

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ YAPISAL HASARLARI ÜZERİNDE
YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge ASLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ YAPISAL HASARLARI ÜZERİNDE
YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özge ASLAN
(501121317)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Musaffa Ayşen LAV

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121317 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Özge ASLAN** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ YAPISAL HASARLARI ÜZERİNDE YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Ayşen LAV**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Recep İYİSAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atilla ANSAL
Özyeğin Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **03 Haziran 2015**

Rahmetli anneannem Fatma VAROL'un anısına,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Musaffa Ayşen LAV'a ve tezime sağladıkları katkılardan ötürü değerli hocalarım Prof. Dr. Atilla Ansal ve Prof. Dr. Recep İyisan'a tüm yardımları için teşekkürü bir borç bilirim. Eğitim hayatıma gösterdikleri destek ve anlayıştan ötürü TAV Tepe Akfen İnşaat Ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2015

Özge ASLAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
2. DEPREM DALGALARI VE YEREL ZEMİN TABAKALARININ DEPREM DALGALARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	5
2.1 Deprem Dalgalarının Karakteristik Özellikleri	5
2.1.1 Genlik parametreleri	5
2.1.2 Frekans içeriği parametreleri	6
2.1.3 Deprem Süresi.....	8
2.2 Yerel Zemin Koşullarının Deprem Dalgaları Üzerindeki Etkisi.....	9
2.3 Geçmiş Depremlerdeki Zemin Büyütme Etkileri.....	10
2.3.1 1985 Mexico City’de yapı hasarları ve yerel zemin koşulları ilişkisi.....	11
2.4 Zemin Büyütmesinin Önemi	14
3. ERZİNCAN İLİNE AİT BİLGİLER	21
3.1 Erzincan İli Jeolojik Özellikleri	21
3.2 Erzincan İli Sismolojik Özellikleri.....	23
3.3 13 Mart 1992 Erzincan Depremi ve Oluşan Yapısal Hasarlar	29
3.3.1 Kaydedilen deprem bilgileri.....	29
3.3.2 Deprem sonrası oluşan yapısal hasarların sınıflandırılması.....	31
4. SAHA ÇALIŞMALARI VE DİNAMİK ZEMİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	33
4.1 Saha Çalışmaları.....	33
4.2 Sondaj Lokasyonları Etrafında Hasar Oranlarının Belirlenmesi.....	36
4.3 Analizlerde Kullanılan Zemin Parametrelerinin Tayini	40
4.3.1 Kayma dalgası hızı.....	40
4.3.2 Kayma modülü ve sönüm oranı	42
4.3.3 Birim hacim ağırlık	46
5. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ.....	47
5.1 Analizlerde Kullanılan Shake Programının Özellikleri	47
5.1.1 Shake programı hesap yöntemi	48
5.1.2 Shake programı avantaj ve dezavantajları	53
5.1.3 Shake program girdi ve çıktıları.....	54
5.2 Yüzey Kaydından Anakaya Kaydına Geçiş	61
5.3 Zemin Tabakalarının Davranış Analizleri.....	62
5.3.1 Zemin tabakalarında elde edilen büyütme özellikleri	63
5.3.2 Zemin büyütme özellikleri ile hasar gözlemleri arasındaki ilişki	65
5.3.3 Kayma dalgası hızlarının azaltılması ile elde edilen zemin büyütme özellikleri ve hasar gözlemleri arasındaki ilişki.....	69
5.3.4 Azaltılan kayma dalgası hızlarına göre enerji düzeltmesi mertebesi.....	79

6. SONUÇLAR	81
EKLER.....	87

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

w	: Açısal Frekans
ρ	: Yoğunluk
τ	: Kayma gerilmesi
v_s	: Kayma Dalgası hızı
α	: Empedans oranı
ξ	: Sönüm oranı
η	: Viskozite
γ	: Birim hacim ağırlık
A	: Dalga genliği
B	: Maksimum büyütme
E	: Enerji Akışı
F	: Frekans
G	: Kayma modülü
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
G/G_{max}	: Kayma modülü oranı
G_{sec}	: Sekant kayma modülü
G_{tan}	: Tanjant kayma modülü
M_s	: Yüzey dalgası magnitudü
N	: Yapı kat sayısı
T	: Periyod
T_p	: Hakim periyod
S_a	: Spektral ivme
S_v	: Spektral hız
S_d	: Spektral yer değiştirme
D-B	: Doğu-Batı
PHA	: Maksimum yatay ivme
SPT-N	: Standard penetrasyon deneyi darbe sayısı
SDOF	: Tek serbestlik dereceli sistem
SCT	: Secretary of Communication and Transportation
UNAM	: Universidad Nacional Autonoma de Mexico

