiğinde Hızlı Fourier Dönüşümü adının (yani, FFT) doğruluğunu gösterir.

3.6.3. Eşdeğer doğrusal yanıtın iteratif yaklaşımı

SHAKE'de, kayma modülü ve sönme oranı değerleri, her katmanda iterasyon gerilme seviyesi ile tutarlı olmaları için tekrarlanarak hesaplanır. Şekil 3.19'da açıklandığı gibi, G_0 ve ξ_0 değerleri küçük gerilme değerleriyle başlatılır ve maksimum kesme gerginliği $\gamma_{\max}$ ve etkili kesme gerilme γ_{eff} değeri hesaplanır. Sonrasında, ardındaki tekrarlama için γ_{eff}^1 'e karşılık gelen G_1 ve ξ_1 değerleriyle uyumlu olacak şekilde hesaplanır. Eşdeğer lineer analiz bu şekilde G ve ξ değerleri, tüm katmanlarda iterasyon gerilme ile uyumlu oluncaya dek yeni G ve ξ değerleriyle tekrarlanır.

Her bir katmandaki eşdeğer lineer yaklaşım için tekrarlanma adımları şu şekilde ele alınır:

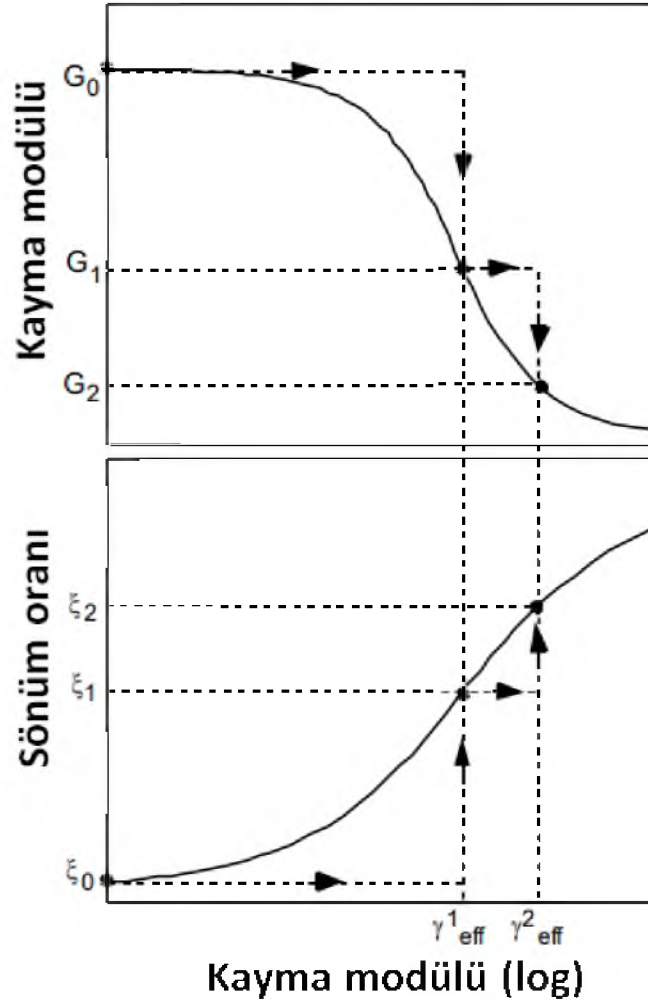
1. Küçük gerilme değerleri olacak şekilde G^i ve ξ^i değerleri başlatılır.
2. Zemin tepkisi hesaplanır ve maksimum kesme gerginliği $\gamma_{\max}$ her bir tabakadaki kesme geriliminin geçmişlerinden elde edilir.
3. Etkili kayma gerinimi verimini γ_{eff} 'tan, $\gamma_{\max}$ için belirlenir:

$$\gamma_{\text{eff}}^i = R_\gamma \gamma_{\max}^i \quad (3.54)$$

Etkili kesme gerilmesinin, deprem büyüklüğüne bağlı olan maksimum kesme gerilmesine oranı R_γ ile ifade edilir. R_γ giriş bölümünde yansıtılır ve deprem sırasındaki devir sayısını açıklar. R_γ her bir katman için aynı değerdedir.

4. Etkili kayma gerinim değeri olan γ_{eff} 'e karşılık gelen yeni eşdeğer lineer G_{i+1} ve ξ_{i+1} değerlerini hesaplanır.

5. Tüm katmanlarda, iki iterasyonda hesaplanan kayma modülü değerleri ile sönümlleme oranı arasındaki farklar, önceden belirlenmiş bir değerin altına düşene kadar 2 ile 4 adımları tekrarlanır. Çoğu zaman 8 yineleme istenilen sonuca ulaşabilmek için yeterli olur.



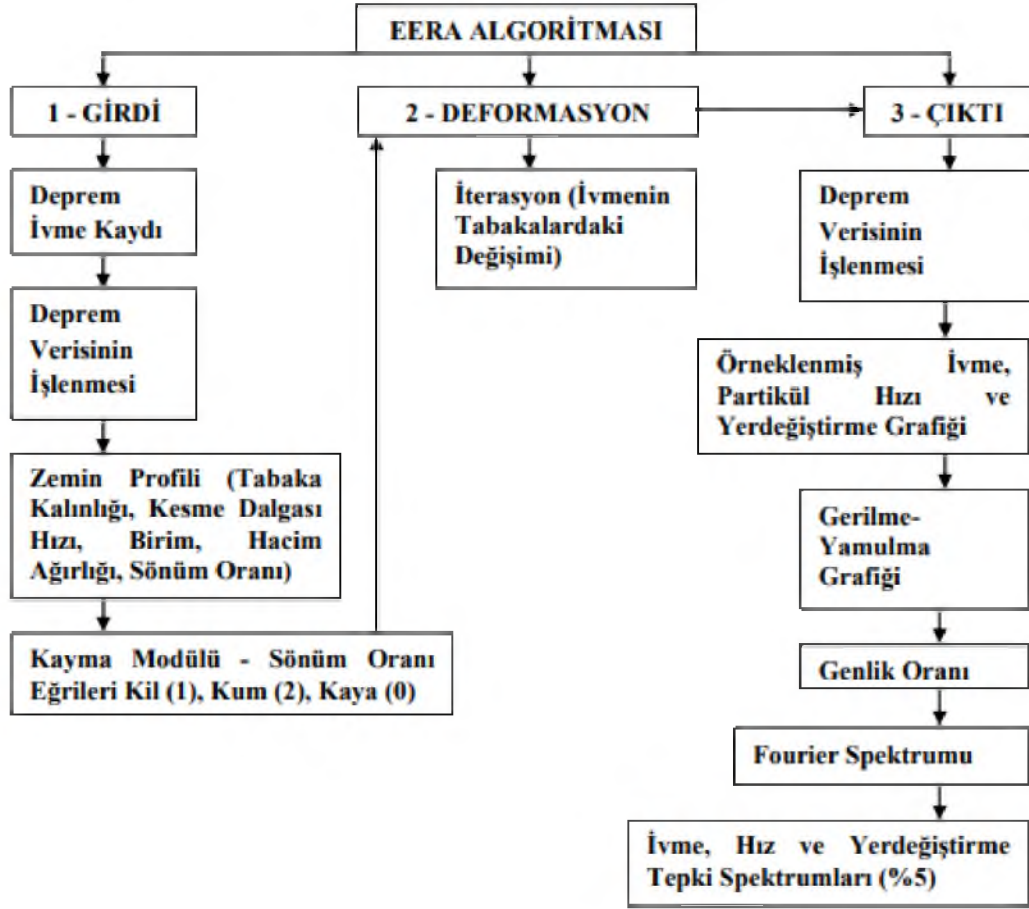
Şekil 3.19. Eşdeğer lineer analizde kayma modülünün yinelenmesi ve kayma gerilimi ile sönümlleme oranı

3.7. EERA Programı

Zemin sahası tepkilerinin bu büyötmeleri (amplifikasyonları), yatay zemin tabakaları gibi basitleştirilmiş zemin koşullarını girdi olarak kullanan çeşitli bilgisayar programı kullanılarak simüle edilmiştir. Bu amaç için geliştirilen ilk bilgisayar programlarından biri SHAKE'dir (Schnabel ve ark. 1972). Piyasaya süröldükten 25 yıl sonra, SHAKE halen yaygın olarak kullanılmaktadır ve geoteknik deprem mühendisliğinde referans verilen bir bilgisayar programıdır. SHAKE, oluşturulan

deprem zemin tepkisi; kayma dalgası hızlarından oluşan yatay olarak katmanlı bir zemin-kaya sisteminde hesaplanır. SHAKE, Kanai (1951), Roesset ve Whitman (1969) ve Tsai ve Houser (1970) 'in dalga yayılım çözümlerine dayanmaktadır. SHAKE, döngüsel zemin davranışının, jeoteknik deprem mühendisliği literatüründe kapsamlı şekilde açıklanan eşdeğer bir doğrusal model kullanılarak simüle edilebileceğini varsaymaktadır (Idriss ve Seed, 1968; Seed and Idriss, 1970; ve Kramer, 1996). SHAKE91, SHAKE'ın en son versiyonlarından biridir (Idriss ve Sun, 1992). 1998 yılında, EERA bilgisayar programı, FORTRAN 90'da, SHAKE ile aynı temel kavramlardan başlayarak geliştirilmiştir. EERA (Bardet ve ark., 2000), Eşdeğer-Doğrusal Deprem Tepki Analizi anlamına gelir. EERA, eşdeğer doğrusal deprem bölgesi tepki analizinin iyi bilinen kavramlarının modern bir uygulamasıdır. EERA'nın uygulanması, FORTRAN 90'daki dinamik dizi boyutlandırma ve matris işlemlerinin tüm avantajlarından yararlanır. EERA'nın giriş ve çıkışı, elektronik tablola programı Excel ile tam olarak bütünleştirilmiştir.

Sismik dalgaların yüzeydeki etkisi yeraltı zemin katmanlarının geometrisi veya yer üstü topoğrafyası ile değişiklik göstermektedir. Yatay tabakalı zemin formasyonlarının sismik hareket altındaki davranışını ve yüzeyde oluşacak yer hareketini hesaplamak için kullanılan yaygın programlardan biri EERA dır. EERA algoritması Excel tabanında çalışan bir program olup, girdi (input), deformasyon hesaplama (calculate strain) ve çıktı hesaplaması (calculate output) olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. EERA harfleri Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmekte olup, J. P. Bardet, K. Ichii, ve C. H.Lin tarafından Fortran 90 dili ile hazırlanmış olan eşdeğer lineer deprem tepki analizi programının Excel'de uygulanmasıdır. EERA programında zemin Kelvin-Voigt modeli ile ifade edilmekte ve gerilme şekil-değiştirme ilişkileri bu kabule dayanılarak yapılmaktadır. EERA analizlerinde zemin profili, kayma dalgası hızları, formasyon kalınlıkları ve birim hacim ağırlıkları ile tanımlanır. Daha sonra programa analizlerde kullanılacak anakaya ivme kaydının girilmesi gerekir. Analizde kullanılan bir diğer önemli veri ise kayma modülü oranı (G/G_{max})-şekil değiştirme seviyesi ve sönüm oranı arasındaki ilişkilerdir. EERA verilen bu ilişkilerden faydalanılarak hesap yapmaktadır. Şekil 3.20'de EERA algoritmasının akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.20. EERA algoritmasının akış diyagramı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Batman kent merkezindeki üç mahalle (Gültepe mahallesi, Tilmerç mahallesi ve Fatih mahallesi) zemin verileri ile Elazığ'ın Merkezüstü Sivrice ilçesinde, 24 Ocak 2020 tarihinde gerçekleşen, magnitüdü 6.8 Mw olan ve 8.06 km derinlikteki model depremin etkileşimi araştırılmıştır. Model deprem olarak Sivrice depreminin 5 farklı istasyonundan (Elazığ Sivrice İstasyonu, Malatya Pütürge İstasyonu, Adıyaman Gerger istasyonu, Elazığ Kovancılar İstasyonu, Kahramanmaraş Pazarcık istasyonu) ivme verileri alınarak EERA programı ile dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Deprem verileri 0.1 g lik ivme verisine ölçeklenmiştir.

Batman kentinde zemin araştırma amaçlı olarak uygulanan Çok Kanallı Yüzey Analizi (MASW) yöntemi ile elde edilmiş kayma dalga hızları (V_{S30}) kullanılarak EERA programı ile Doğu Anadolu Fay hattına yakın bölgelerdeki deprem verileri etkileşime sokularak değerlendirilmiştir. EERA programında farklı istasyondan alınan deprem ivme verileri kayma dalga hızları ile etkileşime sokularak Batman kentinin zemin-deprem etkisi araştırılmıştır.

4.1. İnceleme Alanı

Batman şehri, $38^{\circ} 40'$ ve $37^{\circ} 50'$ kuzey enlemleri ve $41^{\circ}10'$ ve $41^{\circ} 40'$ doğu boylamları arasında, Diyarbakır yöresinin güneydoğusunda Raman ve Kırda Dağları arasında bulunmaktadır. Rakımı 550 metre olan Batman ili'nin Doğusunda Bitlis ve Siirt, Batısında Diyarbakır, Güneyinde Mardin ve Kuzeyinde Muş illeri bulunmaktadır. Batman ili, Diyarbakır yöresinin güneydoğu bölümünde, Raman ve Kırda Dağları arasında, K-G yönünde akan Batman Çayı'nın eski mendereslerinin oluşturduğu sekiler üzerinde kurulmuştur. Bu sekilerden yüksek olanlar doğudan gelen İluh Deresi ve onun yan kolları tarafından yarılrken, alçak sekiler yine İluh Deresi tarafından meydana gelen birikinti yelpazesi ile örtülmüştür (Tonbul ve Sunkar, 2008). Batman ilinin, kuzey ve kuzeydoğusu yüksek, sarp ve dağlık olup güneyi ise dağlık ve engebelidir.

4.2. İnceleme Alanı Tektoniği ve Jeolojisi

Güneydoğu Anadolu Arap levhasının kuzeye bakan kıta kenarının şelfi üzerinde yer almaktadır. Bu alan; Güneydoğu Anadolu düzlüklerinin yer aldığı önülke alanı,

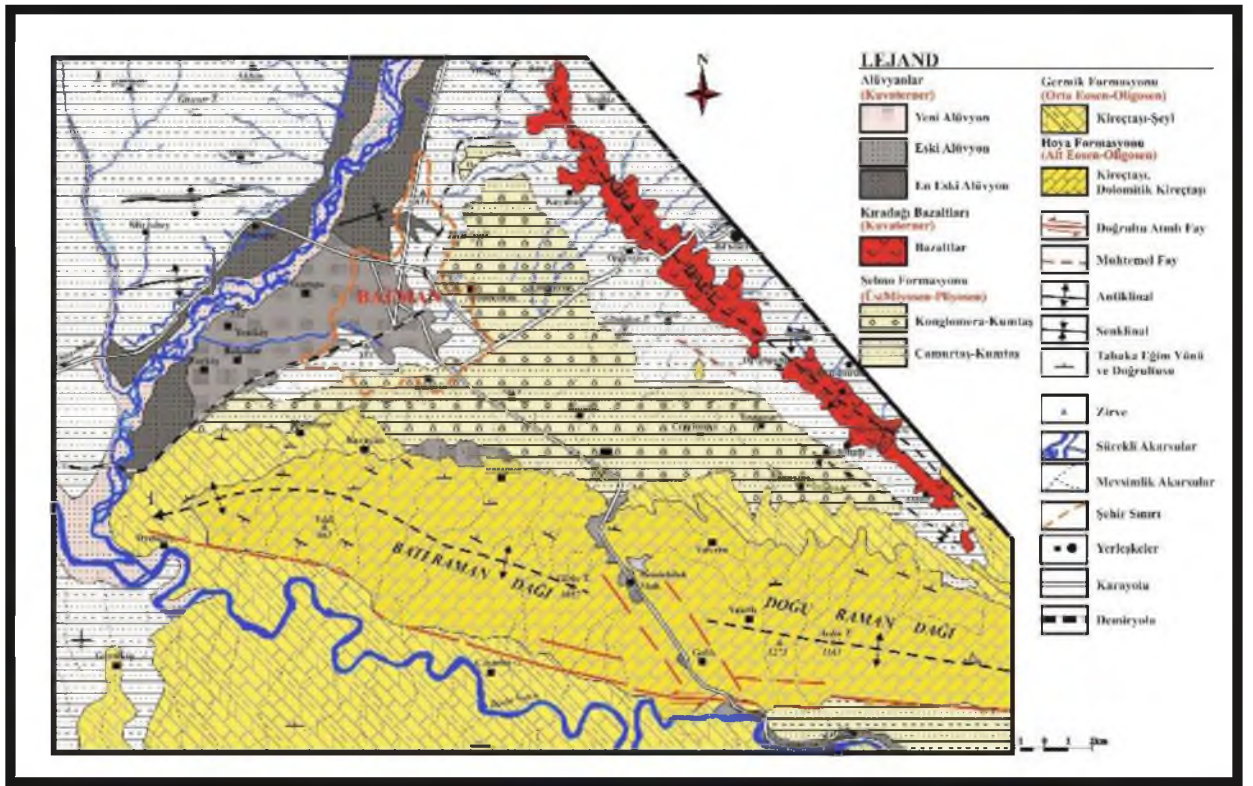
ve ark., 2006). Bu iki fay bölgesi Karlıova'da Karlıova Üçlü Eklemleri (KÜE) olarak adlandırılmış olan yerde birleşmektedir (Gülen ve ark., 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Bu tektonik hareketler bölgede meydana gelmiş önemli depremlerin, odak mekanizmalarının çözümlerini de desteklemektedir (Eyidoğan, 1983; Jackson ve McKenzie, 1984; Taymaz ve ark., 1991; Pınar, 1995). Anadolu plakası ile Arap plakası arasındaki göreceli hareketi karşılayan sol-yanal doğrultu atımlı DAFZ, yaklaşık 580 km uzunluğuyla Karlıova Üçlü Eklemleri (KÜE)'den İskenderun Körfezi dolaylarına kadar uzanmakta ve burada Ölüdeniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile birleşmektedir (Gülen ve ark., 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Arpat ve Şaroğlu, 1975). İnceleme alanı ve yakın çevresi Türkiye'de meydana gelen birçok depremin 'tetikleme zonu'nun (kontakt alanının) güneyinde yer almaktadır. Kenar Kıvrımları Bölgesinin güneyinde bulunan inceleme alanında Kuzey-Güney yönlü sıkışma hareketinin sonucunda meydana gelen, birbirine paralel ve düzenli kıvrım alanları yer almaktadır. İnceleme alanı çevresinde, bölgedeki diğer kıvrım yapıları ile benzerlik gösteren Gercüş antiklinali, Raman antiklinali ve Softek antiklinali bulunmaktadır. Bu kıvrım yapılarının en güzel örnekleri Fransa Alplerindeki Jura dağlarında bulunduğundan bu şekilde ifade edilmektedirler (Türkunal, 1980).

Yörenin yapısal açıdan en büyük yapıları doğu-batı ve kuzeybatı-güneydoğu gidişli kıvrımlı yapılardır. Bu yapılar Ramandağı antiklinali, Beşiri senklinoryumu ve Yanarsudağı antiklinalidir. Batman civarında önemli uzunluklara varan faylar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri Hasankeyf fayı ve Yanarsudağı fayıdır. Bunların dışından Oymataş civarında ve Danalı güneyinde düşey atımlı faylar yer alır. Hasankeyf fayı, Suçeken civarından geçmekte ve Hasankeyf'in 6 km. kuzeyinde bulunmaktadır. Yanarsu fayı, Beşiri ilçesinin 4 km. kuzeydoğusunda Yanarsu Dağı antiklinalinin güneyinde yer almakta ve yaklaşık olarak Hasankeyf fayına paralel Batı Kuzeybatı-Doğu Güneydoğu gidiş sunmaktadır. Bu kesimde yaklaşık 20 km. uzunluktadır. Yanarsu fayı da bir bindirme fayıdır (Eren ve ark., 2012). Raman dağları güneyi ve yakın çevresinde görülen fay hatlarının tamamı kıvrım sistemlerine uyumlu bir biçimde D-B yönlü uzanış gösterirler. Bunlardan en önemlisi Raman antiklinalinin güney kanadı boyunca uzanan ters faydır. Çok derinlere kadar inen bu ters fay, batıda Maymuniye boğazını geçerek Batı Raman antiklinalini de önemli ölçüde kateder. Batman Raman dağı çevresi, özellikle güney yamaçları aktif fayların ve fluvial süreçlerin etkisinde şekillenmiştir. Faylar Dicle Nehri kuzeyi boyunca kıvrımlara paralel uzanış gösteren ve Maymuniye boğazında dikey yönde açığa çıkan Raman fayı

ile Gercüş antiklinali üzerinde görülen büyüklü küçüklü kırıklardır (Yıldırım ve Karadoğan, 2011).

Batman şehri 2. dereceden deprem bölgesinde yer almakta olup 1. deprem kuşağında kalan bölgelere çok yakın bir konumdadır. Bu özelliği ve fazla hareketli olan fay hatlarına yakın olması, Batman şehrini deprem açısından riskli konuma sokmaktadır.

Batman ilinin jeolojisinde, BZKK' nın kuzeyinde Avrasya plakasına ait ofiyolitik kayalar ve dilimlenmiş metamorfik kayaların yer aldığı görülür (Sunkar ve Tonbul, 2013). Batman iline ait jeolojik harita Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Batman ili jeoloji haritası (MTA'nın 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası ve TPAO'nun çalışmalarından değiştirilerek hazırlanmıştır (Sunkar ve Tonbul, 2013)

Batman ili ve çevresi, stratigrafik açıdan Eo-Kambriye'den başlayarak Pliosen dahil bütün devirler boyunca devamlı bir sedimantasyon havzası olarak gelişmiştir. Kambriyen'den itibaren bütün formasyonlar sığ deniz (kıta kenarı, şelf) fasiyesinde gelişmiş, metamorfizma ve magmatik intrüzyon etkisinde kalmamışlardır. Burada yer alan formasyonlar, Şelmo formasyonu hariç mineral bakımından daha çok kalker ve kalkerin ara katkılı özelliğine sahiptirler (Yıldırım, 2003). Şekil 4.3' de inceleme alanındaki formasyonların stratigrafik konumları görülmektedir.

SENZOYİK							ÜST SİSTEM
TERSİYER							SİSTEM
Alt Eosen-Üst Oligosen		Alt Miyosen	Alt Miyosen	Kuvaterner	SERİ	GURUP	SİSTEM
MİDYAT GRUBU							
HOYA		GERMİK F.	ŞELMO F.	ALÜVYON	FORMASYON		
Tecom		Tog	Tmy	Qal	SİMGELER		
50-600 mt		46,5 mt	500 mt	0-50mt	KALINLIK(m)		
BİRİM							AÇIKLAMA

Şekil 4.3. İnceleme alanındaki formasyonların stratigrafik kesiti (Bolgi 1961'den faydalanarak hazırlanmıştır)

Batman ili ve çevresinde gözlemlenen en yaşlı birim, Midyat grubuna ait Alt Eosen-Alt Oligosen yaşlı, seyrek killi kireçtaşı seviyeli, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Hoya Formasyonu, Hoya formasyonu üzerine Oligosen yaşlı, yer yer dolomitik kireçtaşı, killi kireçtaşlarından oluşan Germik Formasyonu, bu formasyonların üzerini uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı'ndan oluşmuş Şelmo formasyonu örter. Kıra Dağı'nı oluşturan Kuvaterner yaşlı bazaltlar Şelmo formasyonu üzerine gelmiş olup, Alüvyonlardan oluşan Kuvaterner birimler ise Batman Çayı Vadisi ve Batman çevresinde yüzeylemektedir.

4.2.1. Hoya formasyonu (Teh)

Birimin tip kesit yeri Diyarbakır ili Çüngüş ilçesinin 2 km güneybatısındaki Hoya köyü dolayındır. Midyat grubunun formasyonudur.

Hoya formasyonu, masif ve orta-kalın tabakalı, bazen ince-orta tabakalı, krem, bej, gri açık gri, siyah, beyaz renkli, nummulitli, miliolidli, alg, ekinid, gastropod lamelli vb. kavkı kırıntılı, sert, kireçtaşları ve yer yer dolomitik kireçtaşlarından oluşur. Dolomitler, krem, bej, açık gri renkli, ince-orta-kalın tabakalı, iyi poroziteli, karstik görünümlü, yer yer fosil izli, erime boşluklu, çört nödüllü, kireçtaşı ve tebeşir arabantlıdır. Hoya formasyonu'nun yaşı Alt Eosen-Alt Oligosen olarak belirtilmiştir (Duran ve ark., 1988 ve 1989).

4.2.2. Germik formasyonu (Tog)

Beyaz, kızıl kahve, yeşil, bej, gri renkli jips, anhidrit, şeyl, dolomit ve kumlu-milli dolomitlerden oluşan bu birim, ilk kez Bolgi (1961) tarafından adlandırılmıştır. Germik formasyonu Hoya formasyonu üzerine uyumlu gelirken, Şelmo formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Germik formasyonu beyaz, bej, gri, kirli sarı renkli yumuşak, dağınık fiziksel koşullara dayanıksız, jips, anhidrit, şeyl, ve dolomitlerden oluşmaktadır. Germik formasyonu, birimin kalınlığı en fazla 465 metredir (Eren ve ark.,2012).

4.2.3. Şelmo formasyonu (Tmş)

Birimin tip kesit yeri Batman ili Sason ilçesinin güneybatısındaki Şelmo köyü dolayındır. “Şelmo formasyonu” ismi, ilk kez Bolgi (1961) tarafından Siirt ve Batman illeri dolayında kullanılmıştır. Tip kesitinde Şelmo formasyonu toplam 455,53 metre olarak ölçülmüştür. Batman kent merkezinde bulunan ve inceleme alanının büyük bir kısmını şelmo formasyonu oluşturmaktadır (Eren ve ark., 2012).

Şelmo Formasyonu mostra verdiği alanlarda, kirli sarı, pembe, şarabi, sarımsı gri, alacalı kırmızı, kahve renkli, iri taneli, belirsiz kalın tabakalı, polijenik elemanlı, köşeli, çakıllı, zayıf-orta karbonat çimentolu, kötü boylanmalı, jips ara katkılı çakıltaşı; açık gri, beyaz, kirli sarı, yeşilimsi gri, kahve bordo renkli, ince-orta-iri taneli, ince-orta-kalın yer yer belirsiz tabakalı, zayıf-orta çimentolu, yumuşak orta sert, çapraz tabakalı,

laminalı, kötü boylanmalı, polijenik elemanlı kumtaşı; kirli sarı bordo renkli silttaşı; açık gri beyaz renkli şeyl ve sarımsı gri, açık gri, kahve renkli marn ardalanmasından oluşmaktadır (Kıratlıoğlu, 1964; Bolgi, 1961; Saltık, 1970; İlker, 1972; Tuna, 1973; Açıkbaş ve Başbuğ, 1975; Perinçek, 1979, 1980, 1989 ve 1990; Savcı ve Dülger, 1980; Açıkbaş ve ark., 1981; Yılmaz, 1982; Pasin, 1989).

4.2.4. Kıradağı bazaltları (QB)

Kıra Dağı yöresinde yüzeyleyen bazaltlar Pliyosen yaşlı olup, Kuzeybatı-Güneydoğu uzantılı bir fay hattı boyunca çıkan lavların çukur alanı doldurmasıyla oluşmuştur.

4.2.5. Alüvyonlar (Qal)

İnceleme alanında Batman Çayı'nın taşkın ovası çökelleri ve güncel alüvyal çökeller yüzeyler. Taşkın ovası çökelleri, gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşları ile temsil edilir. Güncel alüvyon ise özellikle Batman Çayı boyunca yüzeyler. MTA tarafından yörede yapılan sondajlara göre alüvyon kalınlığının 40 metre dolayında olduğu belirtilmektedir (MTA,1992).

4.3. EERA Programı ile Batman Kenti V_{s30} Hızları Etkileşimi

İncelenen Deprem Elazığ'nın Merkezüstü Sivrice ilçesinde, 24 Ocak 2020 tarihinde gerçekleşen, magnitudü 6.8 Mw olan depremdir. 8.06 km derinlikte gerçekleşmiştir. Çalışmada, Sivrice depreminin 5 farklı istasyon verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlar Elazığ Sivrice, Malatya Pütürge, Adıyaman Gerger, Elazığ Kovancılar ve Kahramanmaraş Pazarcıdır. Seçilen istasyonlara ait deprem verileri, bir boyutlu eşdeğer lineer analize dayalı EERA programında, Batman kent merkezindeki Gültepe, Tilmerç ve Fatih mahallelerinden Çok Kanallı Yüzey Dalgası analiz (MASW) tekniği kullanılarak elde edilen kayma dalgası hız verileri ile etkileşime sokularak, zemin-deprem etkisi araştırılmıştır. Deprem verileri 0.1 g lik ivme versine ölçeklenmiştir.

4.3.1. Gültepe mahallesi V_{s30} hızları ile sivrice depreminin EERA programında dinamik analizi

Batman Merkez İlçesinin Gültepe mahallesinin zemin özellikleri (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) ve kayma dalgası hızları (V_{s30}) ile Sivrice depreminin 5 istasyon (Sivrice, Pütürge, Gerger, Kovancılar, Pazarcık) verisiyle EERA programında dinamik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



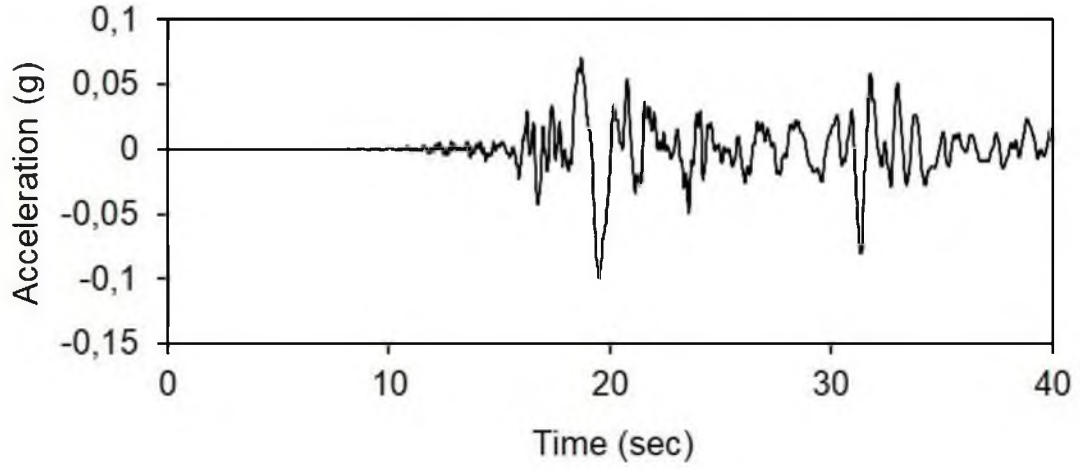
Şekil 4.4. Gültepe mahallesi zemin kesiti genel görünümü



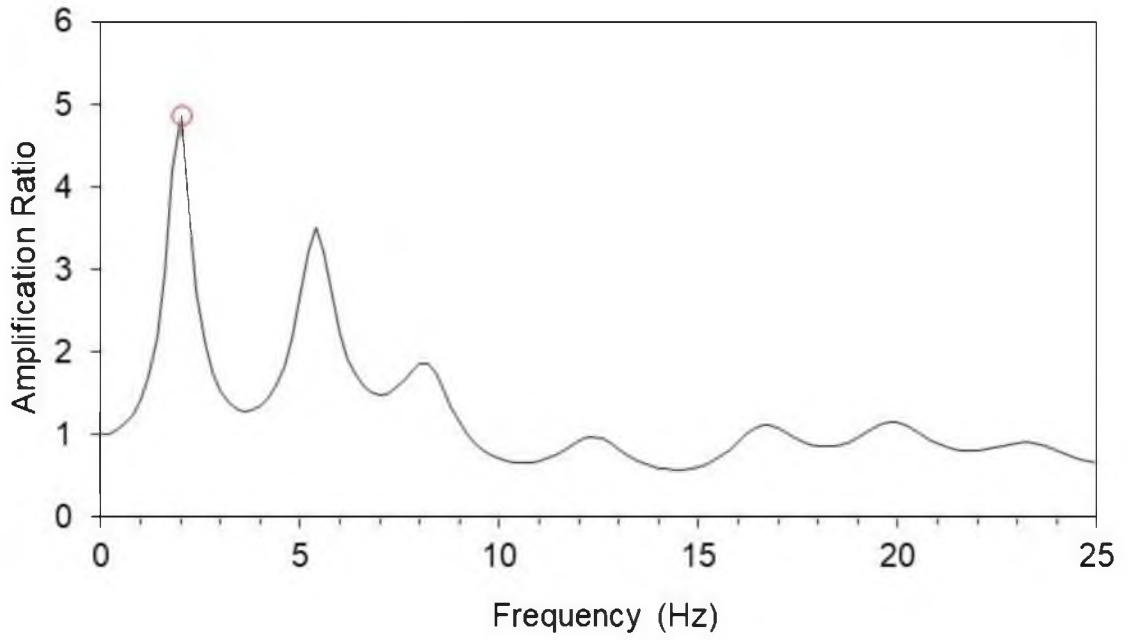
Şekil 4.5. Gültepe mahallesi zemin tabakaları

4.3.1.1. Sivrice istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

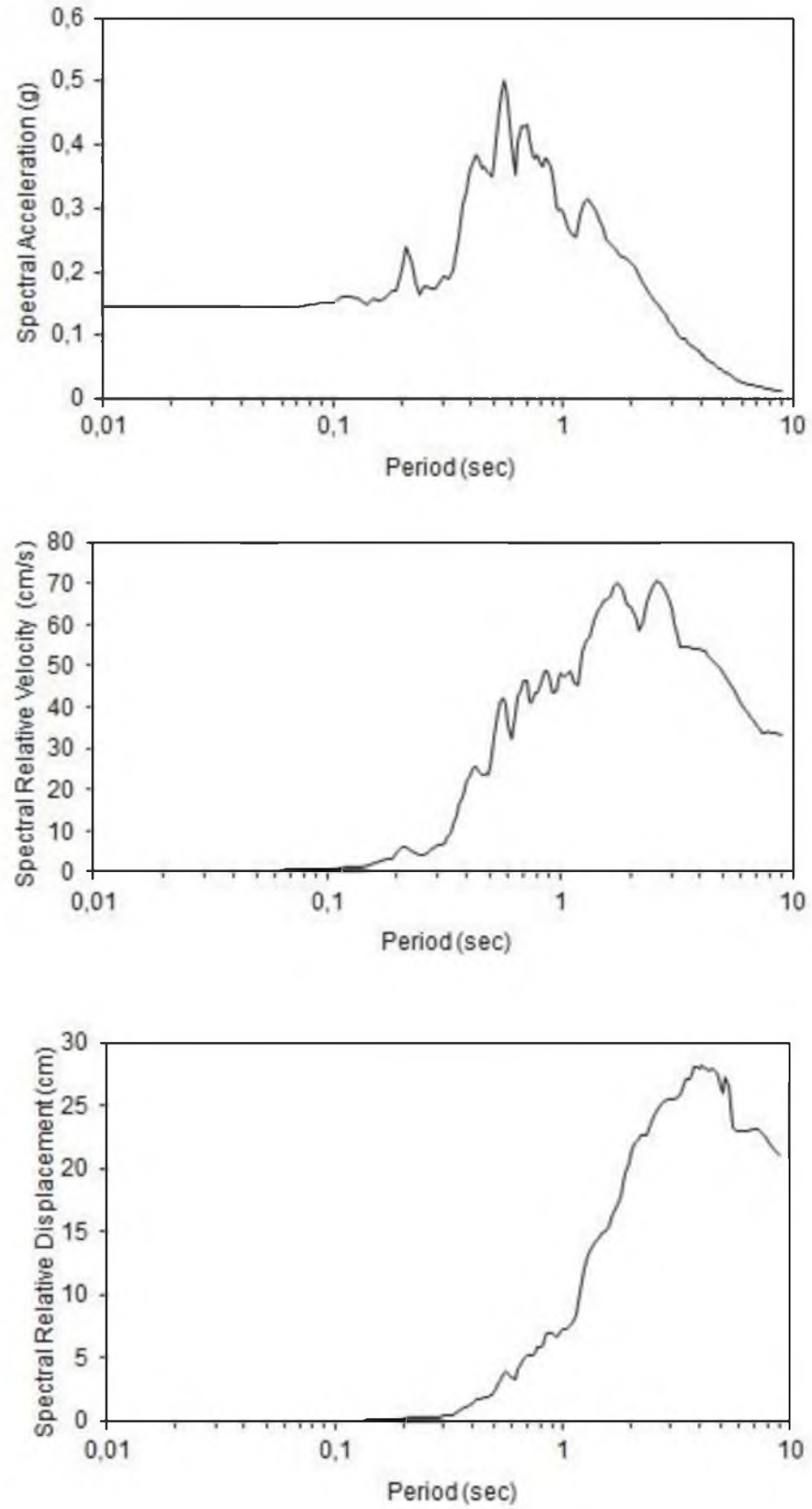
Şekil 4.6a'da Elazığ Deprem verisi (Sivrice istasyonu) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 2 hertz (hz) frekansta 4.86 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.6b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.55 sn de 0.50 g, spektral hızın 0.55 sn de yaklaşık 40.99 cm/sn ve 2.6 sn de 70.34 cm/sn hız, 0.55 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 3.74 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.6c).



Şekil 4.6 a-) Elazığ Depremi'nin Sivrice istasyonu ivme kayıdı. Düşey eksen birimi gal'dir.



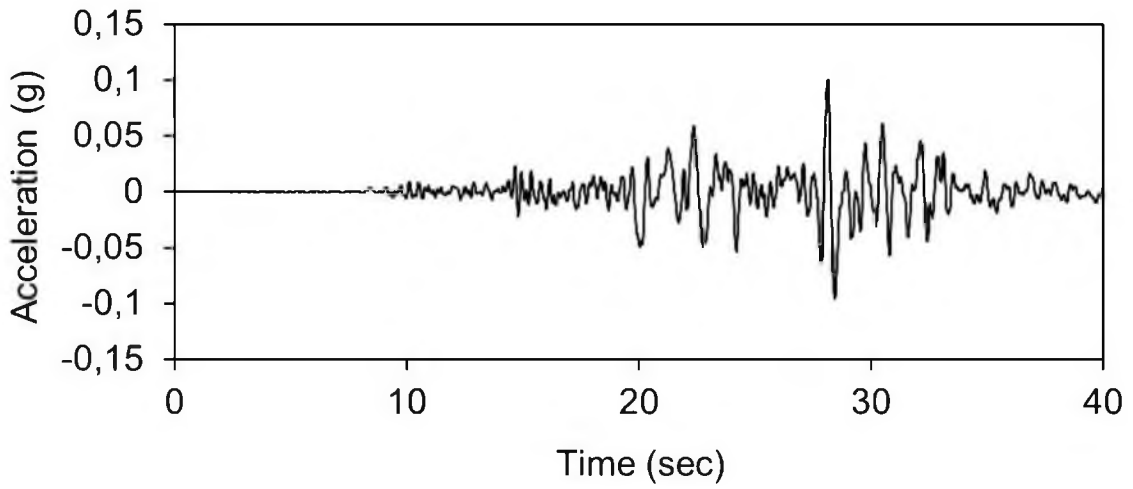
Şekil 4.6 b-) $V_{s30} = 300$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



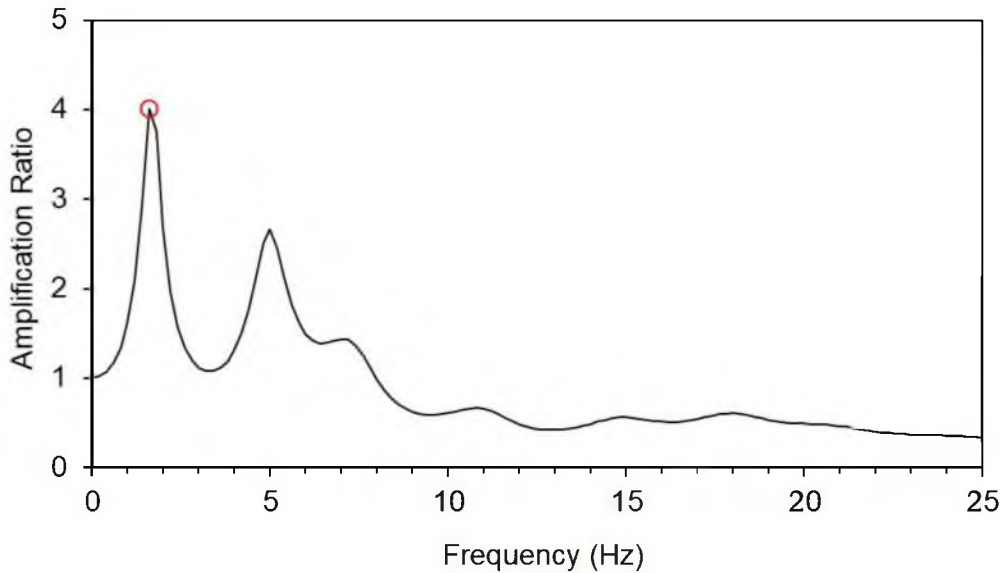
Şekil 4.6 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.1.2. Malatya-Pütürge istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

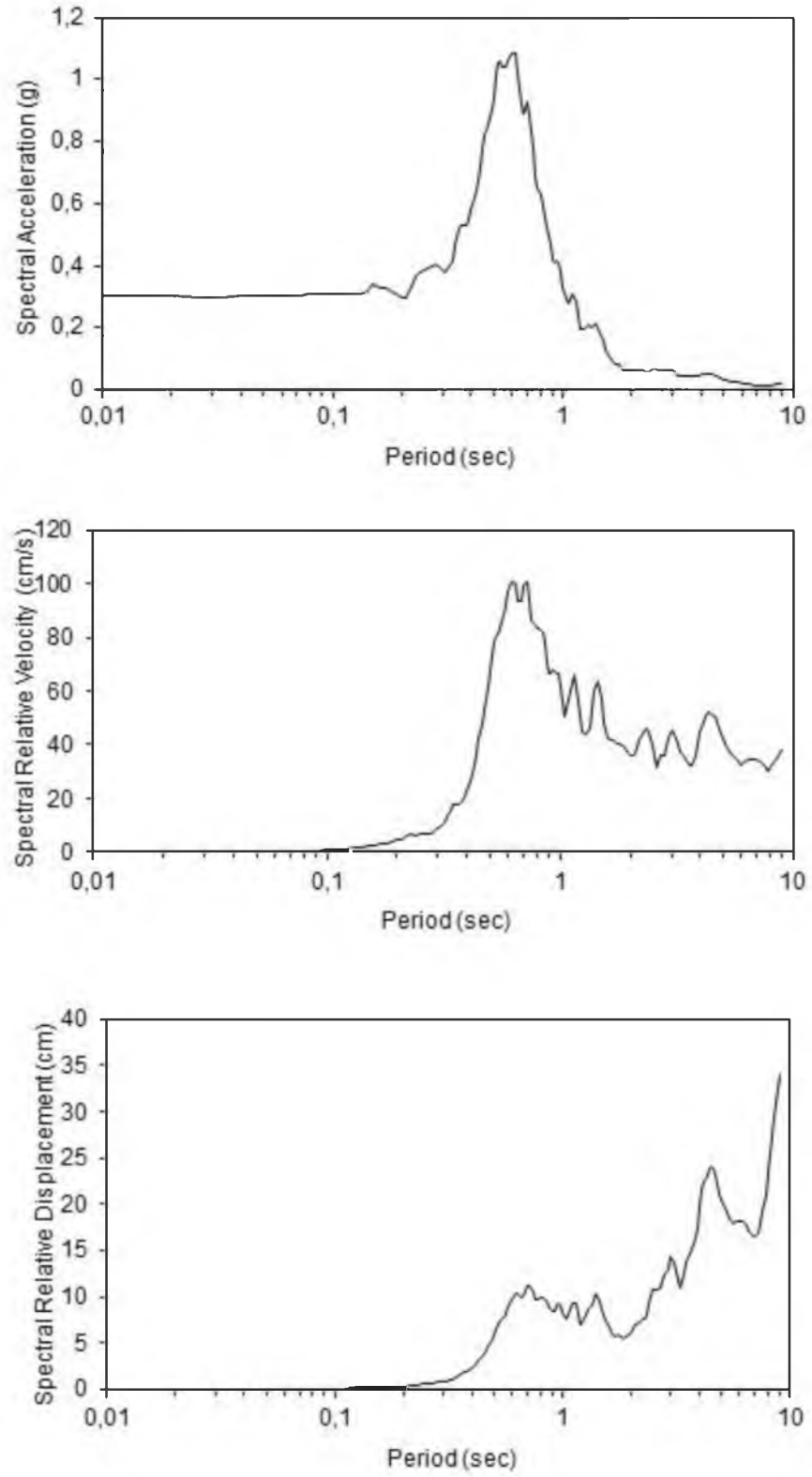
Şekil 4.7a'da Elazığ Deprem verisi (**Malatya-Pütürge**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 1.6 hertz (hz) frekansta 4.01 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.7b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.60 sn de 1.09 g, spektral hızın 0.60 sn de yaklaşık 97.39 cm/sn ve 0.62 sn de 100.90 cm/sn hız, 0.6 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 9.65 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.7c).