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Jeolojik birimler ve rölatif büyütme faktörü arasındaki ilişki (TC4 of ISSMFE, 1993).	17
Çizelge 2.2 : Kayma dalgası hızlarına göre zeminlerin sismik büyütme potansiyelleri (Finn, 1993).	18
Çizelge 3.1 : Tarihi Erzincan Depremleri (Akyıldırım, 1993; Şengezer, 1999; Şaylan, 2006).	27
Çizelge 3.2 : Erzincan havzası ve çevresinde 1939'dan sonra meydana gelen depremler (Şaylan, 2006).	28
Çizelge 3.3 : Erzincan ve çevresi için deprem tehlikesi % olarak (Gençoğlu ve diğ, 1990)	29
Çizelge 3.4 : 13 Mart 1992 Erzincan Depremi hasar dağılımları (Şengezer, 1999)..	32
Çizelge 3.5 : 13 Mart 1992 Erzincan Depremi hasar verileri değerlendirmesinde ortalama hasar hesap yöntemi (Şengezer, 1999).	32
Çizelge 4.1 : Sondaj Derinlikleri.	34
Çizelge 4.2 : Sondaj Lokasyonlarına göre yapı hasar oranları.	37
Çizelge 4.3 : SPT-N ve kayma dalgası hızı arasındaki mevcut korelasyonlar (Thaker ve Rao, 2011).	41
Çizelge 5.1 : SHAKE programı komutları (Schnabel ve diğ, 1972).	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Geçici yüklerin yapay bir hareketsiz bölge tanımlanarak hareketin T_f periyodunda kendini tekrar etmesi (Kramer, 1996).	6
Şekil 2.2: Frekans içerikleri farklı, hakim periyotları aynı olan iki Fourier genlik spektrumu (Kramer, 1996).	7
Şekil 2.3 : Davranış spektrumu (Kramer, 1996).	8
Şekil 2.4 : 1957 San Francisco depreminde 6.4km’lik hat boyunca spektral ivme, spektral hız ve maksimum yatay ivmenin değişimi (Idriss ve Seed, 1968).	11
Şekil 2.5 : (a) Mexico City’deki ivme ölçer cihazlarının konumu (b) Bölgedeki zemin kalınlıkları (Stone ve diğ, 1987).	12
Şekil 2.6 : UNAM ve SCT istasyonlarında kaydedilen ivme zaman grafikleri (Stone ve diğ, 1987).	13
Şekil 2.7 : UNAM ve SCT sahalarında tepki spektrumları (Romo ve Seed, 1986). .	13
Şekil 2.8 : Anakaya üzerindeki iki hipotetik zemin profili; (a) A sahası, (b) B sahası (Kramer, 1996).	14
Şekil 2.9 : A ve B sahasının amplifikasyon fonksiyonları (Kramer, 1996).	14
Şekil 2.10: Zemin büyütmesini etkileyen faktörler (Şafak, 2001).	15
Şekil 2.11 : Örnek zemin ve kaya parametreleri kullanılarak, iki farklı sönüm oranı için çizdirilen büyütme fonksiyonları (Yalçınkaya, 2010).	19
Şekil 3.1 : Erzincan ve yakın çevresinin yüzeyaltı jeoloji haritası (Öztaş, 1993).	22
Şekil 3.2 : Erzincan ovası çevresindeki birimlerin ilişkilerini gösteren taslak jeoloji enine kesiti (Tüysüz, 1993).	23
Şekil 3.3: Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (URL-2, 2015).	24
Şekil 3.4 : Erzincan İli Deprem ve Fay Hattı Haritası (URL-2, 2015).	24
Şekil 3.5 : Erzincan Ovası içerisindeki ana fay sistemleri (Tüysüz, 1993).	25
Şekil 3.6 : Kuzey Anadolu Fay Zonu (Demir, 2011).	26
Şekil 3.7 : Erzincan tarihsel depremlerinin zaman içindeki dağılımı (Yılmaz ve İravul, 1993).	28
Şekil 3.8 : 13 Mart 1992 Erzincan Depremi D-B bileşeni ivme-zaman grafiği.	30
Şekil 3.9 : 13 Mart 1992 Erzincan depremi şiddet haritası (Kurtuluş, 1993).	30
Şekil 4.1 : Erzincan İli sondaj planı (Lav, 1994).	35
Şekil 4.2 : 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası Erzincan İli hasar dağılım planı (Lav, 1994).	39
Şekil 4.3 : Sekant kayma modülü; G_{sec} , ve tanjant kayma modülü, G_{tan} (Kramer, 1996).	42
Şekil 4.4 : Maksimum ve Sekant kayma modülleri (Okur ve Ansal, 2009).	44
Şekil 4.5 : Kayma modülü azalım eğrisi (Kramer, 1996).	44
Şekil 4.6 : Kil ve kumlar için kayma modülü oranının birim kayma deformasyonuna bağlı değişimi.	45
Şekil 4.7 : Sönüm oranının birim kayma deformasyonuna bağlı değişimi, kil ve kumlar için.	46
Şekil 5.1 : SHAKE programı bir boyutlu sistemi (Schnabel ve diğ, 1972).	47
Şekil 5.2 : Lineer elastik zemin davranışı (URL-4, 2015).	48
Şekil 5.3 : Nonlineer elastik ve nonlineer elastik olmayan zemin davranışları (URL-4, 2015).	49

Şekil 5.4 : Laboratuvar çalışmasında kil için elde edilen kayma gerilmesi birim şekil değiştirme eğrisi (Okur ve diğ, 2007).	49
Şekil 5.5 : Zemin dinamik özelliklerini belirleme işlemleri (Yoshida ve Iai, 1998).	50
Şekil 5.6 : Zeminde oluşan elastik ve viskoz gerilmeler (Kramer, 1996).	51
Şekil 5.7 : Eşdeğer lineer analizde, kayma deformasyonu ile uyumlu kayma modülü ve sönüm oranının iterasyon ile bulunması (Kramer, 1996).	52
Şekil 5.8 : Lineer olmayan analiz ile elde edilen spektral ivme değerlerinin karşılaştırılması (Arslan ve Siyahi, 2006)	54
Şekil 5.9 : SHAKE programına deprem kaydının tanıtılması.	56
Şekil 5.10 : SHAKE programına zemin profilinin tanıtılması.....	57
Şekil 5.11 : SHAKE programında zemin tabakalarındaki hareketin hesaplatılması.	58
Şekil 5.12 : SHAKE programına kayma modülü ve sönüm oranlarının tanıtılması..	59
Şekil 5.13 : SHAKE programında davranış spektrumlarının hesaplatılması.....	60
Şekil 5.14 : SHAKE programında davranış spektrumlarının hesaplatılması.....	60
Şekil 5.15 : Zemin transfer fonksiyonunun filtre sistemi olarak şematik gösterimi (Yalçinkaya, 2004)	61
Şekil 5.16 : 13 Mart 1992 Erzincan depremi yüzey kaydının zemin büyütme etkilerinden arındırılması ile elde edilen anakaya Fourier spektrumu. ...	62
Şekil 5.17 : ODTÜ S3 profili için anakaya ve yüzeyde hesaplanan Fourier genlik spektrumları ve amplifikasyon fonksiyonu.	64
Şekil 5.18 : ODTÜ S3 Profili için %5 ve %10 yapısal sönüm oranlarına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.	65
Şekil 5.19: Hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri arasındaki ilişki.	67
Şekil 5.20 : Hasar oranları ile periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasındaki ilişki.	68
Şekil 5.21 : ODTÜ S4 zemin amplifikasyon fonksiyonları.	70
Şekil 5.22 : ODTÜ S3 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.	71
Şekil 5.23 : %20 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.	72
Şekil 5.24 : %20 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı spektral ivme değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.....	73
Şekil 5.25: %40 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.	74
Şekil 5.26 : %40 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı spektral ivme değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.....	75
Şekil 5.27 : Hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri arasındaki güçlendirilmiş ilişki.	77
Şekil 5.28 : Hasar oranları ile periyoda bağlı spektral ivme değeleri arasındaki güçlendirilmiş ilişki.	78
Şekil 5.29 : ODTÜ S18 sondajı kayma dalgası hızı profili	80