Şekil 4.7 a-) Elazığ Depremi'nin Pütürge istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



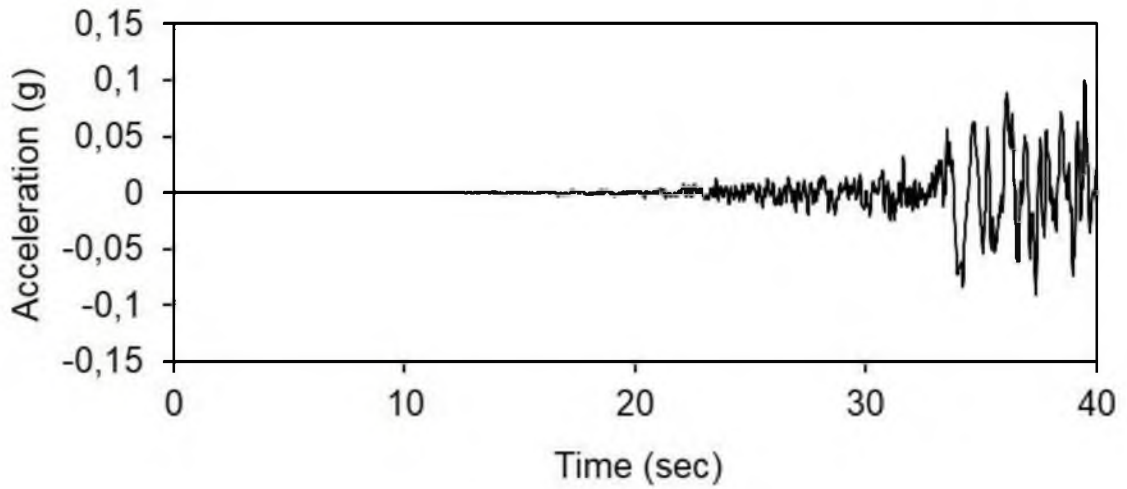
Şekil 4.7 b-) Vs30 = 300 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



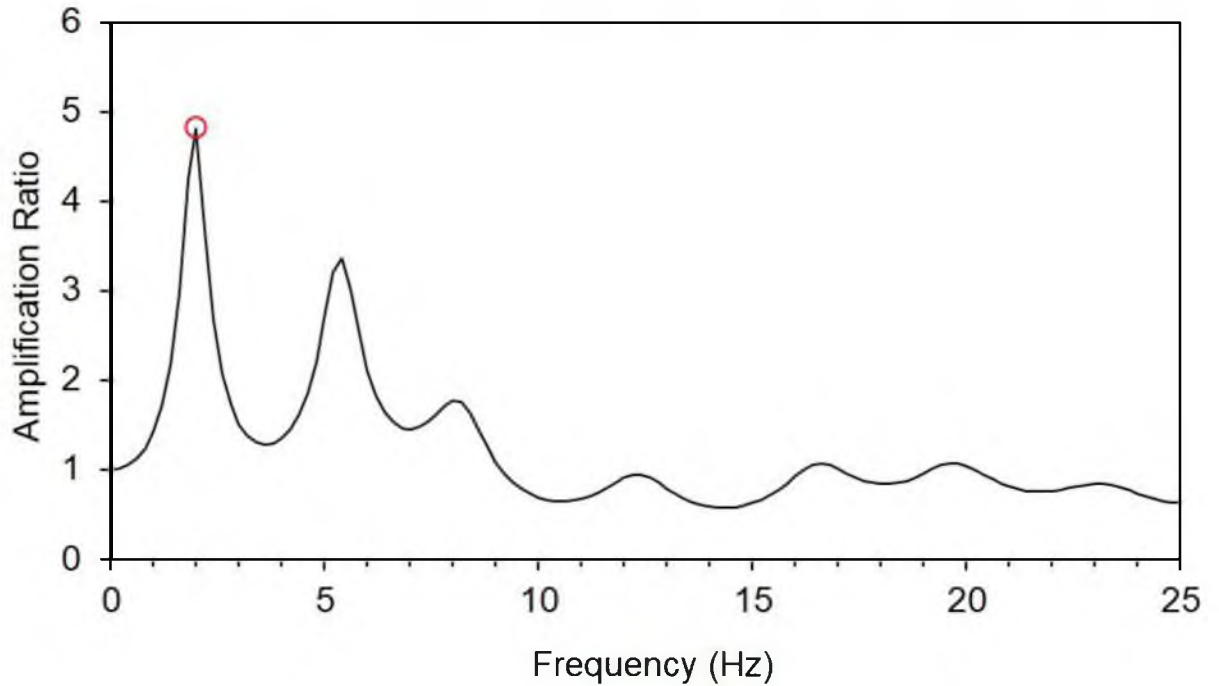
Şekil 4.7 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.1.3. Adıyaman-Gerger istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

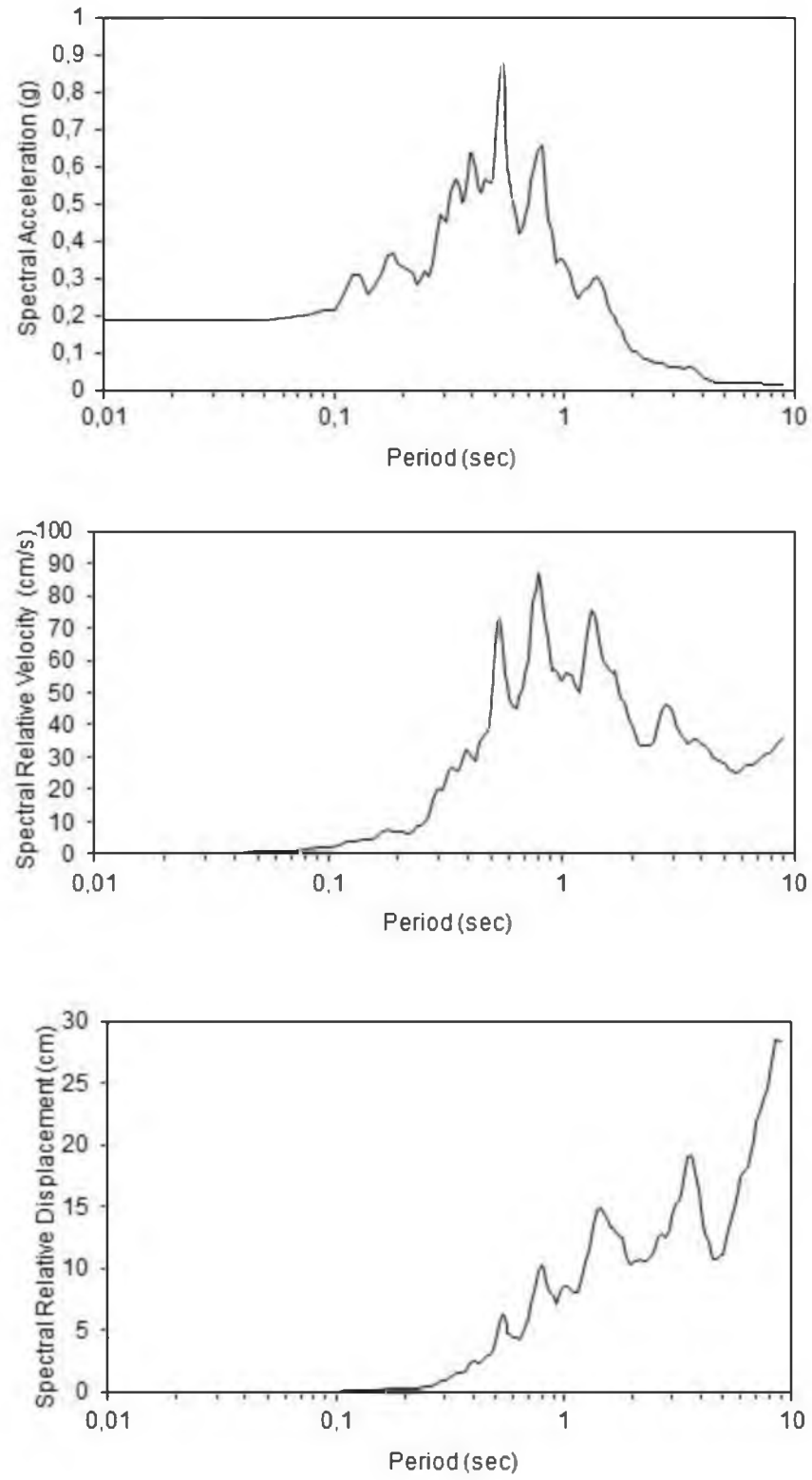
Şekil 4.9a'da Elazığ Deprem verisi (**Adıyaman-Gerger**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 2 hertz (hz) frekansta 4.82 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.8b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.53 sn de 0.87 g, spektral hızın 0.53 sn de yaklaşık 70.98 cm/sn ve 0.80 sn de 86.90 cm/sn hız, 0.53 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 6.04 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.8c).



Şekil 4.8 a-) Elazığ Depremi'nin Gerger istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



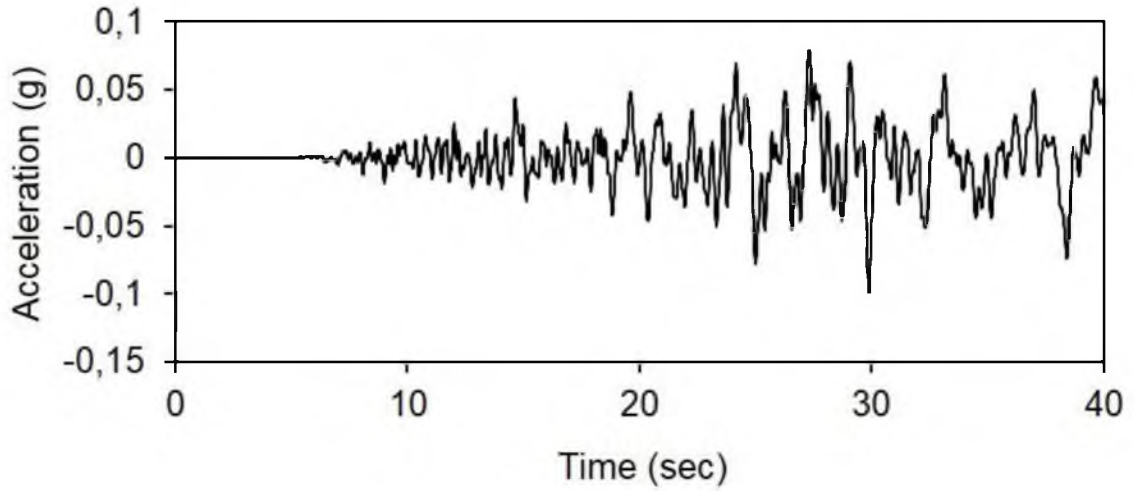
Şekil 4.8 b-) Vs30 = 300 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



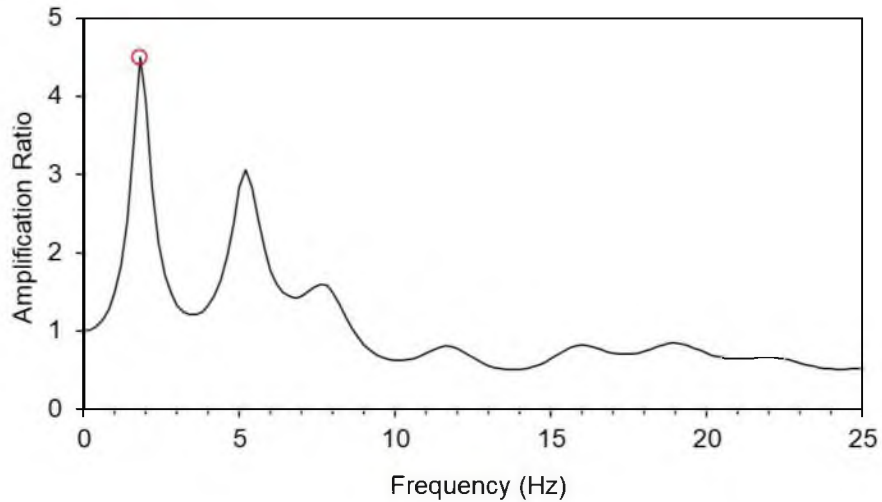
Şekil 4.8 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.1.4. Elazığ-Kovancılar istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

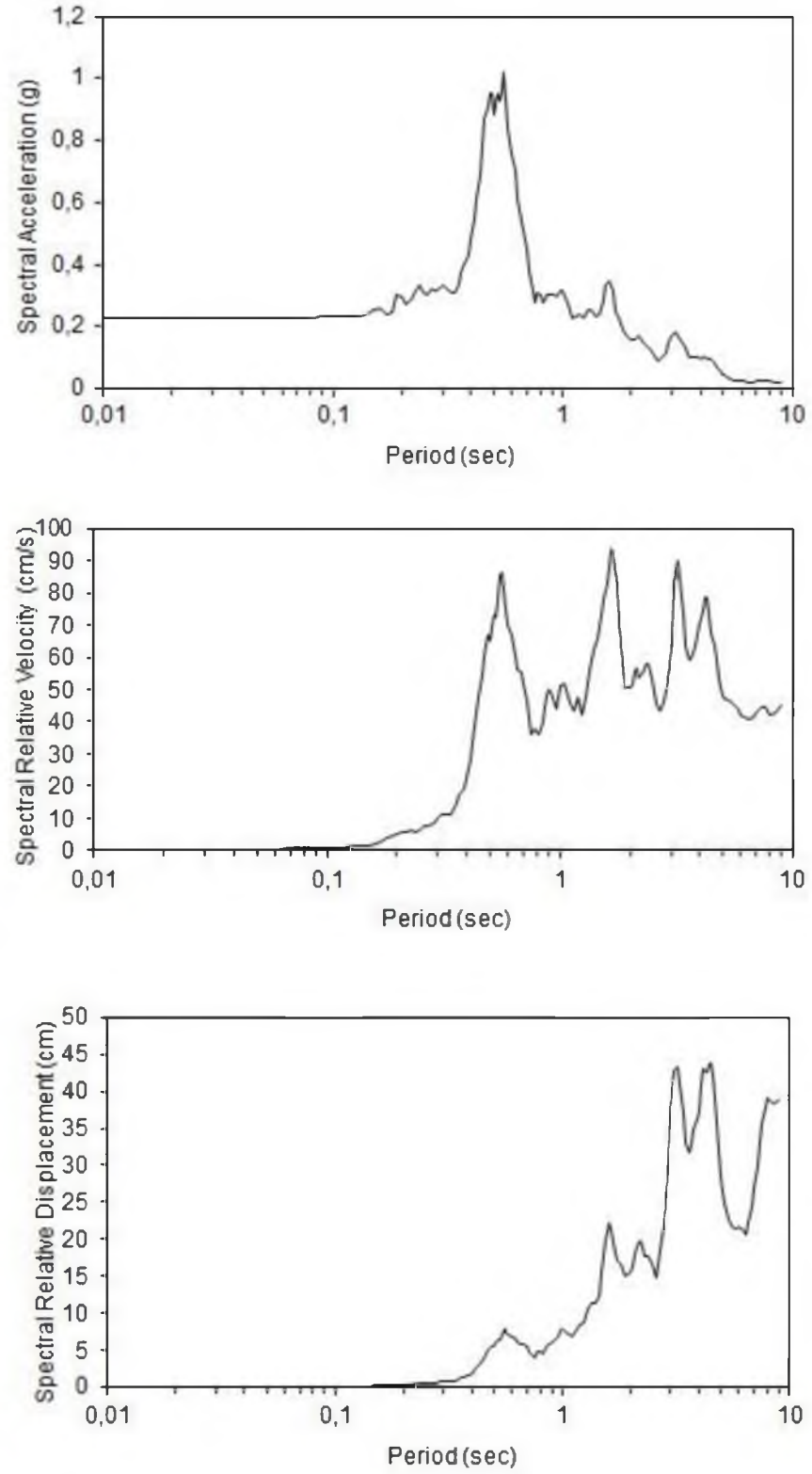
Şekil 4.9a'da Elazığ Deprem verisi (**Elazığ-Kovancılar**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 1.8 hertz (hz) frekansta 4.50 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.9b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.55 sn de 1.02 g, spektral hızın 0.55 sn de yaklaşık 85.30 cm/sn ve 1.65 sn de 93.68 cm/sn hız, 0.55 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 7.7 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.9c).



Şekil 4.9 a-) Elazığ Depremi'nin Kovancılar istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



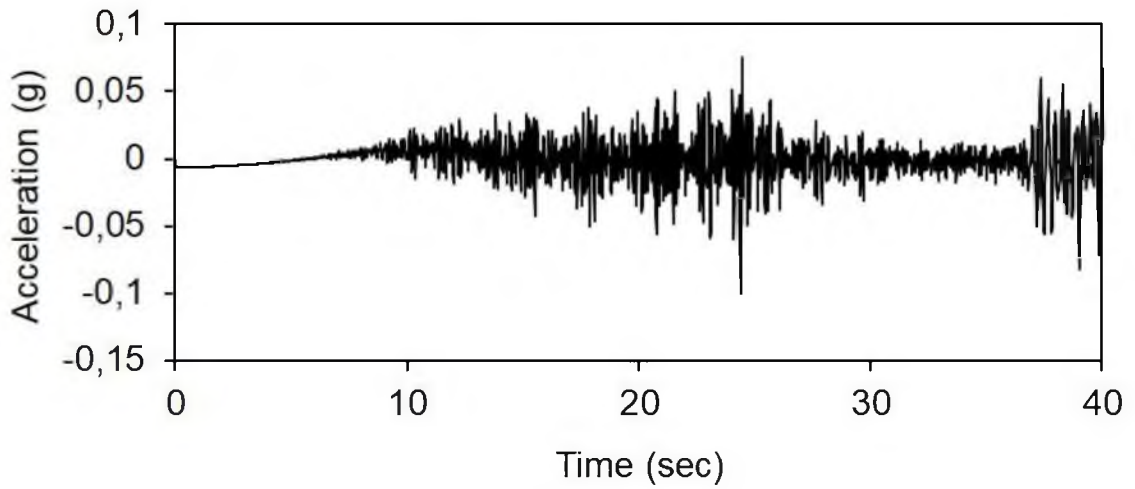
Şekil 4.9 b-) Vs30 = 300 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



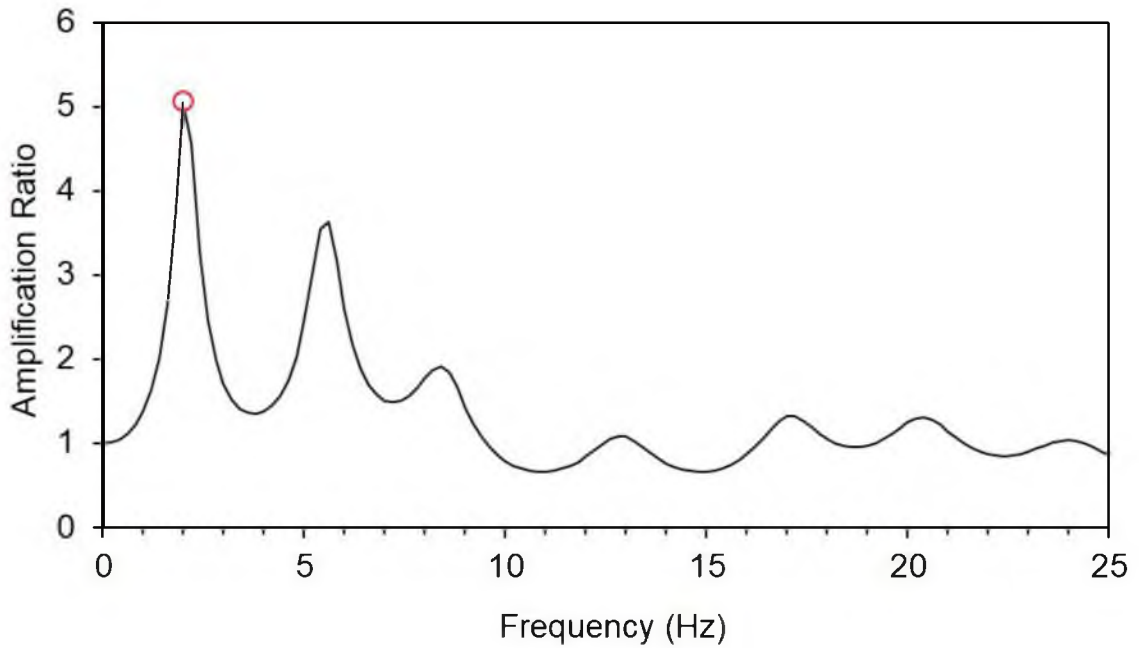
Şekil 4.9 c-)Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.1.5. Kahramanmaraş-Pazarcık istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

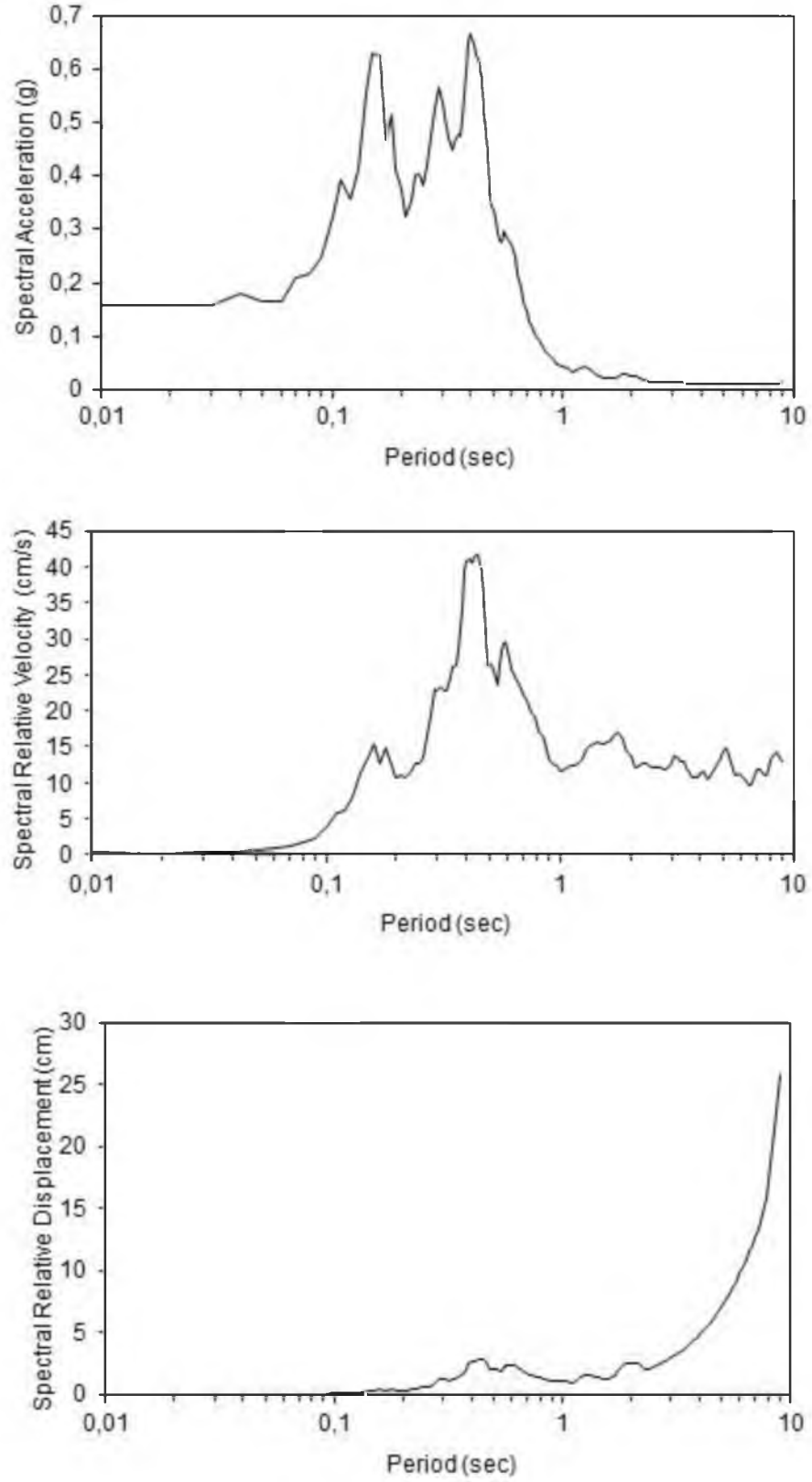
Şekil 4.10a'da Elazığ Deprem verisi (**Kahramanmaraş-Pazarcık**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 2.0 hertz (hz) frekansta 5.06 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.10b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.40 sn de 0.67 g, spektral hızın 0.40 sn de yaklaşık 40.93 cm/sn ve 0.44 sn de 41.70 cm/sn hız, 0.40 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.62 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.10c).



Şekil 4.10 a-) Elazığ Depremi'nin Pazarcık istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



Şekil 4.10 b-) Vs30 = 300 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



Şekil 4.10 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.2. Tilmerç mahallesi V_{s30} hızları ile sivrice depreminin EERA programında dinamik analizi

Batman Merkez İlçesinin Tilmerç mahallesinin zemin zellikleri (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12) ve V_{s30} hızları ile Sivrice depreminin 5 istasyon (Sivrice, Pütürge, Gerger, Kovancılar, Pazarcık) verisiyle EERA programında dinamik analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.



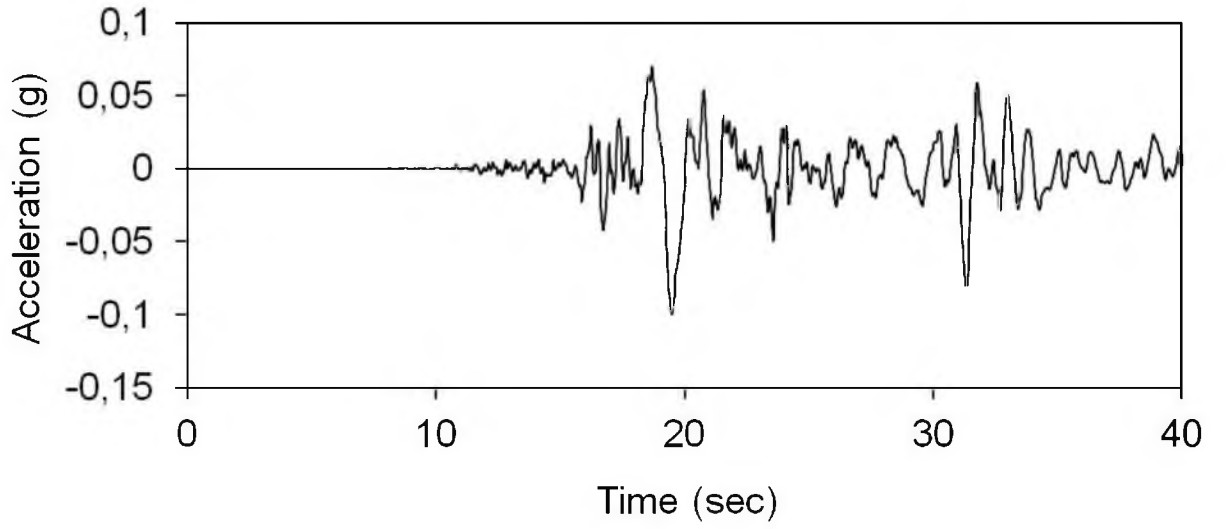
Şekil 4.11. Tilmerç mahallesi zemin kesiti genel görünümü



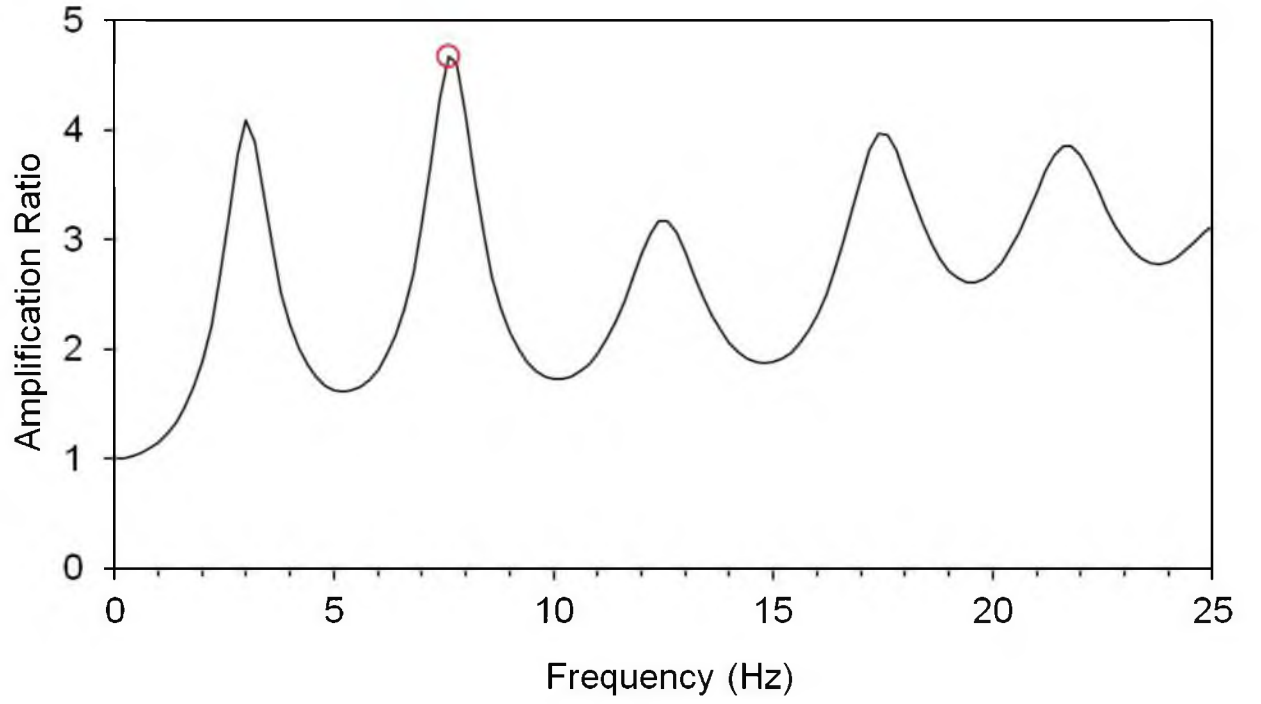
Şekil 4.12. Tilmerç mahallesi zemin tabakaları

4.3.2.1. Sivrice istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

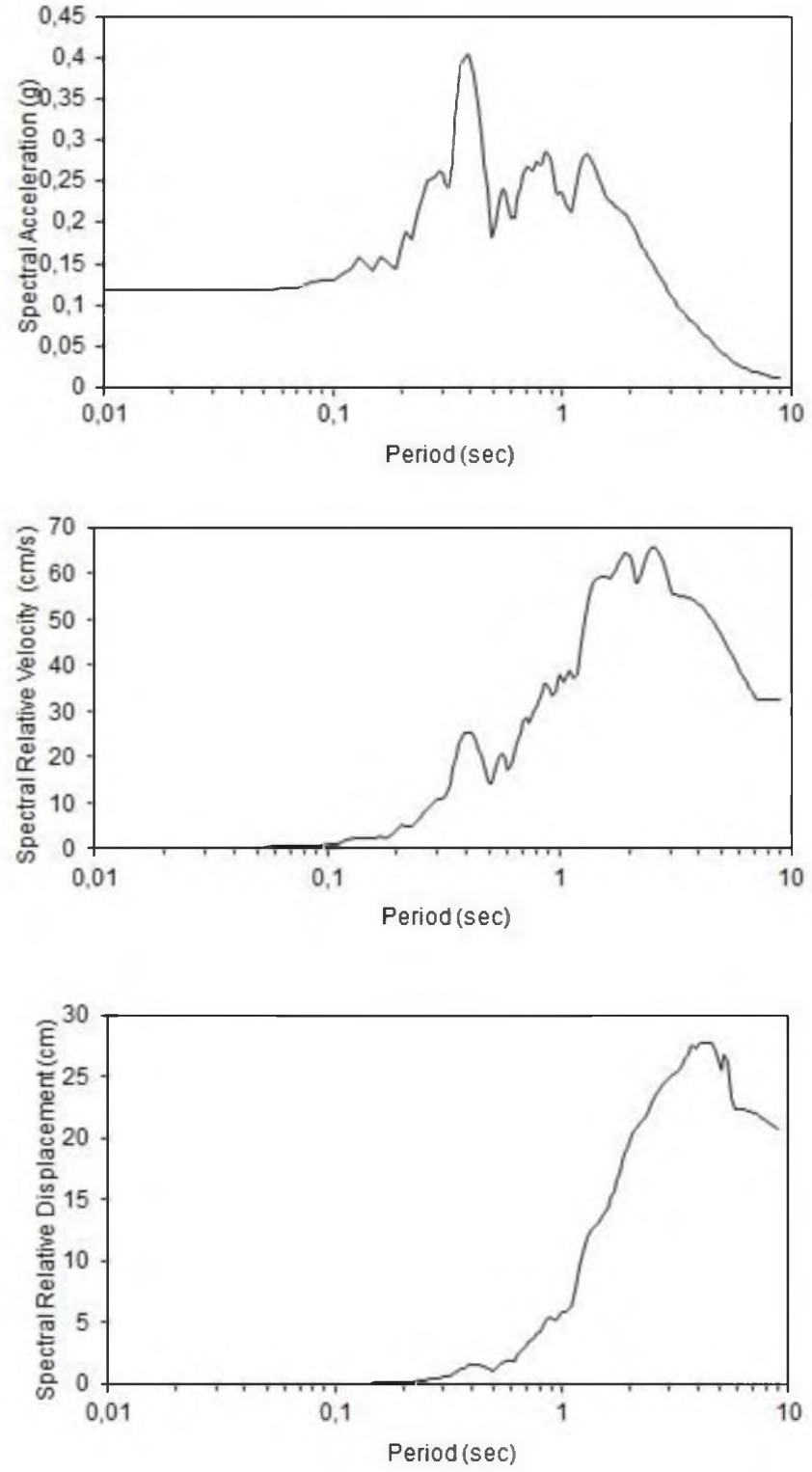
Şekil 4.13a'da Elazığ Deprem verisi (Sivrice istasyonu) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 7.6 hertz (hz) frekansta 4.675 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.13b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.38 sn de 0.40 g, spektral hızın 0.38 sn de yaklaşık 24.29 cm/sn ve 2.5 sn de 65.69 cm/sn hız, 0.38 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 1.45 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.13c).



Şekil 4.13 a-) Elazığ Depremi'nin Sivrice istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



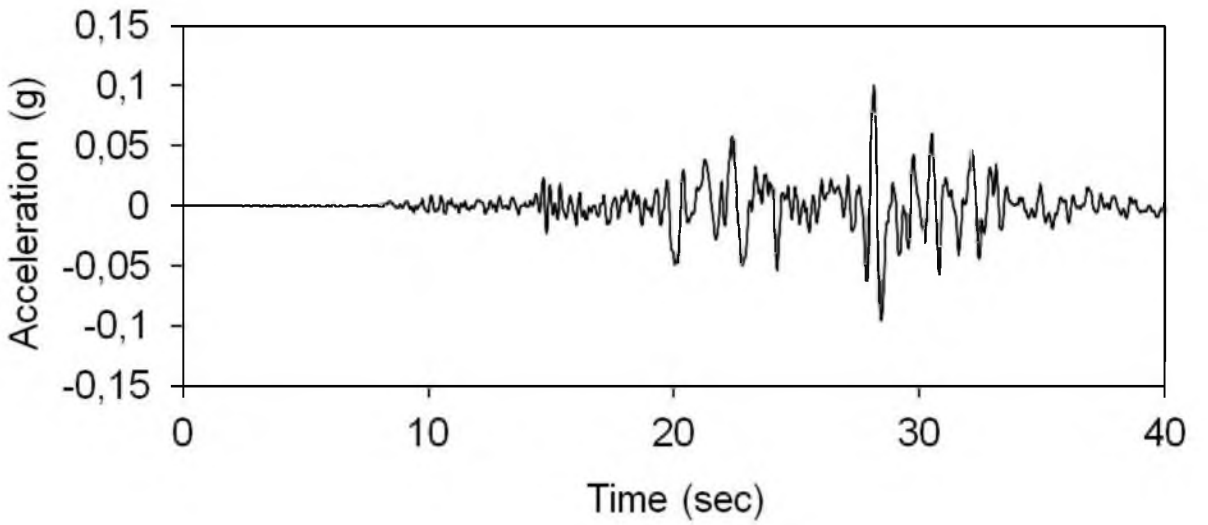
Şekil 4.13 b-) $V_{s30ort} = 329,875$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



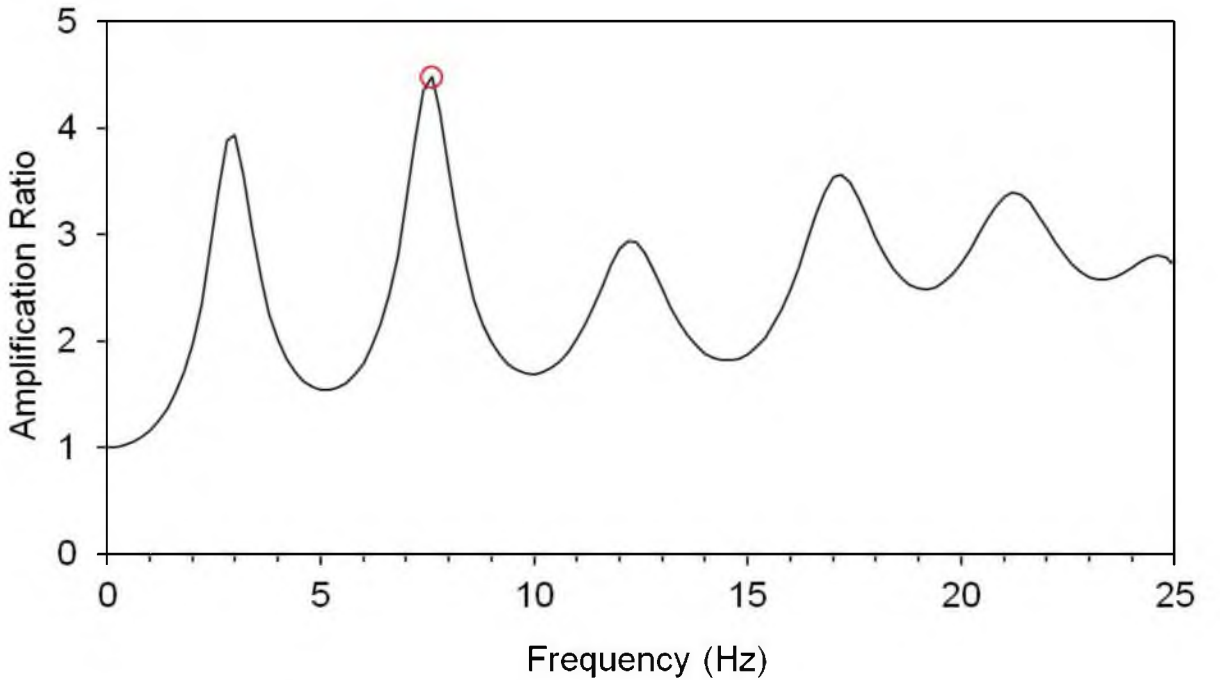
Şekil 4.13 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.2.2. Malatya-Pütürge istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

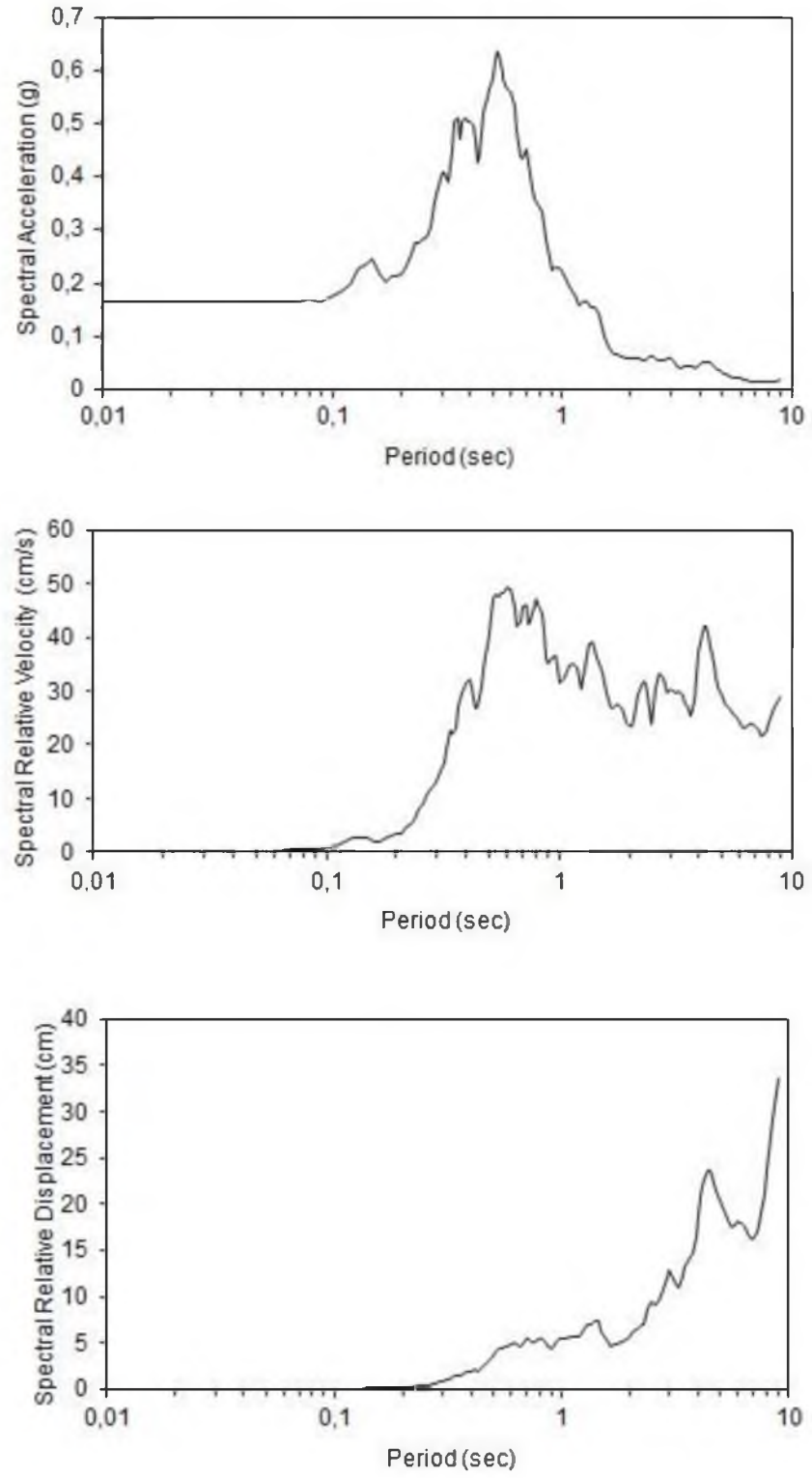
Şekil 4.14a'da Elazığ Deprem verisi (**Malatya-Pütürge**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 7.6 hertz (hz) frekansta 4.48 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.14b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.52 sn de 0.64 g, spektral hızın 0.52 sn de yaklaşık 47.11 cm/sn ve 0.60 sn de 49.43 cm/sn hız, 0.52 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 4.27 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.14c).