13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ YAPISAL HASARLARI ÜZERİNDE YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ

ÖZET

Depremler esnasında yapısal hasarların oluşmasına neden olan en önemli faktörlerden biri, yerel zemin koşullarının gelen deprem dalgaları üzerinde yarattığı etkilerdir. Deprem dalgaları anakayadan yüzeye doğru yayılımları esnasında içinden geçtikleri zemin ortamının özelliklerinden etkilenmekte ve depremin genlik, frekans içerikleri ve süresinde değişimler gözlenmektedir. Yerel zemin koşullarının deprem hasarları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, yaşanacak olası depremlerin hasarlarının azaltılmasında büyük rol oynamaktadır.

Erzincan birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. 13 Mart 1992 tarihinde Erzincan'da yaşanan 6.8 (Ms) büyüklüğündeki deprem, ciddi can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Bu çalışmada, 13 Mart 1992 Erzincan depremi sebebiyle yapılarda oluşan hasarlar üzerinde yerel zemin koşullarının etkisi incelenmiştir.

13 Mart 1992 Erzincan depremi sırasında zemin yüzeyinden alınan deprem ivme kaydı kullanılarak yerel zemin tabakalarının deprem dalgaları üzerinde yarattığı büyütme etkisi incelenmiştir. Deprem kaydı zemin yüzeyinden alınmış bir kayıt olması sebebi ile bu kayıt; zemin profilinin gösterdiği filtreleme etkilerini de taşımaktadır. Öncelikle bu etkilerin deprem kaydından silinmesi, bir başka deyişle, yüzey kaydının kaydın alındığı noktadaki zemin tabakalarının büyütme etkilerinden arındırılması ve anakaya kabul edilebilecek sağlam tabaka derinliğine indirilmesi gerekmektedir. Bu işlem, eşdeğer lineer analiz yöntemine dayanan SHAKE programı kullanılarak yapılmıştır.

Sağlam tabaka seviyesi için hesaplanan ivme - zaman değerleri kullanılarak diğer tüm zemin profillerinin davranışları analiz edilmiştir. Bu işlemler SHAKE programı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin sonucunda her bir zemin profili için, zeminin deprem dalgaları üzerindeki büyütme etkisini yansıtan transfer fonksiyonları ve 0.05 ve 0.10 yapısal sönüm oranları için ivme spektrumları elde edilmiştir. Bu değerlerden yararlanılarak her bir zemin profili etrafındaki 250m çapındaki alan içerisinde kalan yapıların hasar durumlarını ifade eden hasar oranları ile yapı hakim periyoduna bağlı zemin amplifikasyon faktörleri ve spektral ivme değerleri arasındaki ilişki ortaya çıkarılmıştır. Yapı hasar oranları ile yapı hakim periyoduna bağlı zemin amplifikasyon değerleri arasında elde edilen doğrusal ilişkinin korelasyon katsayısı %65, yapı hasar oranları ile periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasındaki, lineer yaklaşımın temsil gücü ise, %70 olarak bulunmuştur.

Elde edilen bu ilişkilerin SPT-N profillerine bağlı olarak hesaplanan kayma dalgası hızlarının azaltılmasıyla (enerji düzeltmelerinin ortamın rijitliğini azaltıcı etkisini temsil etmek üzere) güçlenip güçlenmeyeceği araştırılmıştır. Bu amaçla, kayma dalgası hızları doğrudan %20 ve %40 oranında azaltılarak zemin davranış analizleri tekrar edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen, yapı periyoduna bağlı

zemin büyütme değerleri ve spektral ivme değerleri ile yapı hasar oranları arasındaki ilişkinin güçlenmediği görülmüştür. Fakat, yapı hasar oranları ile zemin büyütme değerleri arasındaki ilişkiler incelenirken, zemin profillerinin farklı kayma dalgası hızları azaltma mertebelerine göre (%0, %20 ve %40) ilişkiyi kuvvetlendirebileceği görülmüştür. Buradan yola çıkılarak, her bir zemin profili için kendi içerisinde bağımlı, fakat diğer zemin profillerinden bağımsız kayma dalgası hızı azaltma oranları kullanılmış ve yerel zemin koşulları ile yapı hasar oranları arasındaki ilişki tekrar değerlendirilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar neticesinde, yapı hakim periyoduna bağlı zemin amplifikasyon değerleri ile yapı hasar oranları arasındaki lineer ilişkinin korelasyon katsayısı %65'ten %80'e yükseltilebilmiştir. Yapı hakim periyoduna bağlı spektral ivme ile yapı hasar oranları arasındaki lineer yaklaşımın temsil gücü ise %70'ten %78'e yükseltilebilmiştir.