Şekil 4.14 a-) Elazığ Depremi'nin Pütürge istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



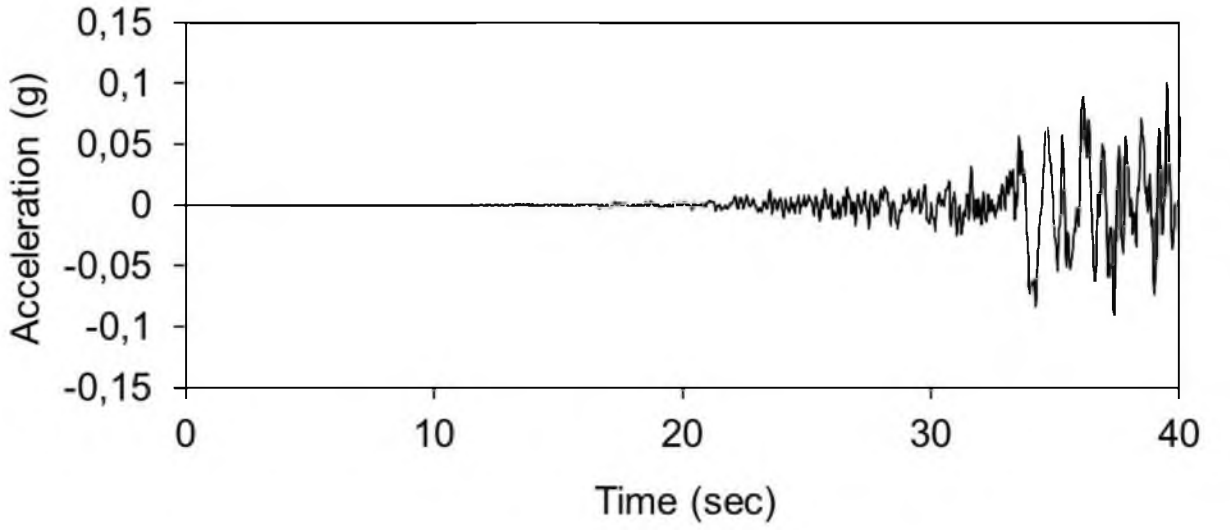
Şekil 4.14 b-) $V_{s30ort} = 329,875$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



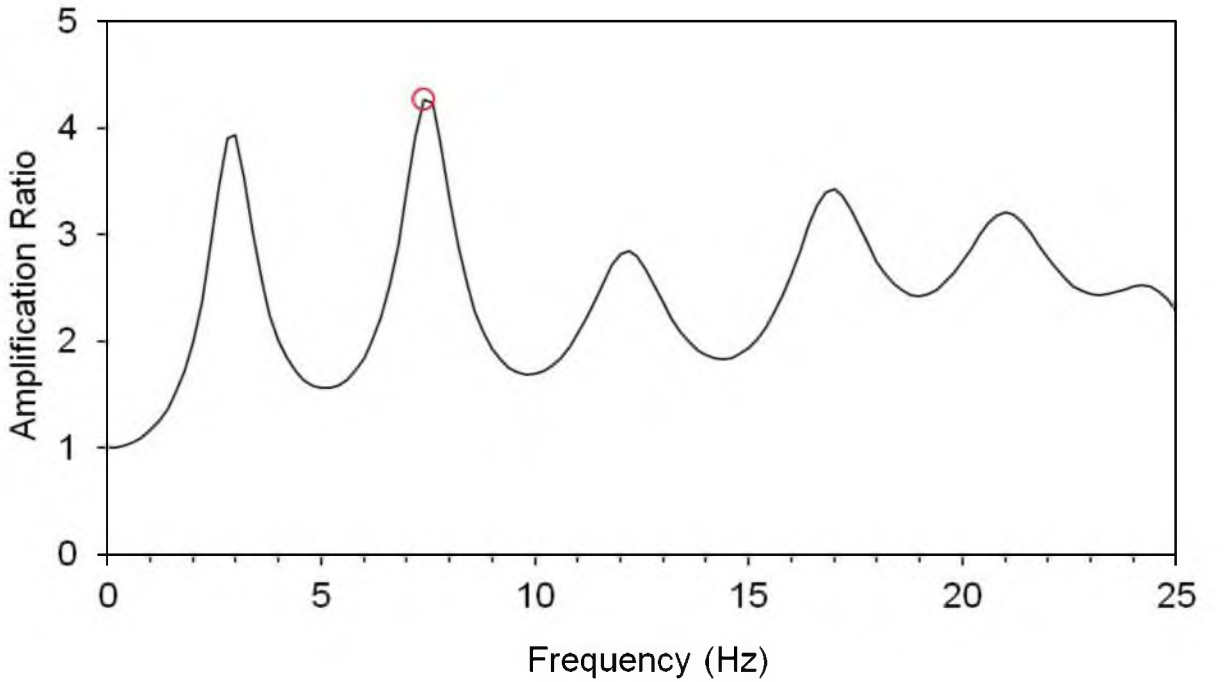
Şekil 4.14 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.2.3. Adıyaman-Gerger istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

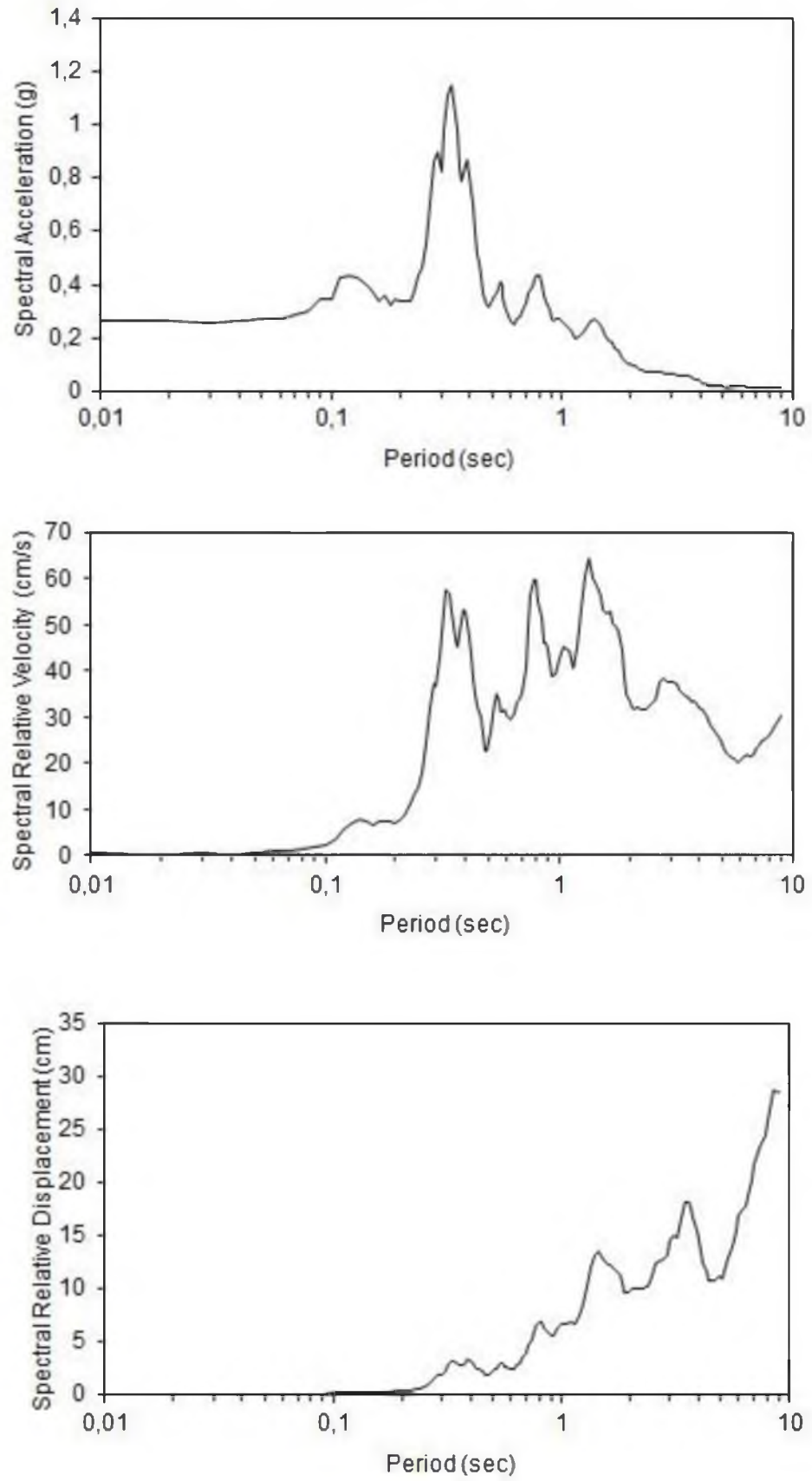
Şekil 4.15a'da Elazığ Deprem verisi (**Adıyaman-Gerger**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 7.4 hertz (hz) frekansta 4.268 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.15b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.33 sn de 1.14 g, spektral hızın 0.33 sn de yaklaşık 57.31 cm/sn ve 1.35 sn de 64.19 cm/sn hız, 0.33 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 3.12 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.15c).



Şekil 4.15 a-) Elazığ Depremi'nin Gerger istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



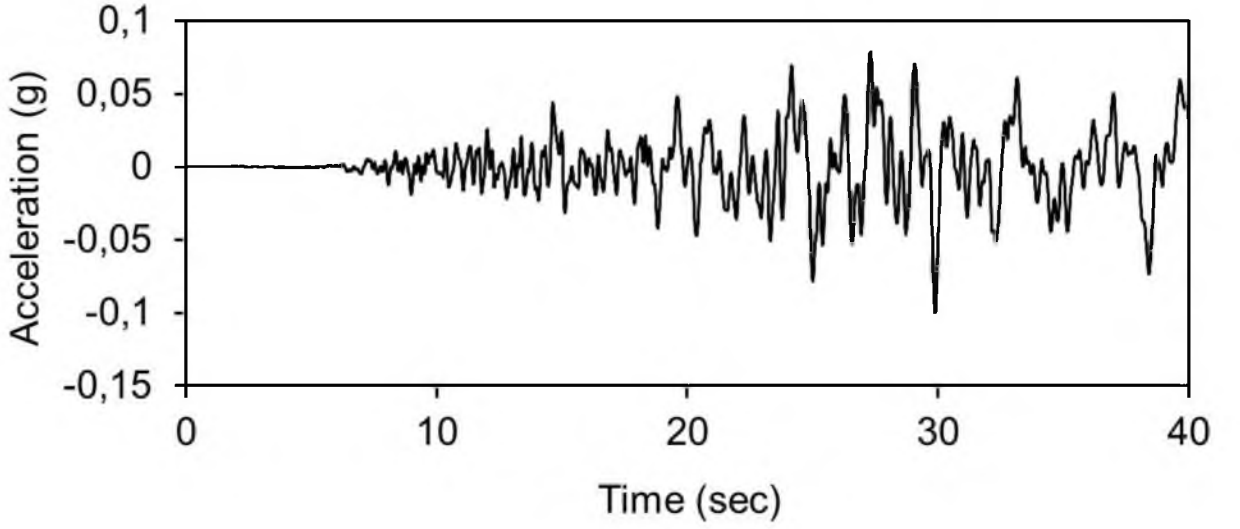
Şekil 4.15 b-) Vs30ort = 329,875 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



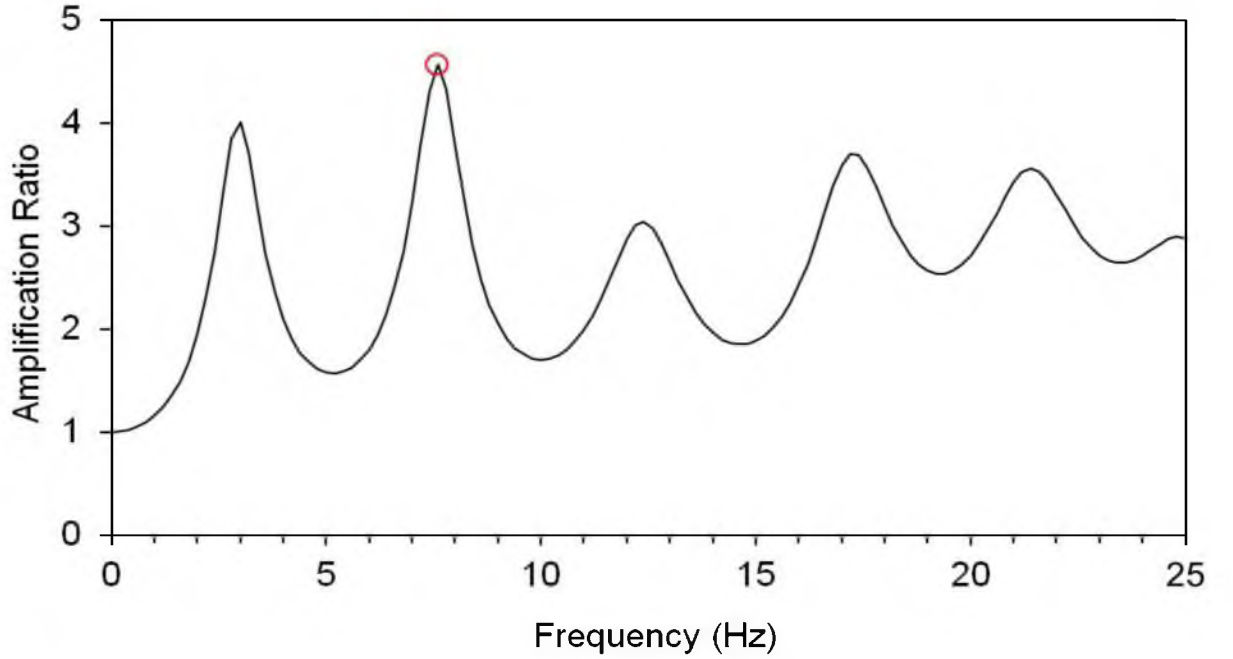
Şekil 4.15 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.2.4. Elazığ-Kovancılar istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

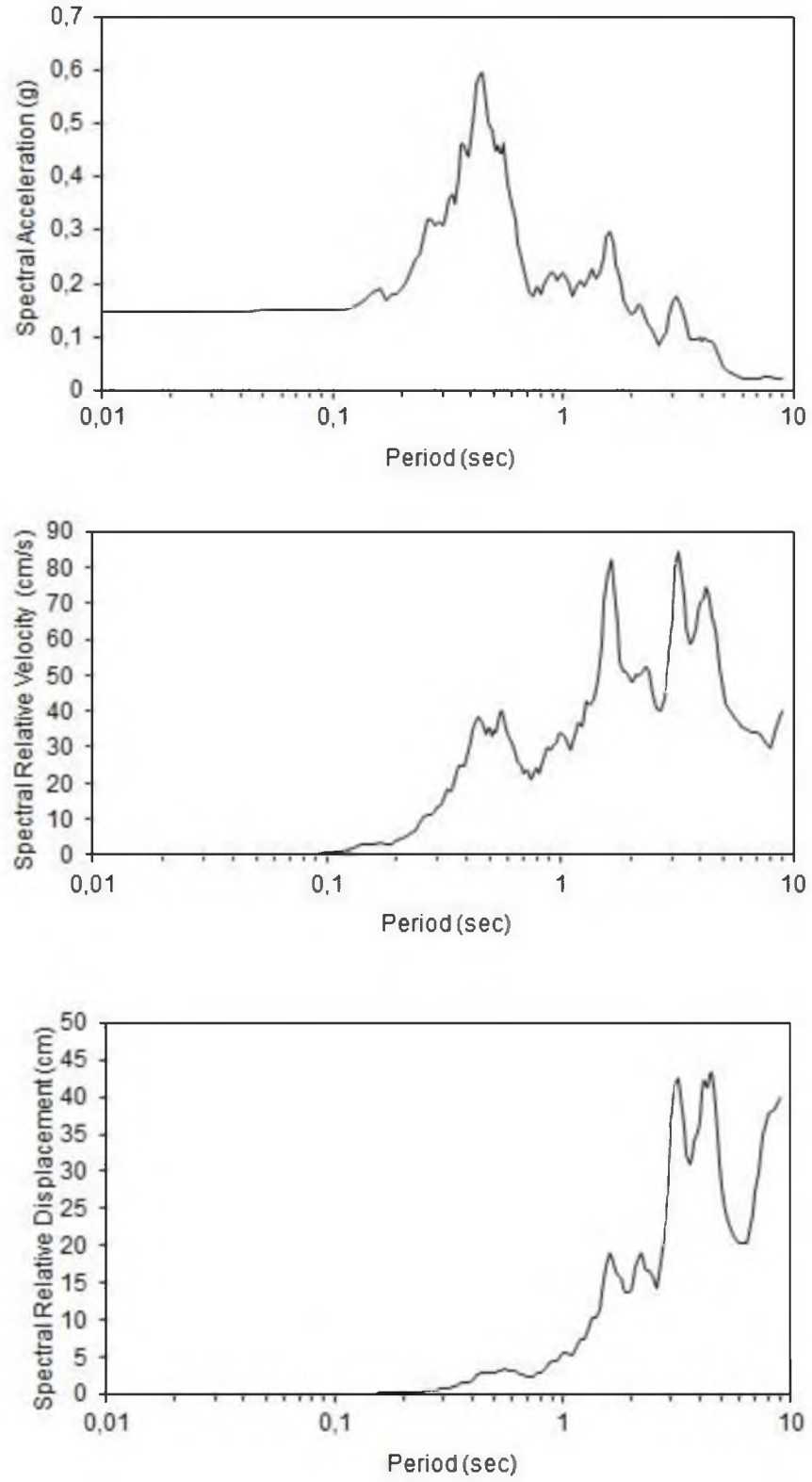
Şekil 4.16a'da Elazığ Deprem verisi (**Elazığ-Kovancılar**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 7.6 hertz (hz) frekansta 4.567 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.16b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.45 sn de 0.6 g, spektral hızın 0.45 sn de yaklaşık 38.58 cm/sn ve 3.20 sn de 84.09 cm/sn hız, 0.45 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 3.01 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.16c).



Şekil 4.16 a-) Elazığ Depremi'nin Kovancılar istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



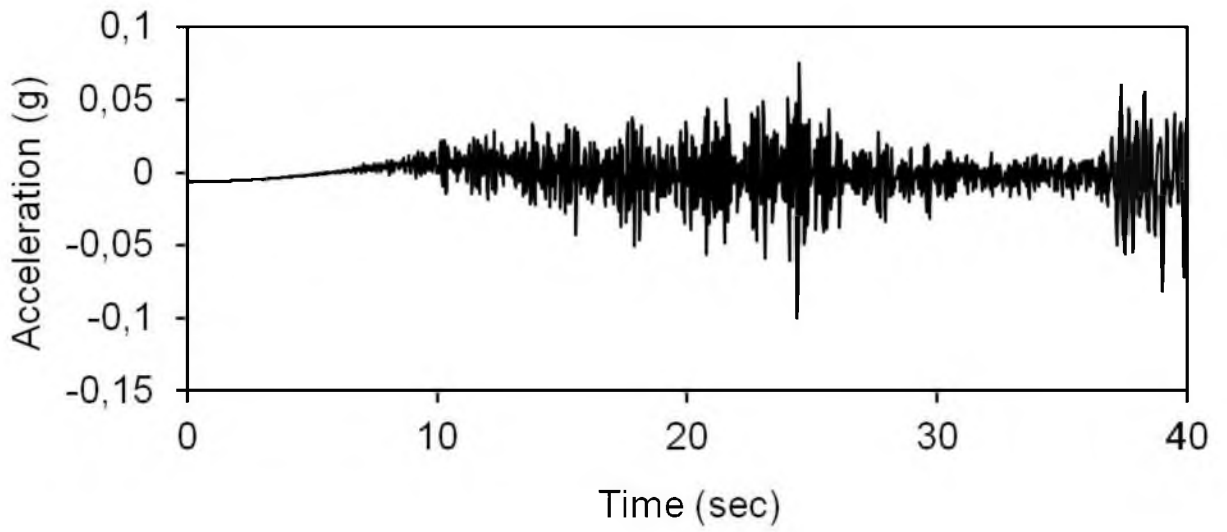
Şekil 4.16 b-) $V_{s30ort} = 329,875$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



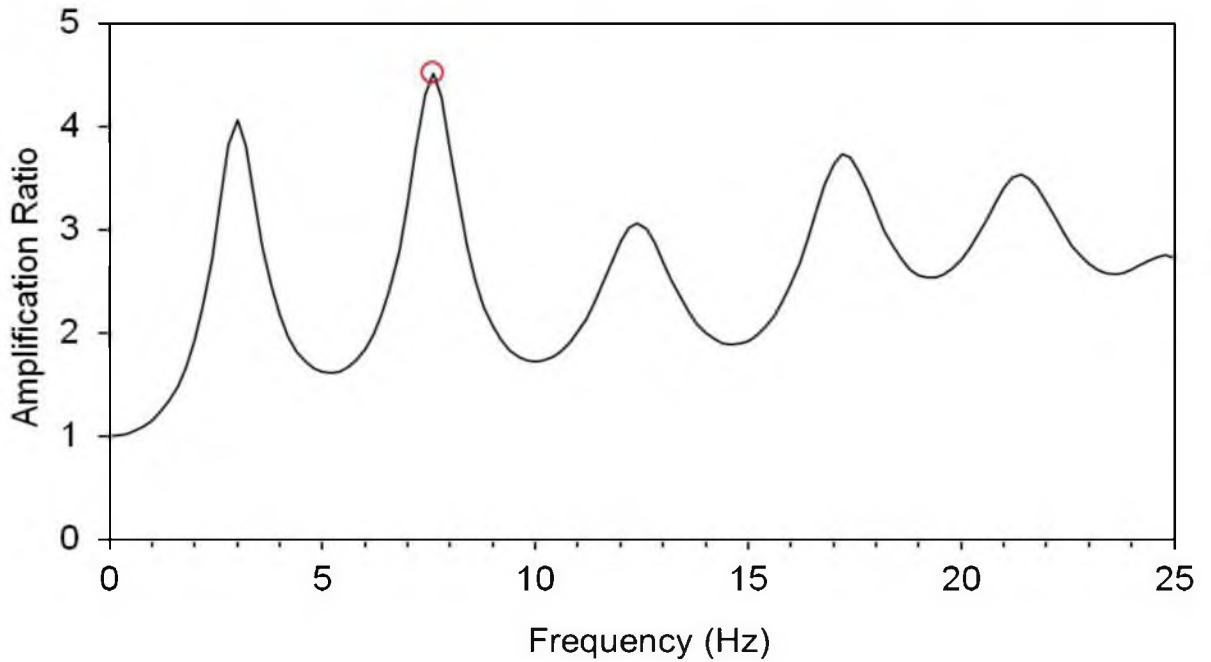
Şekil 4.16 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.2.5. Kahramanmaraş-Pazarcık istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

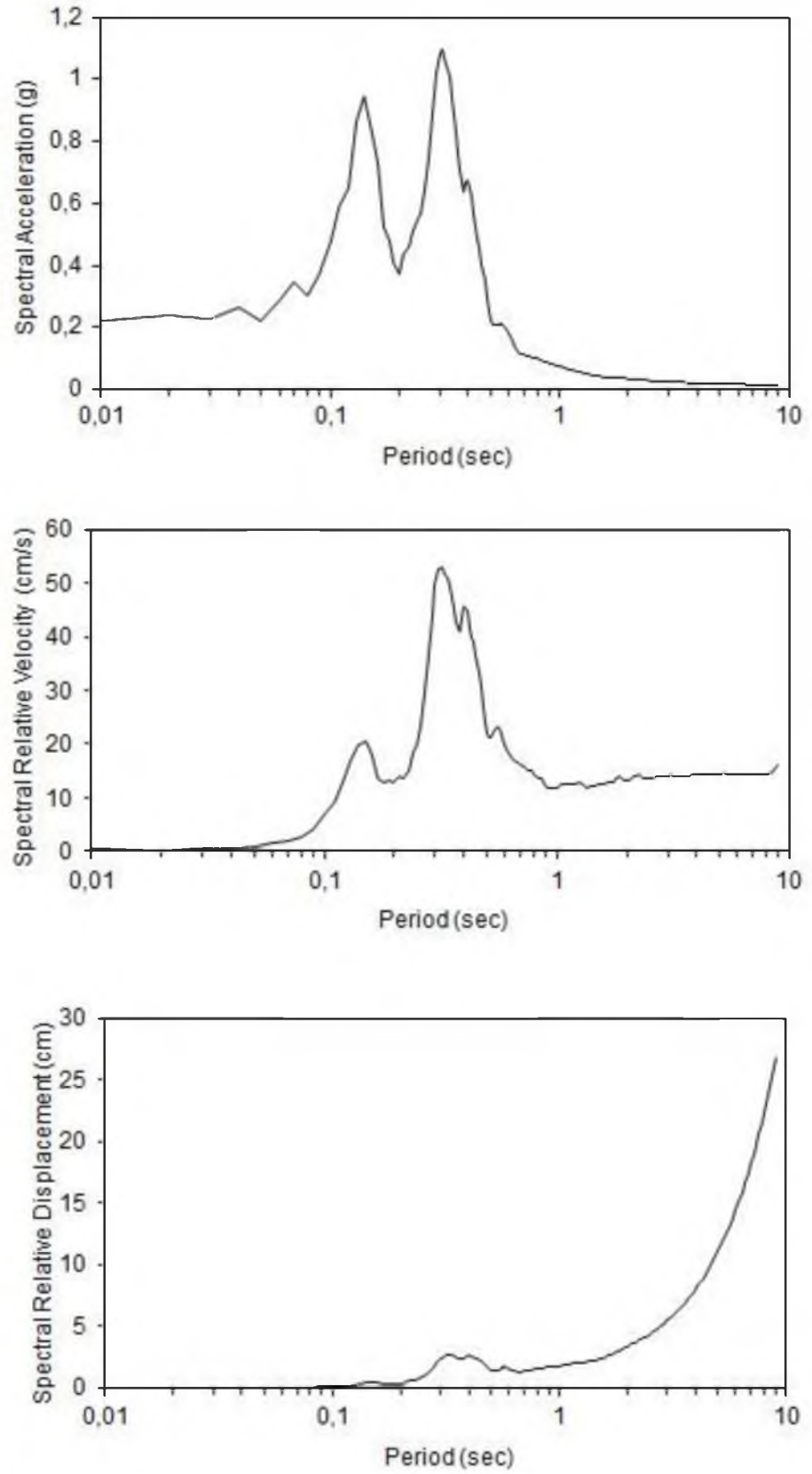
Şekil 4.17a'da Elazığ Deprem verisi (**Kahramanmaraş-Pazarcık**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 7.6 hertz (hz) frekansta 4.522 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.17b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.31 sn de 1.10 g, spektral hızın 0.31 sn de yaklaşık 52.47 cm/sn ve 0.32 sn de 52.99 cm/sn hız, 0.31 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.60 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.17c).



Şekil 4.17 a-) Elazığ Depremi'nin Pazarcık istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



Şekil 4.17 b-) Vs30ort = 329,875 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



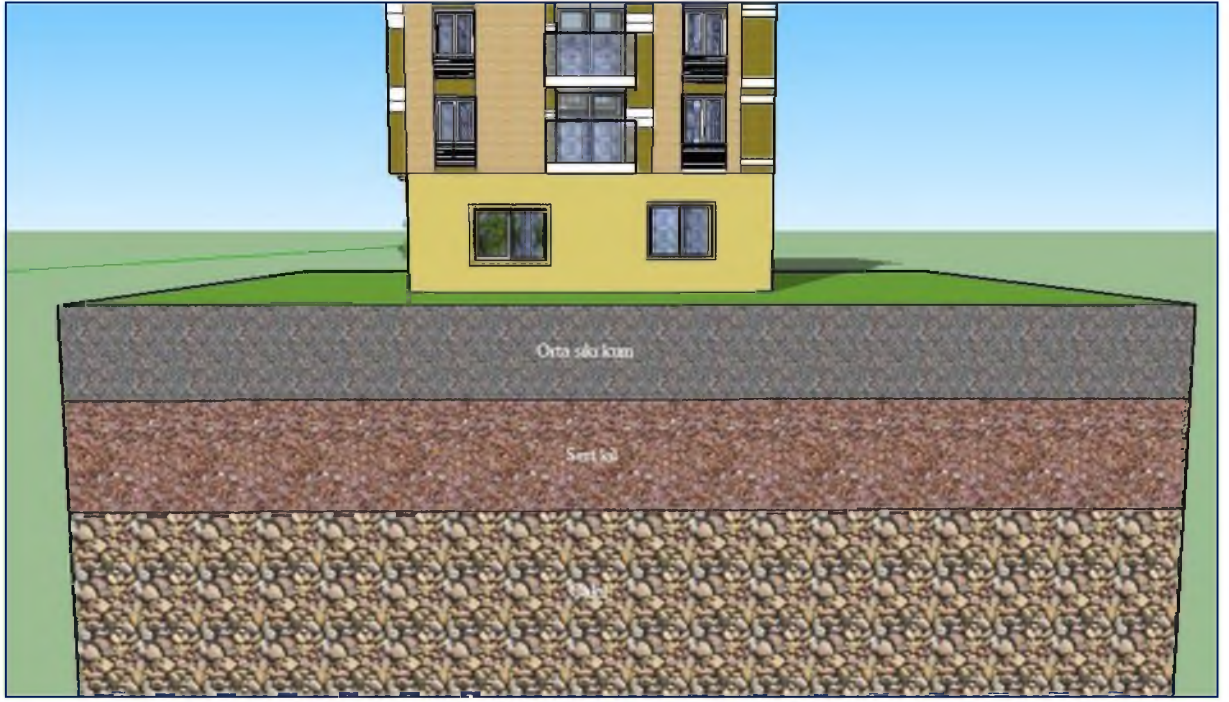
Şekil 4.17 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.3. Fatih mahallesi V_{s30} hızları ile sivrice depreminin EERA programında dinamik analizi

Batman Merkez İlçesinin Fatih mahallesinin zemin özellikleri (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19) ve V_{s30} hızları ile Sivrice depreminin 5 istasyon (Sivrice, Pütürge, Gerger, Kovancılar, Pazarcık) verisiyle EERA programında dinamik analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.



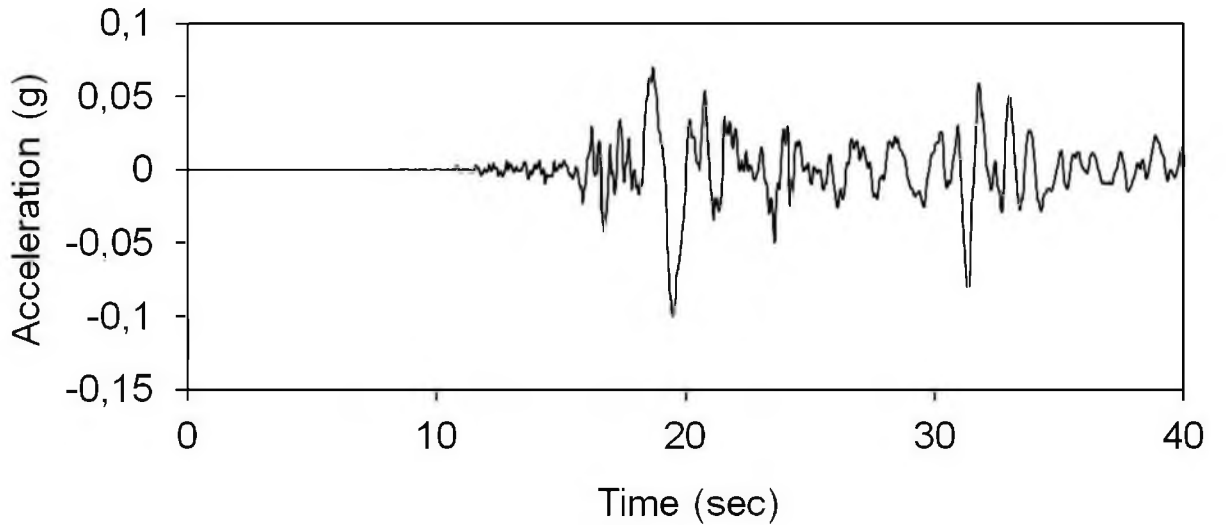
Şekil 4.18. Fatih mahallesi zemin kesiti genel görünümü



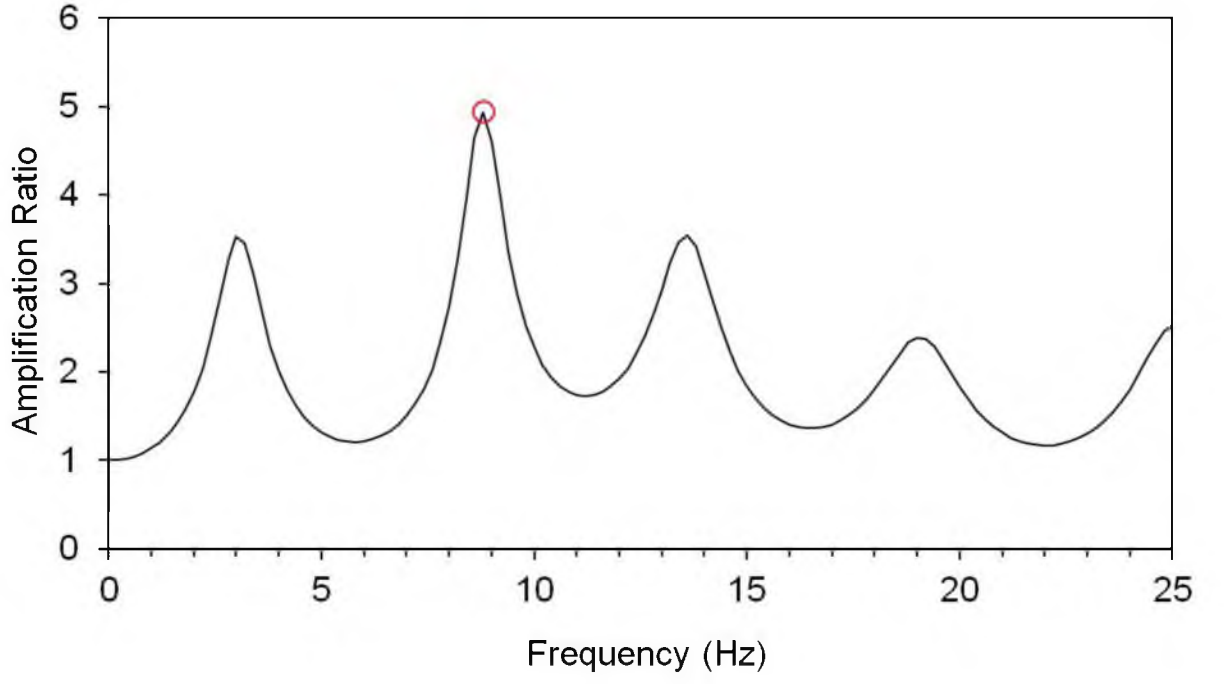
Şekil 4.19. Fatih mahallesi zemin tabakaları

4.3.3.1. Sivrice istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

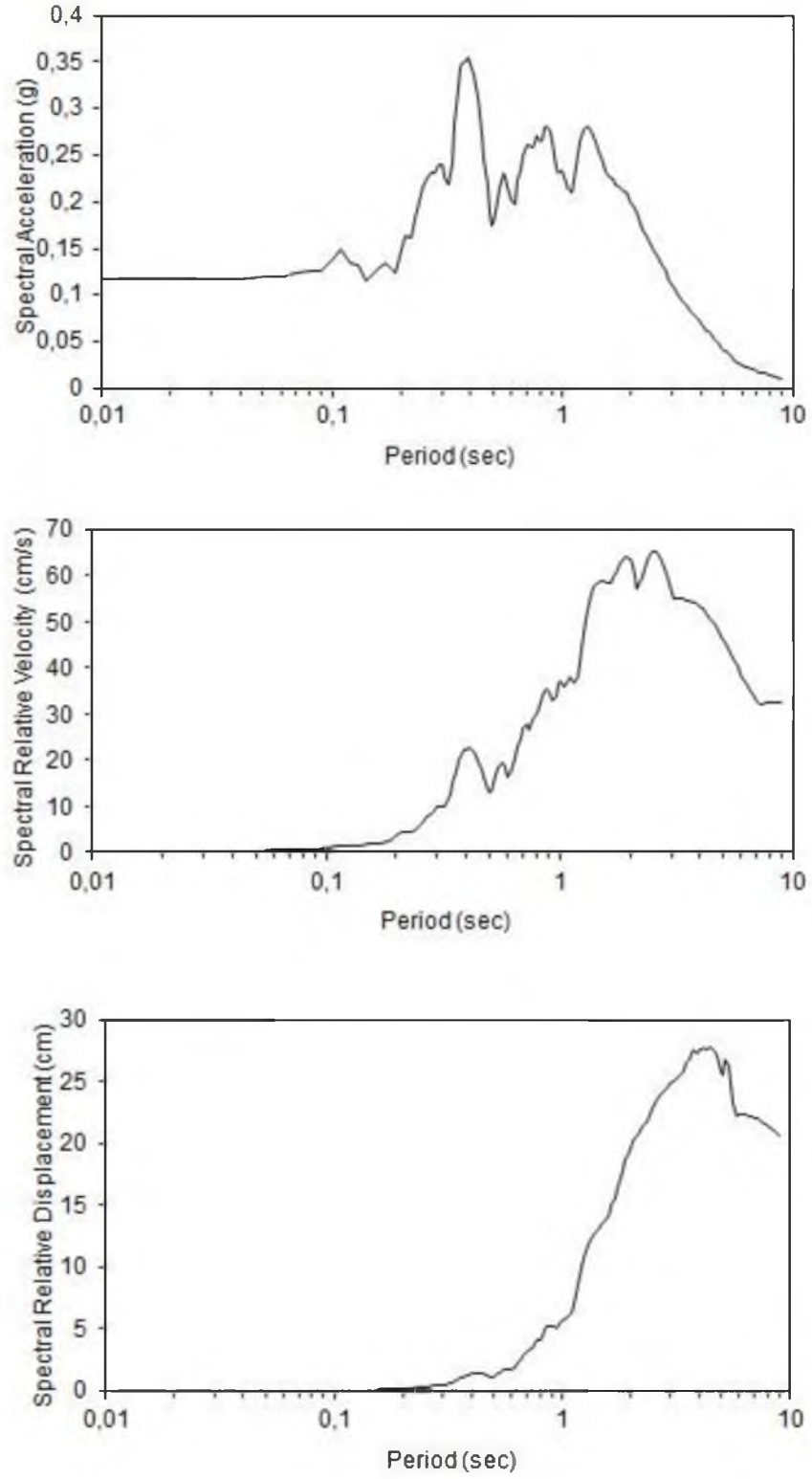
Şekil 4.20a'da Elazığ Deprem verisi (Sivrice istasyonu) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 8.8 hertz (hz) frekansta 4.938 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.20b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.39 sn de 0.36 g, spektral hızın 0.39 sn de yaklaşık 22.31 cm/sn ve 2.50 sn de 65.16 cm/sn hız, 0.39 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 1.33 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.20c).



Şekil 4.20a-) Elazığ Depremi'nin Sivrice istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



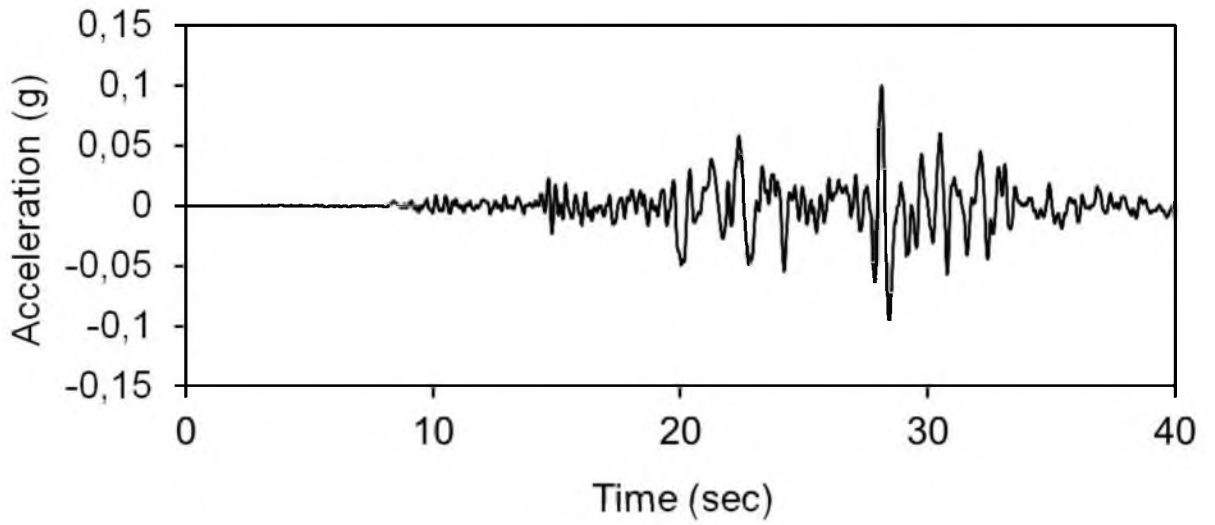
Şekil 4.20 b-) $V_{s30ort} = 359,937$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



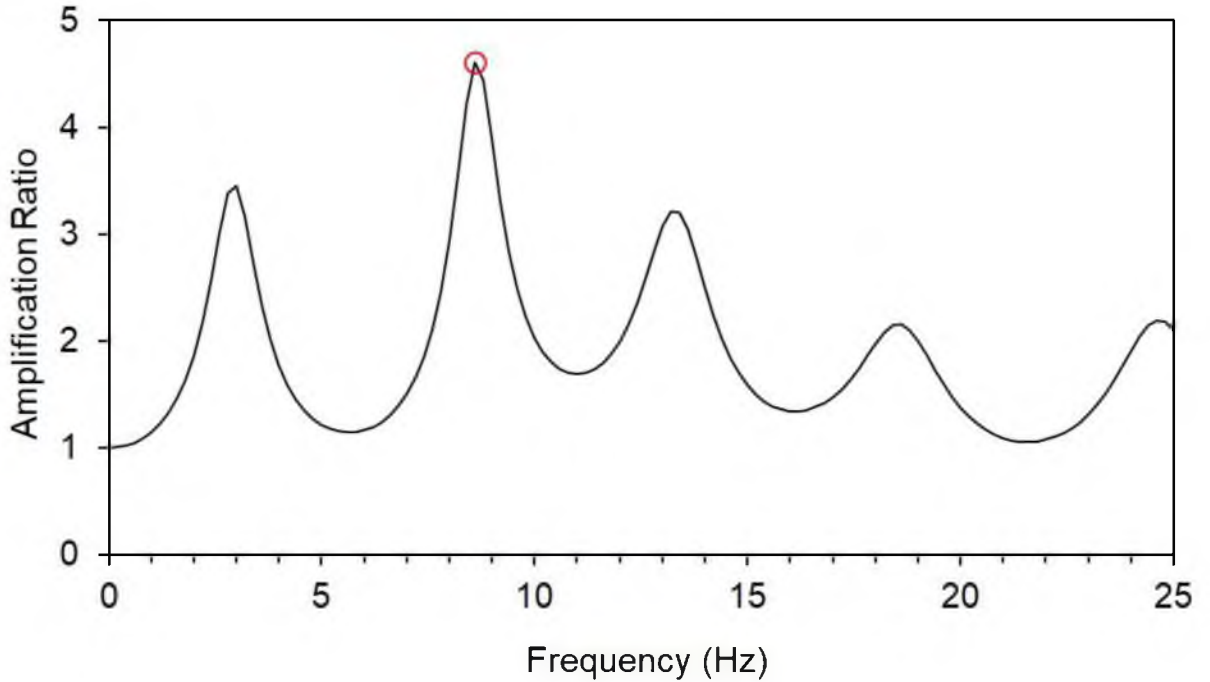
Şekil 4.20 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.3.2. Malatya-Pütürge istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

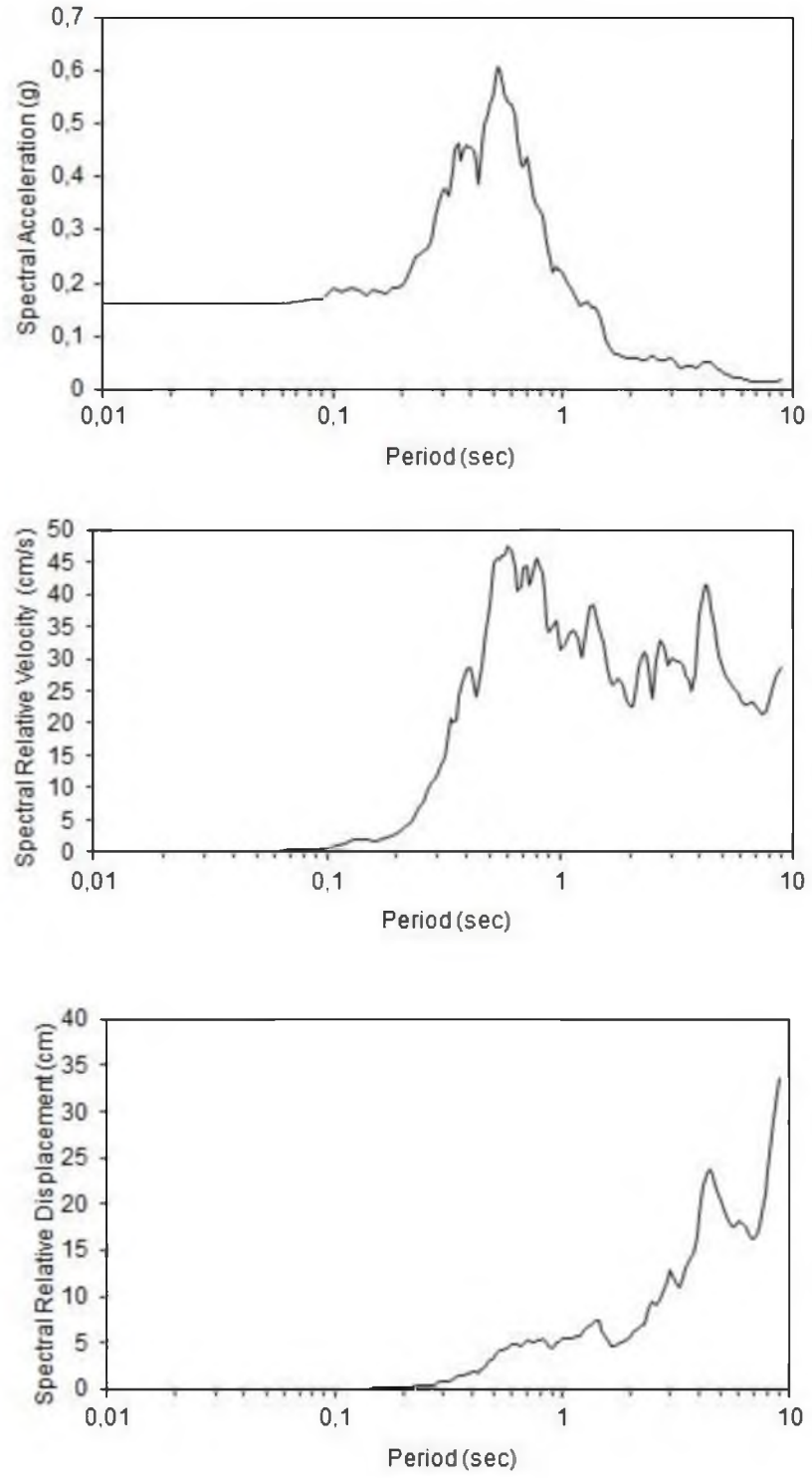
Şekil 4.21a'da Elazığ Deprem verisi (**Malatya-Pütürge**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 8.6 hertz (hz) frekansta 4.605 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.21b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.52 sn de 0.61 g, spektral hızın 0.52 sn de yaklaşık 44.58 cm/sn ve 0.60 sn de 47.30 cm/sn hız, 0.52 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 4.07 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.21c).