EFFECTS OF LOCAL SITE CONDITIONS ON STRUCTURAL DAMAGES OF MARCH 13, 1992 ERZINCAN EARTHQUAKE

SUMMARY

One of the most important reasons that cause damages during earthquake is the effects of local site conditions on earthquake. An earthquake can be characterized with defining the amplitude, frequency content and the duration of the earthquake. However, the characteristic parameters of an earthquake are changed by the local site conditions where the earthquake waves passed inside. These variations on the amplitude, frequency content and duration of the earthquake can be seen as amplification caused by the local site conditions. Defining the effects of local site conditions on damage of earthquake has an important role to decrease the damage of further possible earthquakes.

In this study, the effects of local site conditions on the structural damages caused by March 13, 1992 Erzincan earthquake are investigated. March 13, 1992 Erzincan earthquake with magnitude of 6.8 (Ms) caused serious loss of life and property. The maximum horizontal acceleration of the earthquake was 0.49g and it was recorded in the east-west component of the earthquake.

The general soil profile of Erzincan is composed of alluvial soils. The thickness of the alluvial layers varies up to hundreds of meters. In order to define a reliable relation between the structural damages and the local site conditions, the damaged structures should be associated with the dynamic soil properties where the structures were constructed. Thus, circular areas with 250m diameter are drawn around the location of each borehole drilled in Erzincan after March 13, 1992 Erzincan earthquake, and the structural damages inside the circular areas are associated with the soil amplification properties which are obtained from the representative borehole of the circular areas. The structural damage ratios are calculated depending on the importance of the damages. The structural damages are divided into three categories: minor, medium, major damages. A damage coefficient is defined for each category depending on the cost of repairment of the damages. In this study, the damages occurred on only reinforced concrete structures are considered.

To predict soil amplification properties and total earthquake-site-structure response, a widely accepted solution technique, which depends on theory of one dimensional wave propagation in horizontally layered, linear viscoelastic medium, called SHAKE is used for the analysis.

The soil amplification properties are analyzed depending on the east-west component of March 13, 1992 Erzincan earthquake. However, the earthquake was recorded from the soil surface, therefore the record includes the amplification factor of the soil profile. Thus, deconvolution was done on the earthquake record in order to cleanse the soil effects and obtain the earthquake record on a rigid layer. The depth of the rigid layer is considered as 50m. After deconvolution process, the new record is applied to other soil profiles as ground motion in order to analyze the response of the

soil layers. Soil response analysis was done by using SHAKE program. Soil amplification (transfer) functions and acceleration spectrums for %0.5 and %10 structural damping ratios are calculated.

The relations between structural damage ratios and period dependent soil amplification functions and period dependent spectral acceleration values are investigated. Period dependent soil amplification values represents the amplification (transfer function) value corresponds to natural period of the structure, where the period dependent spectral acceleration value corresponds to natural period of the structure. Period dependent amplification and period dependent spectral acceleration values are matched with the structural damage ratios. The coefficient of a linear relationship between period dependent soil amplification values and structural damage ratios is obtained as 35%. The non-uniform structural damages show the importance of non-uniform structural defects. In order to decrease the effect of structural defects, the structural damage ratios calculated by only considering one structure observation and two structures observation are eliminated, and therefore, the relation between period dependent soil amplification values and damage ratios is found as 65%. The representing strength of a linear approach between period dependent spectral acceleration values and structural damage ratios is obtained as 70% by decreasing the effects of structural defects.

The relations between the soil amplification properties and structural damages are not found as strong enough. It can be seen that the other factors except the soil amplification properties have also effects on the structural damages. The other factors can be given as following;

- non-uniform structural defects,
- possibility of predominant earthquake properties near the epicenter of earthquake,
- possibility of increasement in the structure periods,
- conservative results of SHAKE analysis,
- uncertainty of the conversions between the SPT-N values and shear wave velocities and idealization of the soil profiles.

It is expected that considering the energy correction on SPT-N values will increase the relation between the soil amplification properties and structural damage ratios. The shear wave velocities are decreased as 20% and 40% to reflect the rigidity reduction effect of energy corrections. The analyses were repeated as per the decreased shear wave velocities and the soil amplification properties are obtained. However, it is seen that the relation between the structural damage ratios and period dependent soil amplification and spectral acceleration values are not increased as expected.

During the analysis with decreased shear wave velocities, it is observed that the soil profiles do not give the same response for the relations by using equally decreased shear wave velocities. Some of the soil profiles strengths the relation between the soil amplification properties and structural damage ratios by using the results of 20% decreased shear wave velocities, while the others strengths the relation with 40% decreased shear wave velocities or maximum (0% decreased shear wave velocities). Depending on this observation, the relation between the soil amplification properties and structural damages are re-evaluated by using the shear wave velocities which are calculated (decreased) independently from the other soil profiles but decreased with the same ratio along the soil profile. As the result of analysis, the relation between the structural damages and soil amplification effects has been strengthened. The

coefficient of a linear relation between period dependent soil amplification values and structural damage ratios is obtained as 80% (obtained previously as 65%). The representing strength of a linear approach between period dependent spectral acceleration values and structural damage ratios is obtained as 78% (obtained previously as 70%).

Depending on the above observation, it can be said that the energy correction of SPT-N values might change for each borehole.

The energy correction of the SPT-N values is calculated by converting the decreased shear wave velocities to corrected SPT-N values. It is calculated that energy correction coefficient of the boreholes varies between 1.0 and 0.40.