Şekil 4.21 a-) Elazığ Depremi'nin Pütürge istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



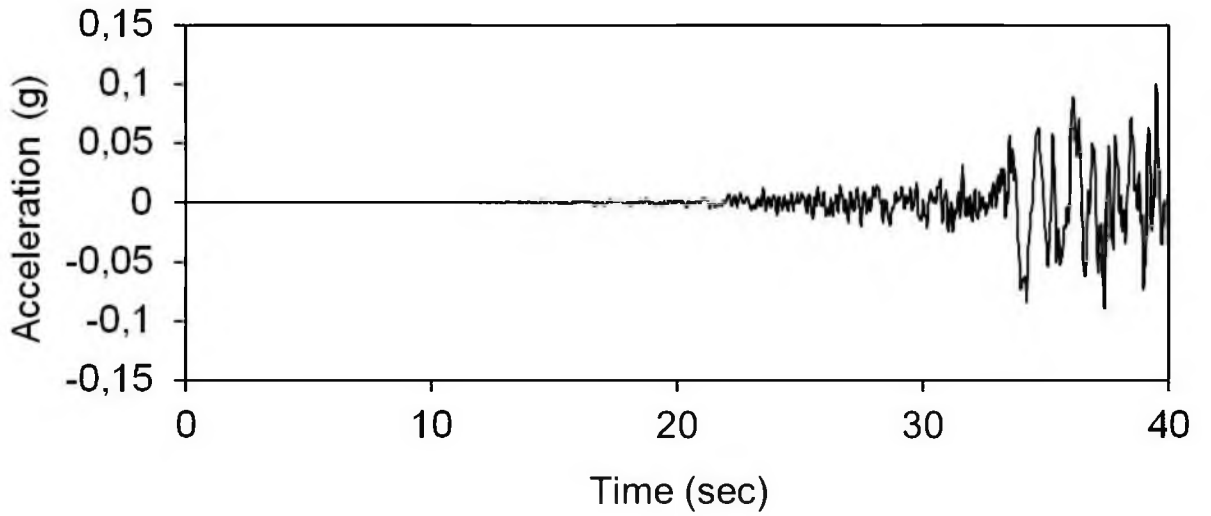
Şekil 4.21 b-) Vs30ort = 359,937 m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



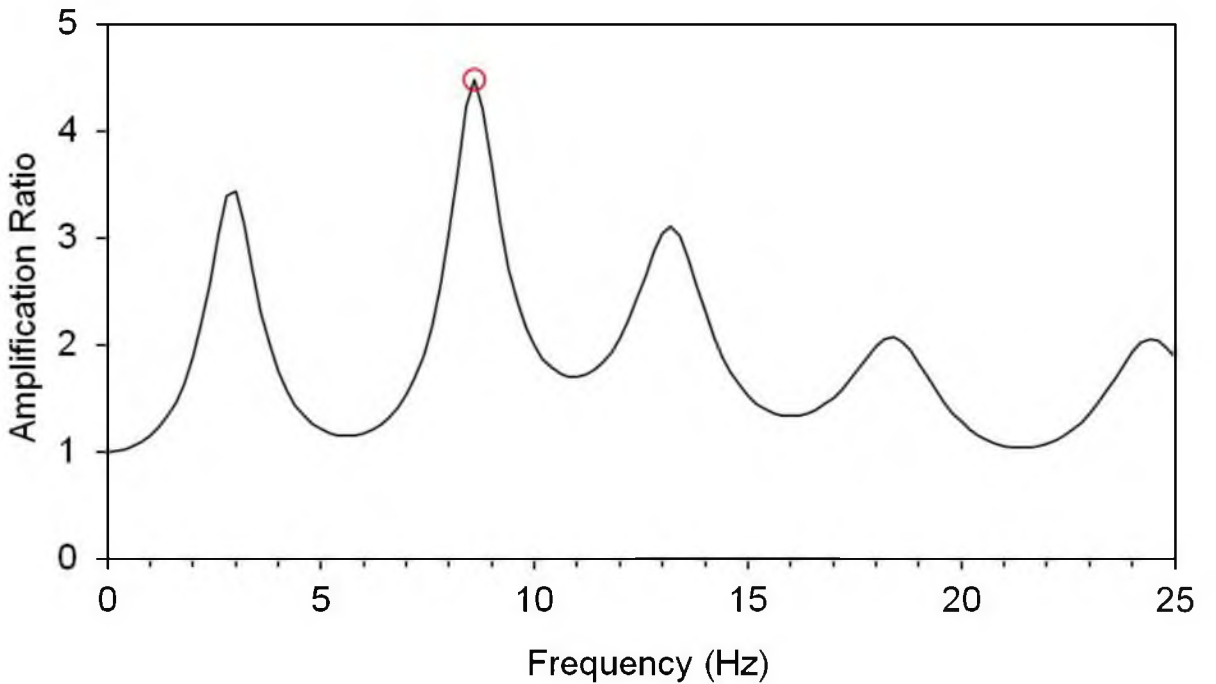
Şekil 4.21 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.3.3. Adıyaman-Gerger istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

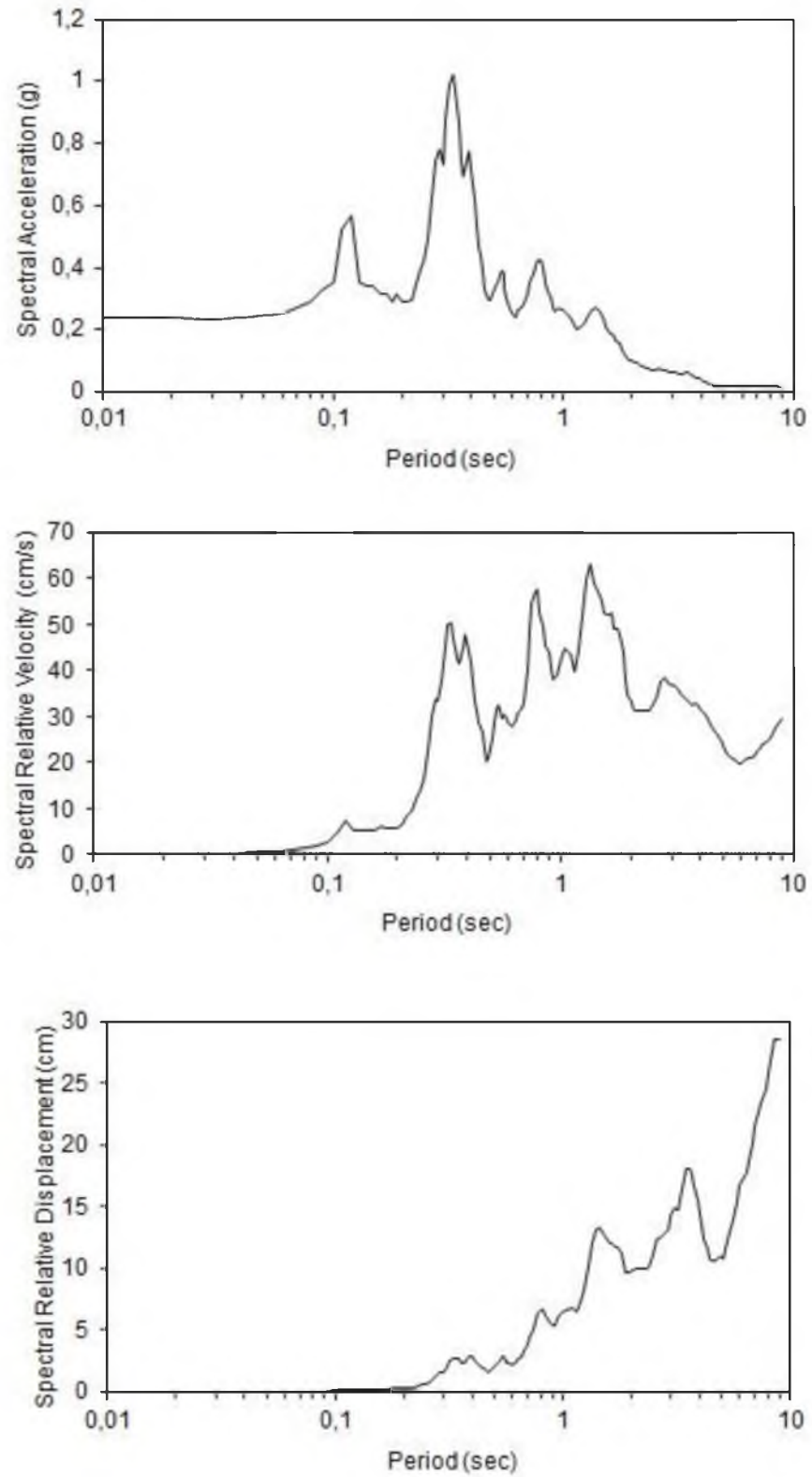
Şekil 4.22a'da Elazığ Deprem verisi (**Adıyaman-Gerger**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 8.6 hertz (hz) frekansta 4.483 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.22b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.33 sn de 1.02 g, spektral hızın 0.33 sn de yaklaşık 49.88 cm/sn ve 1.35 sn de 62.88 cm/sn hız, 0.33 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.71 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.22c).



Şekil 4.22 a-) Elazığ Depremi'nin Gerger istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



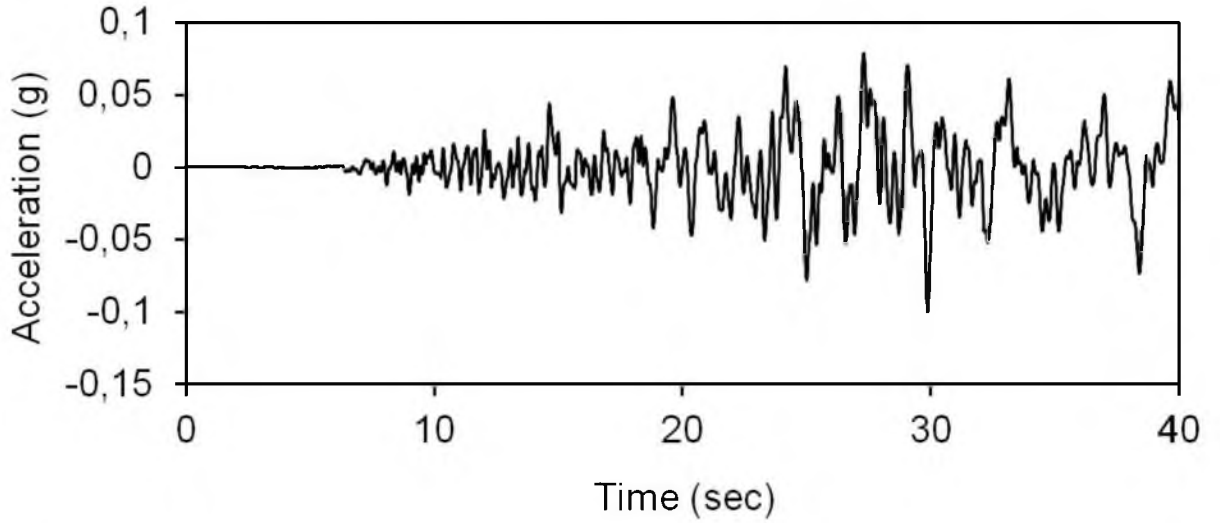
Şekil 4.22 b-) $V_{s30_{ort}} = 359,937$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



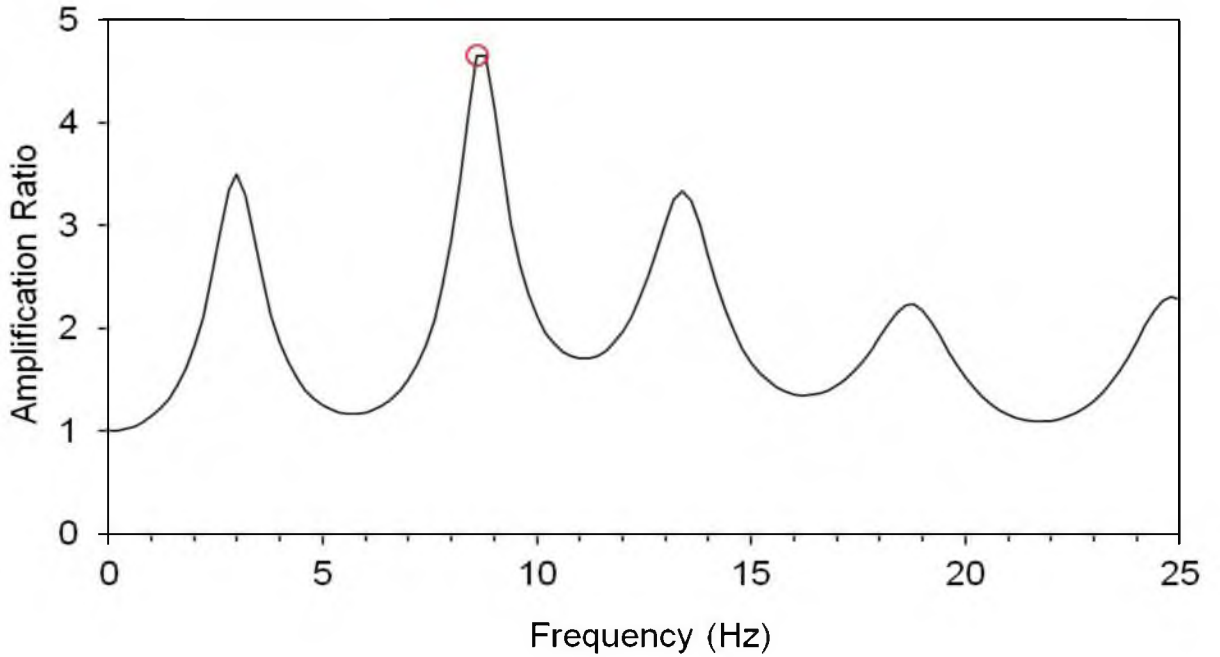
Şekil 4.22 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.3.4. Elazığ-Kovancılar istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

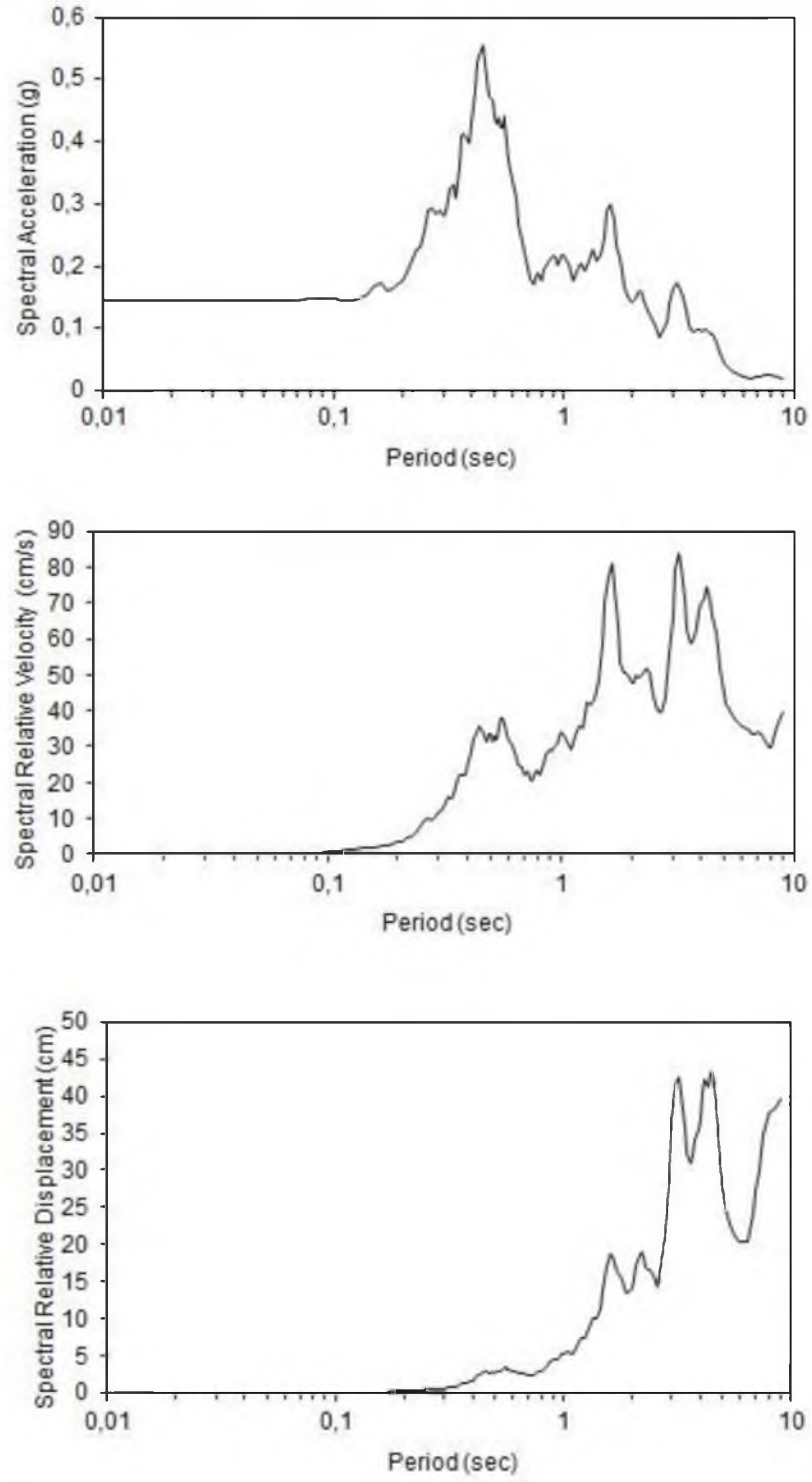
Şekil 4.23a'da Elazığ Deprem verisi (**Elazığ-Kovancılar**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 8.6 hertz (hz) frekansta 4.653 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.23b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.44 sn de 0.55 g, spektral hızın 0.44 sn de yaklaşık 34.32 cm/sn ve 3.20 sn de 84.00 cm/sn hız, 0.44 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.64 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.23c).



Şekil 4.23 a-) Elazığ Depremi'nin Kovancılar istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



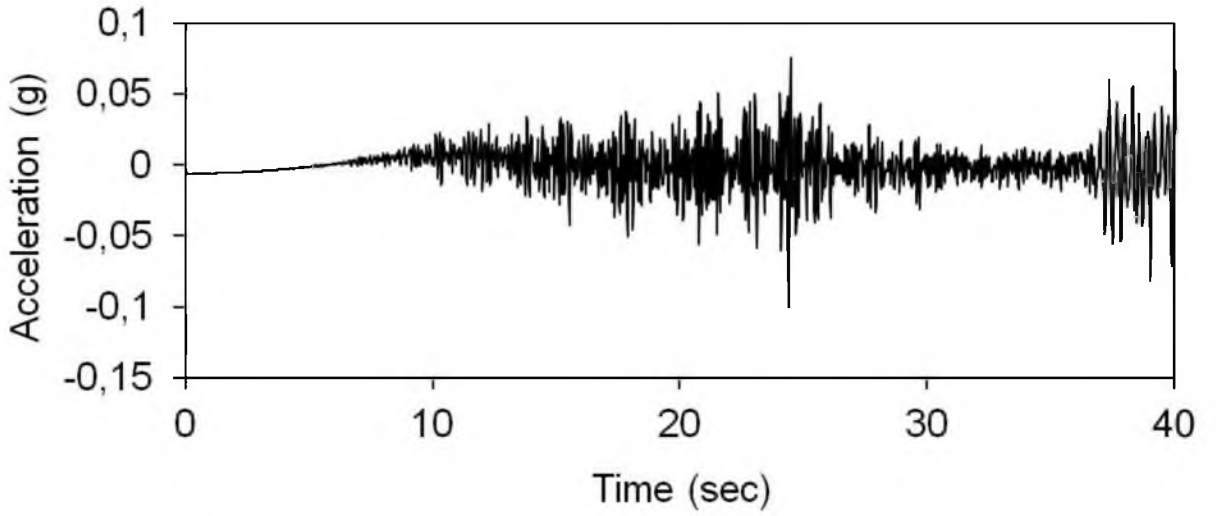
Şekil 4.23 b-) $V_{s30ort} = 359,937$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



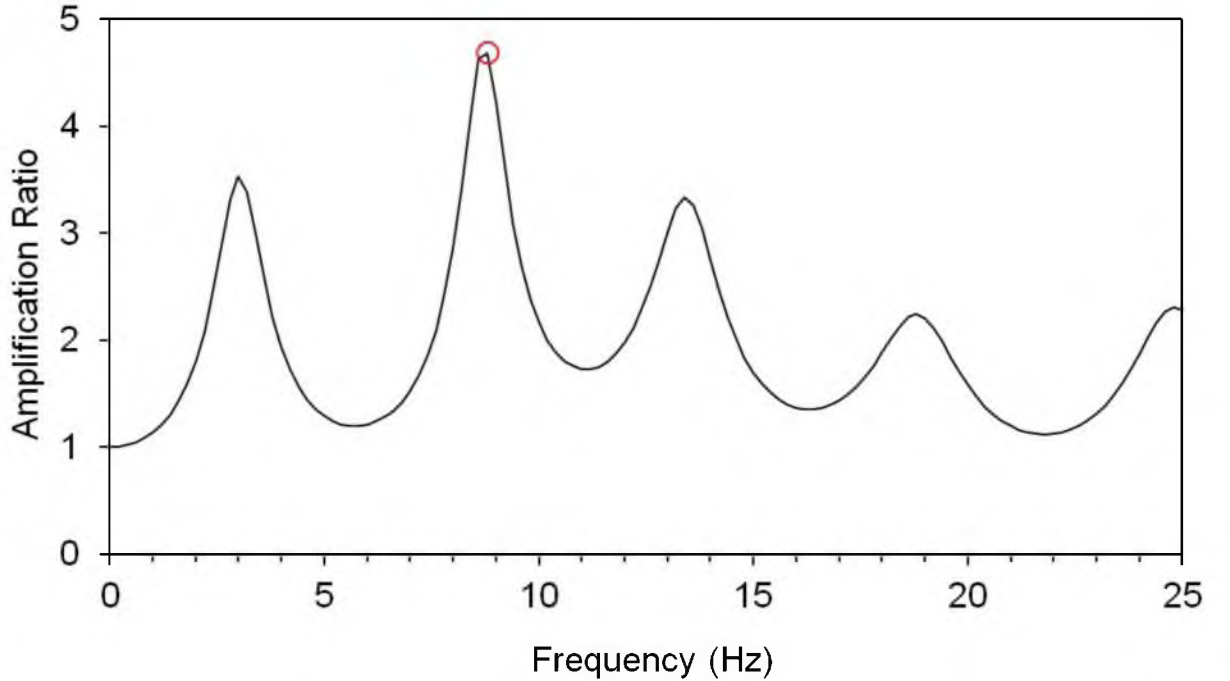
Şekil 4.23 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

4.3.3.5. Kahramanmaraş-Pazarcık istasyonu için zemin etkileşimi EERA çıktıları

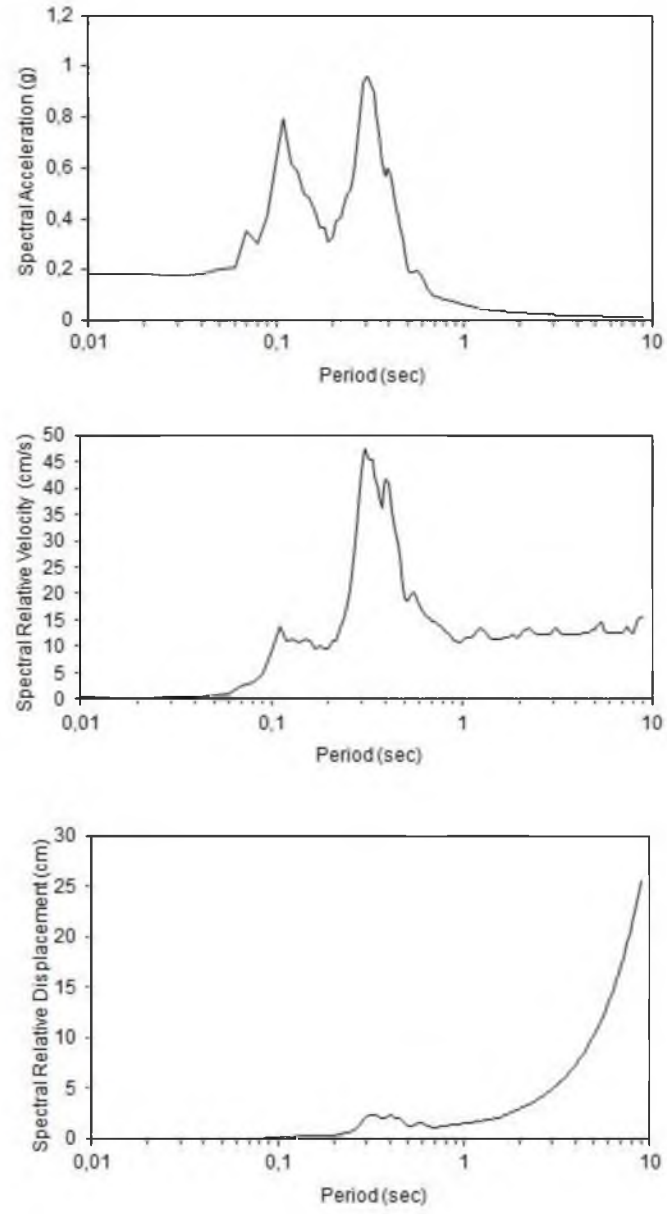
Şekil 4.24a'da Elazığ Deprem verisi (**Kahramanmaraş-Pazarcık**) ivme kaydı verilmiştir. Aynı deprem kaydında zeminin büyütme grafiğine baktığımızda yaklaşık 8.8 hertz (hz) frekansta 4.682 birim büyütme tespit edilmiştir (Şekil 4.24b). Çalışma alanını oluşturan zeminin aynı deprem verisi ile etkileşimi sonucunda elde edilen spektrum sonuçlarında spektral ivmenin 0.30 sn de 0.96 g, spektral hızın 0.30 sn de yaklaşık 43.25 cm/sn ve 0.31 sn de 47.40 cm/sn hız, 0.30 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.14 cm olduğu görülmektedir (Şekil 4.24c).



Şekil 4.24 a-) Elazığ Depremi'nin Pazarcık istasyonu ivme kaydı. Düşey eksen birimi gal'dir



Şekil 4.24 b-) $V_{s30ort} = 359,937$ m/s hızındaki zeminin büyütme grafiği



Şekil 4.24 c-) Deprem Zemin Etkileşim sonucu oluşan spektral ivme, spektral hız ve spektral yerdeğiştirme (deplasman) grafikleri

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Batman kentinde zemin araştırma amaçlı olarak uygulanan Çok Kanallı Yüzey Analizi (MASW) yöntemi ile elde edilmiş kayma dalga hızları (V_{s30}) kullanılmıştır. EERA programında Elazığ Sivrice depreminin 5 farklı istasyonundan alınan (Sivrice, Pütürge, Gerger, Kovancılar, Pazarcık) ivme verileri ile kayma dalga hızları etkileşime sokularak zemin-deprem etkisi araştırılmıştır. EERA program sonuçları ile yakın geçmişte yaşanan Elazığ Sivrice depreminin Batman kentini nasıl etkilediği, bunun yanı sıra muhtemel büyük depremlere karşı zeminin nasıl tepki vereceği, spektral ivme, hız ve deplasman grafikleri yardımıyla gözlemlenmiştir.

Gültepe mahallesi için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1-) Sivrice istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 2 Hz frekansta 4.86 birim büyütme, spektral ivmenin 0.55 sn de 0.50 g, spektral hızın 0.55 sn de yaklaşık 40.99 cm/sn ve 2.6 sn de 70.34 cm/sn hız, 0.55 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 3.74 cm olduğu görülmektedir.

2-) Pütürge istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 1.6 Hz frekansta 4.01 birim büyütme, spektral ivmenin 0.60 sn de 1.09 g, spektral hızın 0.60 sn de yaklaşık 97.39 cm/sn ve 0.62 sn de 100.90 cm/sn hız, 0.6 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 9.65 cm olduğu görülmektedir.

3-) Gerger istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 2 Hz frekansta 4.82 birim büyütme, spektral ivmenin 0.53 sn de 0.87 g, spektral hızın 0.53 sn de yaklaşık 70.98 cm/sn ve 0.80 sn de 86.90 cm/sn hız, 0.53 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 6.04 cm olduğu görülmektedir.

4-) Kovancılar istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 1.8 Hz frekansta 4.50 birim büyütme, spektral ivmenin 0.55 sn de 1.02 g, spektral hızın 0.55 sn de yaklaşık 85.30 cm/sn ve 1.65 sn de 93.68 cm/sn hız, 0.55 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 7.7 cm olduğu görülmektedir.

5-) Pazarcık istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 2.0 Hz frekansta 5.06 birim büyütme, spektral ivmenin 0.40 sn de 0.67 g, spektral hızın 0.40 sn de yaklaşık 40.93 cm/sn ve 0.44 sn de 41.70 cm/sn hız, 0.40 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.62 cm olduğu görülmektedir.

Tilmerç mahallesi için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1-) Sivrice istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 7.6 Hz frekansta 4.675 birim büyütme, spektral ivmenin 0.38 sn de 0.40 g, spektral hızın 0.38 sn de yaklaşık

24.29 cm/sn ve 2.5 sn de 65.69 cm/sn hız, 0.38 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 1.45 cm olduğu gör÷lmektedir.

2-) Pütürge istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 7.6 hz frekansta 4.48 birim büyütme, spektral ivmenin 0.52 sn de 0.64 g, spektral hızın 0.52 sn de yaklaşık 47.11 cm/sn ve 0.60 sn de 49.43 cm/sn hız, 0.52 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 4.27 cm olduğu gör÷lmektedir.

3-) Gerger istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 7.4 hz frekansta 4.268 birim büyütme, spektral ivmenin 0.33 sn de 1.14 g, spektral hızın 0.33 sn de yaklaşık 57.31 cm/sn ve 1.35 sn de 64.19 cm/sn hız, 0.33 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 3.12 cm olduğu gör÷lmektedir.

4-) Kovancılar istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 7.6 hz frekansta 4.567 birim büyütme, spektral ivmenin 0.45 sn de 0.6 g, spektral hızın 0.45 sn de yaklaşık 38.58 cm/sn ve 3.20 sn de 84.09 cm/sn hız, 0.45 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 3.01 cm olduğu gör÷lmektedir.

5-) Pazarcık istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 7.6 hz frekansta 4.522 birim büyütme, spektral ivmenin 0.31 sn de 1.10 g, spektral hızın 0.31 sn de yaklaşık 52.47 cm/sn ve 0.32 sn de 52.99 cm/sn hız, 0.31 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.60 cm olduğu gör÷lmektedir.

Fatih mahallesi için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1-) Sivrice istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 8.8 hz frekansta 4.938 birim büyütme, spektral ivmenin 0.39 sn de 0.36 g, spektral hızın 0.39 sn de yaklaşık 22.31 cm/sn ve 2.50 sn de 65.16 cm/sn hız, 0.39 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 1.33 cm olduğu gör÷lmektedir.

2-) Pütürge istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 8.6 hz frekansta 4.605 birim büyütme, spektral ivmenin 0.52 sn de 0.61 g, spektral hızın 0.52 sn de yaklaşık 44.58 cm/sn ve 0.60 sn de 47.30 cm/sn hız, 0.52 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 4.07 cm olduğu gör÷lmektedir.

3-) Gerger istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 8.6 hz frekansta 4.483 birim büyütme, spektral ivmenin 0.33 sn de 1.02 g, spektral hızın 0.33 sn de yaklaşık 49.88 cm/sn ve 1.35 sn de 62.88 cm/sn hız, 0.33 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.71 cm olduğu gör÷lmektedir.

4-) Kovancılar istasyonu deprem kaydı ile zemin etkileşim sonucu 8.6 hz frekansta 4.653 birim büyütme, spektral ivmenin 0.44 sn de 0.55 g, spektral hızın 0.44 sn de

yaklaşık 34.32 cm/sn ve 3.20 sn de 84.00 cm/sn hız, 0.44 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.64 cm olduğu gör÷lmektedir.

5-) Pazarcık istasyonu deprem kayıdı ile zemin etkileşim sonucu 8.8 hz frekansta 4.682 birim büy÷tme, spektral ivmenin 0.30 sn de 0.96 g, spektral hızın 0.30 sn de yaklaşık 43.25 cm/sn ve 0.31 sn de 47.40 cm/sn hız, 0.30 sn'de spektral yerdeğiştirmenin (deplasman) 2.14 cm olduğu gör÷lmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D., Akgül, A. ve Erdoğan, L. T., 1981, Güneydoğu Anadolu'nun hidrokarbon olanakları ve Baykan-Şirvan-Pervari yöresinin jeolojisi, *TPAO Arama Grubu Rapor No. 1543*, 387 s., Ankara
- Alim C. 2006, “Arazi zemin dinamik davranışının bir ve iki boyutlu analizlerle karşılaştırılması” ,Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Alim vd. 2007, “Comparison of one and two dimensional site response analysis results for Küçükçekmece region in İstanbul”, *4.th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Thessaloniki, Greece.
- Ansal A., 2001, Balıkesir Şehri Bahçelievler, Plevne, Hasan Basri Çantay, Akıncılar Mahalleleri ve 18-02 Konut Bölgesinin Yerleşime Uygunluk Çalışmalarının, Depremsellik ve İnşaat Mühendisliği Açısından Değerlendirilmesi, *İTÜ Geliştirme Vakfı, Uygulamalı Araştırma Raporu*.
- Ansal, A., 2004, (Ed.); Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, *Khwer Academic Publishers*, netherlans.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972, Doğu Anadolu fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, *MTA Enstitüsü Dergisi*, 78, 44-50.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1975, Türkiye’deki bazı önemli genç tektonik olaylar, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 18(1), 91-101.
- Bard, P. Y., 1998, Microtremor Measurements: A Tool For Site Effect Estimation?, *Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion – ESG98-* held in Yokohama, Japan, December 1-3
- Bardet, J.P., Ichii, K. and Lin, C.H., 2000, EERA a Computer Program for Equivalentlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits, Univ. of Southern California, Dep. of Civil Eng., US.
- Barka, A., and Reilinger, R., 1997, Active tectonics of the eastern Mediterranean region, deduced from GPS, neatectonic and seismicity data, *Annali di Geofisica*, XL(3), 587-610.
- Barka, A., and Kadinsky-Cade, K., 1988, Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7, 663-684.

- Bolgi, T., 1961, V. Petrol Bölgesi seksiyon ölçümleri AR/TPO/261 nolu saha ile Reşan Dodan arası batısındaki sahanın strüktürel etüdları, *TPAO Arama Grubu Rapor No. 162*, 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*, (3):545-552.
- Brandes, H.G., 2003, Geotechnical and Foundation Aspects, in *Earthquake Engineering Handbook*, Edited: Wai-Fah Chen and Charles Scawthorn, CRC PRESS.
- Castro, G., 1975, Liquefaction and Cyclic mobility of saturated sands, Harvard Soil Mechanic Series, No:81, cambridge, Massachusetts.
- Das, B.M., 1993, Principles of Soil Dynamics, *HWS Publ.*, USA.
- Duran, O. 1988, "Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve petrol potansiyeli", *Türkiye Petrol Jeoloji Derneği Bülteni*, 1-2, 99-126.
- Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, L. ve Perinçek, D. 1989, Güneydoğu Anadolu'da Midyat Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve paleocografyası, paleontolojisi, jeoloji tarihi, rezervuar ve diyajenez özellikleri ve olası petrol potansiyeli. *TPAO Araştırma Merkezi*, Rapor No.2563.
- Eren, Y., Nalbantçılar, M.T., Beyaz, T., Dinç, S., Ünal, M., Arslan, Ş. ve Polat, S., 2012, Esentepe (Gültepe/Batman) Çukurunun Oluşum Mekanizması, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1 (2), 385-394.
- Eyidoğan, H., 1983, Bitlis-Zağros bindirme ve kıvrımlı kuşağının sismotektonik özellikleri. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi*, 112s (yayımlanmamış).
- Finn, W.D.L, 1991, Geotechnical Engineering Aspect of Microzonation, *Proc. Fourth Intern'l. Conf. On Seismic Zonation*, Vol.1, pp. 199-259.
- Gutenberg, B., 1927, Grundlagen der Erdbebenkunde, Berlin.
- Gündoğdu, O., Özçep, F., 2003, Jeofizikte Zemin Davranışı, *İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl.*, (Ders Notları), 978 Sayfa; İstanbul.

- Gülen, L., Barka, A. A., and Toksöz, M. N., 1987, Continental collision and related complex deformation: Maraş triple junction and surrounding structures, SE Turkey, *Yerbilimleri*, 14, 319-336.
- Hardin, B.O. and Drnevich, V.P. 1972, "Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 98, No. SM7, July, pp. 667-692.
- Hashash YMA 2002, "Viscous damping formulation and high frequency motion propagation in non-linear site response analysis.", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.22,611-624.
- Hashash YMA, Park D, 2001, "Non-linear one dimensional seismic ground motion propagation in the Mississippi embayment." *Engineering Geology*, 62(1-3), 185-206.
- Idriss, I.M. & Sun, J.I. 1992, Shake91, A computer program for conducting equivalent linear seismic response analysis of horizontally layered soil deposits. *User's Guide*, Center for Geotechnical Modeling, Civil Engineering Department, UC Davis.
- ISSMFE, 1993, Manual for zonation on seismic geotechnical hazards, *published by Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*.
- İlker, S., 1972, VI. Bölge Adıyaman kuzey ve kuzeydoğusundaki sahalar hakkında jeolojik rapor, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 981*, 27 s., Ankara.
- Ishihara, K., Yoshimine, M., 1992, Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, *Soils and Foundations*, Vol., 32, No:1, pp. 173-188. Gutenberg, B., 1927, *Grundlagen der Erdbebenkunde*, Berlin.
- İyisan, R ve Haşal M.E. 2011, Ova Kenarındaki Anakaya Eğiminin Dinamik Davranışa Etkisi: Dinar Ovası Modeli, *İMO Teknik Dergi*, 2011 5559-5578, Yazı 358.
- Jackson, J., McKenzie, D.P., 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Kanai, K. 1951, "Relation Between the Nature of Surface Layer and the Amplitude of Earthquake Motions," *Bulletin, Tokyo Earthquake Research Institute*.
- Kearey P., Brooks M., Hill I., 2002, An Introduction to Geophysical Exploration, *Blackwell Science Third Edition, London*, ISBN:0-632-04929-4R.

- Keçeli, A. 2000, Sismik Yöntemle Kabul edilebilir veya Güvenli Taşıma Kapasitesi Saptanması. *Jeofizik*, 14(1-2), 61-72.
- Kırathıoğlu, E., 1964, AR/TPO/674 nolu sahanın jeolojik raporu, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 324*, 13 s., Ankara.
- Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice-Hall*, Inc. New Jersey.
- Krinitzsky, E.L., Gold, J.P., Edinger, P.H., 1993, Fundamentals of Earthquake Resistant Construction, *John Wiley and Sons*, 299p.
- Kuruoğlu, M., 2004, Geographic Information System Gıs Based Database Development and Evaluation Study for Soils of Northern Coast of İzmir Bay, *Yöneten: Arıf Şengün Kayalar, Doktora Tezi, DEUFBE*, 165s.
- Meirovitch, L. (1967) Analytical Methods in Vibrations. *Prentice Hall*, Upper Saddle River.
- Mathiews, S.L., Arthur, J.C.R., 2002, Geophysics in Engineering Investigations, *CIRIA Pub.*, England.
- Majumdar, D. K., 1971, Stability of Soil Slopes Under Horizontal Earthquake Force, *Technical Note, Geotechnique*, Great Britain, Vol. 21, No. 1, pp. 84-89
- Mallet, R., 1862, Great Neapolitan earthquake of 1857, London, 2 Vols.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Georgiev, I., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradisis, D., Peter, Y., Prilepi, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N., Veis, G., 2000, "GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations in the Eastern Mediterranean 1988-1997, *Implications for Plate Dynamics*" *JGR. Vol. 105, No.B3*, pp. 5695-5719.
- MTA,1992, Batman İli Gap Mahallesi çöküntü alanında yapılan ES-1,2,3,4 zemin sondajları kuyu bitirme raporu, *MTA Genel Müdürlüğü*.
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Reports of the Railway Technical Research Institute Tokyo*, 30. pp. 25-33

- Nazarian S., 1984, "In situ determination of elastic moduli of soil deposits and pavement systems by Spectral-Analysis-of-Surface waves method", PhD Diss., *Un. of Texas at Austin*
- Nazarian S., Stokoe II K.H., 1984, "In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves", Proc. 8th Conf. on Earthquake Eng. - S.Francisco, vol. 3, *Prentice-Hall*, pp. 31-38
- Nazarian; S., Diehl, J., 2000, Use of Geophysical Methods in Construction, *ASCE Publications*, USA.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves (MASW); *Geophysics*, 64, 800-808
- Pasin, C., 1989, Siirt-Eruh ve Şırnak arasındaki bölgenin jeolojisi, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2632*, 24 s., Ankara.
- Perinçek, D. 1979, Çelikhan-Sincik-Koçali (Adıyaman) alanının jeolojik incelemesi, *TPAO Arama Grubu, Rapor No.1395*.
- Perinçek, D., 1980, Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri, 5. *Türkiye Petrol Kongresi Bildirileri*, 77-93, Ankara.
- Perinçek, D., 1989, Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, yapısal özellikleri, petrol imkanları, *TPAO Arama Grubu. Rapor No:2545*.127s.
- Perinçek, D. 1990, Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi. GDA Türkiye: *TPJD Bülteni*, C.2/1, s. 21-68.
- Pınar, A., 1995, Rupture process and spectra of some major Turkish earthquakes and their seismotectonic implications, PhD Thesis, *Boğaziçi University*, İstanbul, 125 pp (unpublished).
- Roesset, J. M. and Whitman, R. V. 1969, "Theoretical Background for Amplification Studies," Research Report No. R69-15, Soils Publications No. 231, *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge.
- Reid, H.F., 1910, The California earthquake of April 18, 1906, Publication 87, *Carnegie Institute of Washington*, D.C.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., et al. 2006, GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111.

- Richart, F.E., Hall, J.R. & Woods, R.D. 1970, *Vibrations of Soils and Foundations*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Richards, R., Elms, D.G., Budhu, M., 1993, Seismic bearing capacity and settlements of foundations, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 119, no: 4, pp.662-674.
- Okada, H., 2003, Microtremor Survey Method; *Society of Exploration Geophysics*, USA.
- Savcı, H. ve Dülger, S. 1980, Cacas-Sason-Kozluk dolayının jeoloji incelemesi ve petrol olanaklarının araştırılması, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1442*, 41 s., Ankara.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. 1970, "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses," Report No. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, *University of California, Berkeley*, California.
- Seed, H. B., Idriss, I.M., 1971, Simplified procedure for evaluating soil Liquefaction potential, *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol.97, pp.1249-1273.
- Seed ve Sun. 1989, EERA A computer program for equivalent linear earthquake site response analyses of latered soil deposits, *University of Southern California Department of Civil Engineering*.
- Selçuk ME, Kılıç H, Özaydın K, 2007, "Kalın Zemin Çökellerinde Eşdeğer-Lineer Ve Nonlinear Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ", *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007.
- Schnabel B, Lysmer J and Seed HB 1972, Shake, A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, College of Engineering, *University of California, Berkeley*, Report Eerc 72-12, Pp. 88.
- Sharma, P.V., 1997, Engineering and Environmental Geophysics, *Cambridge Univ. Pres.*
- Siyahi, B. ve Ansal, A., 1993, in Manual For Zonation On Seismic Geotechnical Hazards, *Published By Japanese Society Of Soil Mechanics And Foundation Engineering*.
- Stokoe, K.H. Hoar, R.J., 1978; Generation and measurement of shear waves in situ dynamic geotechnical testing, ASTM STP 654, ASTM, 3-39.

- Stokoe, K.H., Roeset, J.M., Bierschwalle, J.G., Aouad, M., 1988, Liquefaction potential of sands from shear wave velocity, *Proceedings, 9nd World Conference on Earthquake*, Vol.13 pp213-218.
- Şafak, E., 2001, Local site effects and dynamic soil behavior, *Soil dynamics and earthquake engineering*, vol. 21, no 5 , pp. 453-458.
- Şengör, A.M.C., 1980, Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye jeoloji Kurumu, Konferans serisi:2*.
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., and Jackson, J, 1991, Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian fault zone (Turkey), *Geophys. J. Int.*, 106, 537-550.
- Tokimatsu, K., Seed, H.B., 1984, Simplified procedures for the evaluation of settlements in sands due earthquake shaking , report no. UBB/EERC-84/16, *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley*.
- Tonbul, S. ve Sunkar, M., 2008, Batman Şehrinde Yer Seçiminin Jeomorfolojik Özellikler ve Doğal Risk Açısından Değerlendirilmesi, *Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, Çanakkale*, 103-114.
- Tuna, D. 1973, VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu. *TPAO Arama Grubu, Arşiv No.813*.
- Türkunal, S., 1980, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun Jeolojisi, *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, No 08, ANKARA*.
- Vucetic M, Dobry R 1991, "Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response", *Journal of Geotechnic Engineering*, ASCE, Vol.117, No.1, pp 89 -107.
- Xia J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Estimation of near- surface velocity by inversion of Rayleigh waves: *Geophysics*, v. 64, p. 691-700.
- Ward, S.H., 1990, *Geotechnical and Environmental Geophysics*, Vol I-II-III, SEG Pub., USA.
- Wood, H.O., 1908, Distrubution of apparent intensity in San Fransisco, in the California earthquake of April 18, 1906, "*Report of State Earthquake Investigations Commison, Carnegie Institute of Washington, D.C.*, Vol.1 pp.220-245.

Yamazaki, F., 2003, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Lecture Notes, <http://www.sce.ait.ac.th/people/faculty/~yamazaki>.

Yıldırım, A.2003, Gercüş Antiklinali ve Çevresinin Jeomorfolojik Özellikleri, *Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 8 Temmuz-2003*, İstanbul.

Yılmaz, Y., 1982, Amonos dağlarının tektoniği, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1653*, 91 s., Ankara.

Yoshida, N, Iai, S, 1998, Nonlinear Site Response Analysis And Its Evaluation And Prediction, *2nd International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion*, Yokosuka, Japan, pp 71–90.