Although the structural damages are influenced significantly from the other effects such as earthquake properties and structural defects, a strong relation between the local soil conditions and structural damages are obtained by decreasing the other effects as much as possible.

In summary, the amplification properties of the soil layers predicted by taking into account the effect of March 13, 1992 Erzincan earthquake are associated with the structural damages occurred during this earthquake. As a result of the analysis, the relation between the structural damage ratio and period dependent soil amplification is obtained as 80%, and the representing strength of a linear approach between period dependent spectral acceleration values and structural damage ratios is obtained as 78%.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi, ülkemizde de depremler; ciddi can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Doğal bir afet olan depremlerin oluşumunu engellemek mümkün olmayıp, özellikle deprem tehlikesi yüksek olan ülkelerde, deprem ile nasıl yaşanılacağına öğrenilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu bilinç ile yapılan araştırmalar sonucunda, depremlerin yıkıcı etkilerinden olabildiğince korunulabileceği ve hasarın en aza indirgenebileceği görülmektedir.

Deprem sonrasında gözlenen yapı hasarları; ilk olarak yapı inşaat aşamasından kaynaklanan yapısal kusurlarını akla getirirse de, yerel zemin koşulları da depremin yapılar üzerinde neden olduğu hasarı büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, yapıların depreme dayanıklı tasarımında, olası deprem özellikleri ve yerel zemin koşulları dikkatle analiz edilmelidir.

Deprem dalgaları ve bu dalgaların içinden geçtiği zemin tabakaları arasında iki yönlü etki mevcuttur. Deprem dalgaları, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini etkilerken, zemin tabakaları da içinden geçen deprem dalgalarının karakteristik özelliklerini (deprem dalgalarının genliğini, frekans içeriğini ve depremin süresini) etkilemektedir. Zemin tabakalarının deprem dalgaları üzerinde yarattığı bu etki, genellikle deprem dalgalarının büyümesine, en büyük yatay ivme ve hakim periyotların artmasına sebep olmaktadır.

Kentleşmenin kaçınılmaz bir sonucu olarak yapılaşmaların önemli ölçüde arttığı bölgelerde, yerel zemin koşulları ile deprem sebebiyle oluşan yapı hasarları arasındaki ilişkinin doğru şekilde değerlendirilmesi ve bu ilişkinin yapılaşma süreçlerinde dikkate alınması, bölgede yaşanacak olası depremlerin daha az can ve mal kaybı ile atlatılmasına büyük ölçüde destek sağlayacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, yerel zemin koşullarının deprem hasarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. İnceleme alanı Erzincan İli'dir. Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Erzincan İli'nde, 13 Mart 1992 tarihinde meydana gelen 6.8 (Ms) magnitüdündeki depremin ardından, yapılarda gözlenmiş hasar kayıtları üzerinde, yerel zemin koşullarının etkisi analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışma, yapı hasar oranları ile periyoda bağlı zemin amplifikasyon faktörleri ve periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Yapı periyoduna bağlı veya kısaca periyoda bağlı amplifikasyon, yapı hakim periyoduna karşı gelen transfer fonksiyonu değerini ifade etmektedir. Benzer şekilde yapı periyoduna bağlı spektral ivme veya kısaca periyoda bağlı spektral ivme, yapı hakim periyoduna karşı gelen spektral ivme değerini ifade etmektedir.

İlgili analizlerin yapılabilmesi için; 13 Mart 1992 Erzincan depreminin, zemin yüzeyinde alınan deprem ivme kaydı, deprem sonrasında İTÜ (1992) ve ODTÜ (1992) tarafından yapılan geoteknik incelemeler ve Ansal ve diğ. (1992) ile Şengezer (1993) tarafından yapıların hasar durumuna ilişkin elde edilen bilgiler çalışmaya temel olarak alınmıştır.

Deprem kaydının zemin yüzeyinde alınmış olması sebebi ile eldeki bu kaydın öncelikle zeminin yarattığı amplifikasyon etkilerinden arındırılması gerektiği bilinmektedir. Deprem esnasında, zemin yüzeyinde alınan deprem kaydından zemin etkileri silinerek (dekonvolüsyon), ana kaya olarak kabul edilebilecek bir kayıt hesaplamak için, daha sağlam zemin tabakalarına indirilmiştir. Bu işlem eşdeğer lineer analiz yöntemine dayanan SHAKE programı ile yapılmıştır.

Sağlam zemin tabakasına indirilen deprem kaydı ile geoteknik incelemeler esnasında yapılan sondajlarla belirlenen zemin profilleri SHAKE programı kullanılarak analiz edilmiş ve zemin amplifikasyon fonksiyonları ile %5 ve %10 yapısal sönüm oranına göre ivme davranış spektrumları elde edilmiştir. Sondaj profilleri etrafında 250m çapındaki dairesel alandaki betonarme yapılar için hesaplanan hasar oranları ile periyoda bağlı zemin amplifikasyon faktörleri ve spektral ivme değerleri arasındaki lineer ilişkiler araştırılmıştır.

Zemin amplifikasyon özellikleri ve yapı hasar oranları arasındaki ilişki değerlendirilirken, birçok belirsizlik ile karşı karşıya kalınmaktadır. Yapı inşaat

aşamasından kaynaklı kusurlar, kuvvetli depremler sırasında yapı hakim periyotlarının bir miktar uzama gösterebilmesinin yarattığı belirsizlikler, SHAKE programının muhafazakar tarafta kalan sonuçları, SPT-N değerlerinin kayma dalgası hızlarına dönüştürülmesi bu belirsizliklerin başında gelmektedir. Çalışma alanında yapılan sondajlardan elde edilen SPT-N değerleri üzerinde enerji düzeltmelerinin etkisinin temsil edilmesi ile, zemin profillerinin dinamik davranış özellikleri ve hasar oranları arasındaki ilişkilerin güçlenip güçlenmeyeceği araştırılmıştır. Bu amaçla, hazır SHAKE data dosyaları kullanılarak kayma dalgası hızları doğrudan %20, %40 mertebelerinde azaltılmıştır. Dinamik analizler, azaltılan kayma dalgası hızlarına göre tekrar edilmiştir.

Yapılan çalışma, hazırlanan bu tezde detaylı bir şekilde sunulmakta olup, çeşitli bölümlerde ele alınan konular aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Deprem dalgalarının karakteristik özellikleri ve yerel zemin tabakalarının deprem dalgaları üzerinde yarattığı etkilerin bilinmesi, geoteknik deprem çalışmalarının temelini oluşturmakta olup, konuya ilişkin açıklamalar Bölüm-2’de verilmiştir.

Erzincan İli’ne ait jeolojik, sismolojik özellikler ve 13 Mart 1992 Erzincan depremine ait bilgiler Bölüm-3’te sunulmaktadır. Deprem esnasında yapılarda oluşan hasarlar, hasarın büyüklüğüne bağlı olarak belirli kategorilerde toplanmakta olup, yeniden yapım maliyetleri de dikkate alınarak sınıflanmakta ve yapı hasar oranları buna bağlı olarak belirlenmektedir. Konuyla ilgili detaylı bilgiler, Bölüm-3’te açıklanmaktadır.

13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrasında yapılan geoteknik araştırmalar, sondajlara ilişkin bilgiler, sondajlardan elde edilen zemin profilleri ve analizlerde kullanılan zemin parametrelerinin belirlenmesi Bölüm-4’te detaylandırılmıştır.

Elde edilen zemin parametreleri doğrultusunda, zemin yüzeyinde alınan deprem kaydından anakaya kaydına geçiş, zemin davranış analizleri ve yapı hasarları ile zemin büyütme özellikleri arasındaki ilişkiler 5. Bölüm’de sunulmaktadır.

Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar ve ileride konu ile ilgili yapılacak çalışmalara yönelik öneriler ise, 6. Bölüm’de yer almaktadır.

2. DEPREM DALGALARI VE YEREL ZEMİN TABAKALARININ DEPREM DALGALARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

2.1 Deprem Dalgalarının Karakteristik Özellikleri

Yeryüzü devamlı olarak hareket halindedir, oluşan bu titreşimlerin periyodu milisaniyeden günlere, genlikleri ise, nanometrelerden metrelere kadar değişmektedir. Bu titreşimlerin büyük çoğunluğu çok zayıf olduğu için hissedilmemektedir. Yapılar üzerinde hasara sebep olan ve esas incelenmesi gerekenler ise, kuvvetli yer hareketleridir. Depremlerin oluşturduğu etkileri inceleyebilmek için, bu kuvvetli yer hareketinin niceliksel olarak tanımlanması, depremin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Kramer, 1996).

Bir deprem hareketini tanımlayan karakteristik özellikler aşağıdaki gibidir;

- Genlik
- Frekans içeriği
- Deprem süresi

Yukarıda belirtilen özelliklere ait parametrelerin tanımlanması ile deprem kaydı niceliksel bir anlam kazanabilmektedir.

2.1.1 Genlik parametreleri

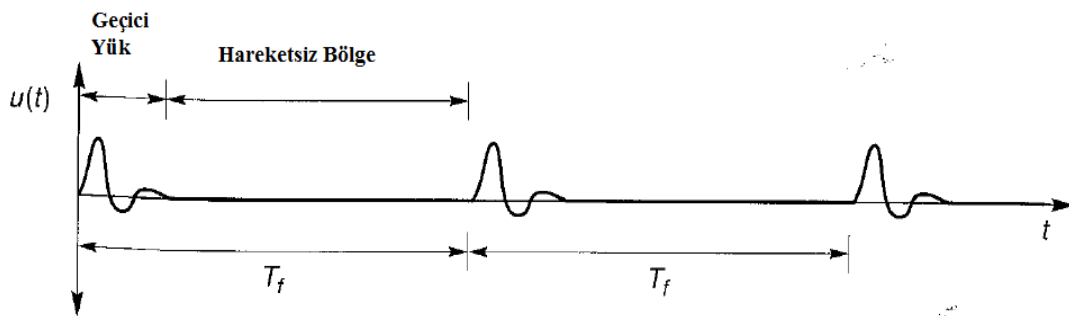
Deprem kayıtları, genellikle, ivme, hız ve yer değiştirme değerlerinin zamana bağlı değişimi gösterilerek tanımlanmaktadır. İvme, hız veya yer değiştirmenin herhangi birinin zamana bağlı değişiminin deprem esnasında kayıt edilmesinin ardından, diğerleri integrasyon yapılarak ve /veya türevi hesaplanarak elde edilebilmektedir. Yaygın olarak kullanılan genlik parametresi maksimum yatay ivme (PHA) olup, maksimum yatay hız da kullanılmaktadır. Maksimum yatay ivme değeri yüksek olan depremler, maksimum yatay ivme değeri daha küçük olan depremlere göre genellikle daha yıkıcıdır. Fakat bir depremin yıkıcı olup olmadığı sadece maksimum yatay ivme değerinin büyüklüğüne göre belirlenememektedir. Kısa bir süre zarfında sona eren maksimum yatay ivmeler, yapılar üzerinde az hasara sebep olmaktadır.

Dolayısıyla depremlerin hasar etkileri, depremin genlik parametrelerinin, frekans içeriğinin ve süresinin birlikte dikkate alınması ile değerlendirilmelidir. Orta frekans düzeyinde yüklemeye hassasiyet gösteren yapılarda hasar potansiyeli, maksimum yatay hız değerleri ile daha hassas şekilde ortaya konabilmektedir. Maksimum yer değiştirme ise, deprem kaydının düşük frekans içerikli bileşenleri ile ilişkili olup, hassas şekilde belirlenmesi genellikle zordur (Kramer, 1996). Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde deprem kaydının yatay ivme değerleri kullanılmıştır.

2.1.2 Frekans içeriği parametreleri

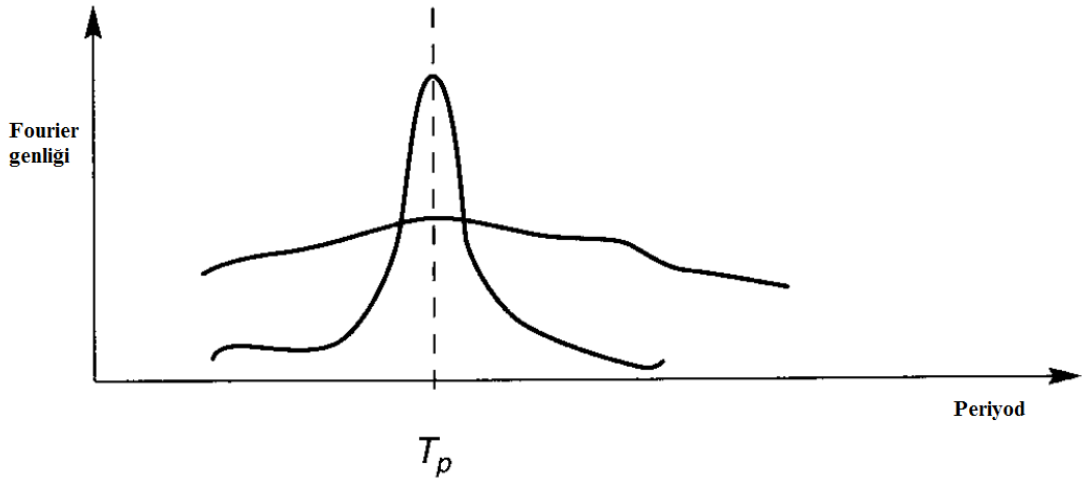
Frekans içeriği; deprem genliğinin farklı frekanslar boyunca nasıl dağıldığını göstermektedir. Depremin frekans içeriğinin, depremin yaratacağı etkiler üzerinde önemli bir belirleyici özelliği vardır. Bu sebeple deprem kaydının frekans içeriği dikkate alınmadan, o kaydın özelliklerinin tanımlanması tamamlanmış sayılamaz (Kramer, 1996).

Belli bir aralıkta kendini tekrar eden fonksiyonlar, periyodik fonksiyonlar olarak anılmaktadır. Bu fonksiyonlar, Fourier analizleri kullanılarak farklı frekans, genlik ve fazlardaki basit harmonik hareket serilerinin toplamı olacak şekilde tanımlanabilmektedir. Zaman tanım alanında gözlenmiş verilerin frekans tanım alanına aktarılması ile elde edilen bu verilere spektrum denmektedir. Periyodik olmayan yükler ise, deprem yükleri gibi belli bir zaman aralığında kendini tekrar etmeyen geçici yüklerdir. Periyodik olmayan bu geçici yükler de, Şekil 2.1’de gösterildiği üzere, belli bir hareketsiz süreden sonra kendini tekrar edeceği kabul edilerek, periyodik hareket olarak gösterilebilmekte ve böylelikle Fourier dönüşümleri yapılabilmektedir (Kramer, 1996).



Şekil 2.1 : Geçici yüklerin yapay bir hareketsiz bölge tanımlanarak hareketin T_f periyodunda kendini tekrar etmesi (Kramer, 1996).

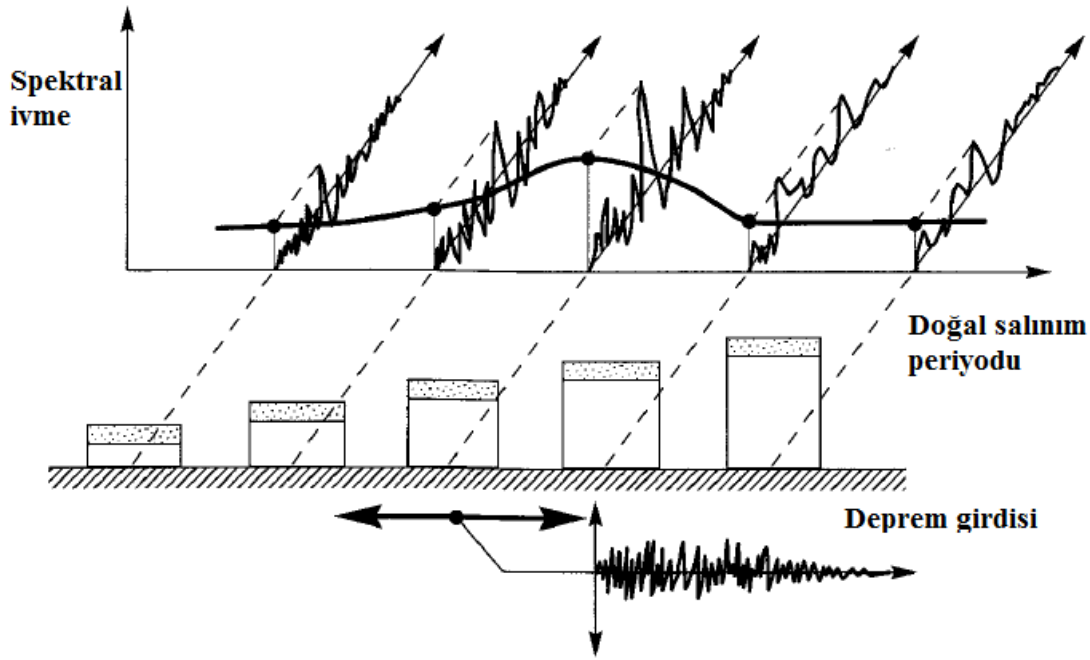
Fourier genlik değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimini gösteren çizimler, Fourier genlik spektrumu olarak adlandırılmaktadır. Fourier genlik spektrumları, geniş veya daha dar olabilir. Dar bir spektrum, deprem hareketinin baskın bir frekansa sahip olduğunu ve sinüzoidal zaman grafiği oluşturduğunu göstermektedir. Geniş bir spektrum ise, hareketin frekansının çeşitlilik gösterdiğini ve zaman tanım alanındaki gösteriminin inişli çıkışlı ve düzensiz olduğunu anlatmaktadır. Fourier genlik spektrumunun haricinde, yer hareketini tanımlamak için; spektral yoğunluğun dağılımını gösteren Power spektrumu da kullanılmaktadır. Spektrumlardan elde edilen parametrelerden en önemlisi hakim periyod, T_p , değeridir. Hakim periyod Fourier genlik spektrumunda maksimum genlik değerine karşılık gelen periyod değeridir. Farklı frekans içeriğine sahip Fourier genlik spektrumlarının hakim periyod değerleri Şekil 2.2’de görüldüğü üzere, aynı değere denk gelebilmektedir (Kramer, 1999).



Şekil 2.2: Frekans içerikleri farklı, hakim periyotları aynı olan iki Fourier genlik spektrumu (Kramer, 1996).

Davranış spektrumu ise, tek serbestlik dereceli bir sistemin (SDOF; Single Degree of Freedom) belirli bir yer hareketi altındaki davranışının, sistemin sönüm oranı ve doğal periyodunun bir fonksiyonu olarak gösterimidir (Şekil 2.3). Davranış spektrumu, Fourier dönüşümü ile harmonik yüklere dönüştürülen her bir periyodik yüke karşı gösterilen davranışların toplanması ile elde edilir. Davranış spektrumu, diğer spektrumlardan farklı olarak, yer hareketi karakteristiklerini dolaylı bir şekilde yansıtır, çünkü davranış tek serbestlik dereceli bir yapı tarafından filtrelenir. Fourier spektrum ve Power spektrum ise doğrudan hareketin kendi frekans içeriğini yansıtmaktadır. Ancak davranış spektrumu, yer hareketinin farklı doğal

periyotlardaki yapılar üzerindeki etkisini yansıtır. Başka bir deyişle davranış spektrumu, çok sayıda farklı yapının maksimum davranışını göstermektedir. Davranış spektrumu ivme, hız ve yer değiştirme şeklinde elde edilebilmektedir. Bu parametrelerin maksimum değerleri, sistemin doğal frekansına ve sönüm oranına bağlı olarak elde edilmektedir. İvme, hız ve yer değiştirme verilerinin maksimum değerleri sırası ile spektral ivme, S_a , spektral hız, S_v , ve spektral yer değiştirme, S_d , olarak adlandırılmaktadır. Spektral ivme değerlerinin sistemlerin doğal salınım frekansına bağlı çizdirilmesi ile davranış spektrumu elde edilmiş olur.



Şekil 2.3 : Davranış spektrumu (Kramer, 1996)

Davranış spektumunu daha net açıklayabilmek için bir sistemin doğal salınım periyodu “0” kabul edilir ise, bu durum; o sistemin rijit olduğu anlamına gelir ve spektral ivme değeri maksimum yatay ivme değerine eşit olacaktır (Kramer, 1996).

2.1.3 Deprem Süresi

Deprem süresi, depremin yarattığı hasarlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir depremin maksimum yatay ivme değeri büyük olsa dahi, süresi kısa olduğunda yapılar üzerinde hasar verici etkisi olmayabilir. Fakat deprem orta derecede yatay ivme değerine sahip olduğu halde süresi uzun ise, yapılar üzerinde yıkıcı bir hasara sebep olabilir (Kramer, 1999).

Depremi süresi, fay hattı boyunca biriken enerjinin açığa çıkması için gereken zaman ile ilişkilidir. Fay kırılma zonu uzadıkça depremin süresi de artmaktadır. Deprem başladığı andan itibaren deprem kaydı alınmaya başlanır ve kayıt gürültü seviyesine inene kadar alınmaya devam eder. Kuvvetli yer hareketinin süresini hesaplayabilmek için ise, belli değerin altındaki ivme değerlerinin dikkate alınmaması gerekir. Bu durum “Sınırlandırılmış Süre” (Bracketed Duration) terimi ile tanımlanmaktadır. Sınırlandırılmış süre belirli bir eşik ivme değerinin (genellikle 0.05 g) ilk ve son aşılması arasındaki geçen süre olarak tanımlanır (Kramer, 1999).

2.2 Yerel Zemin Koşullarının Deprem Dalgaları Üzerindeki Etkisi

Deprem dalgaları ve bu dalgaların içinden geçtiği zemin tabakaları arasında iki yönlü etki mevcuttur. Deprem dalgaları, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini etkilerken, zemin tabakaları da içinden geçen deprem dalgalarının karakteristik özelliklerini, deprem dalgalarının genlik, frekans içeriği ve süresini etkilemektedir.

Tekrarlı yükler altında, gelen yükün genliğine bağlı olarak zemin davranışında farklılıklar gözlenmektedir. Düşük genlikli titreşimlerde zeminde elastik davranış gözlenmektedir. Deprem, patlamalar gibi büyük genlikli tekrarlı yükler altında ise, zeminde plastik şekil değiştirmeler gözlenmektedir. Zeminlerin deprem gibi büyük genlikli tekrarlı yükler altında gösterdiği bu davranış, oluşan yapısal hasarlar üzerinde büyük etkiye sahiptir (Vucetic ve Dobry, 1991; Lav, 1994).

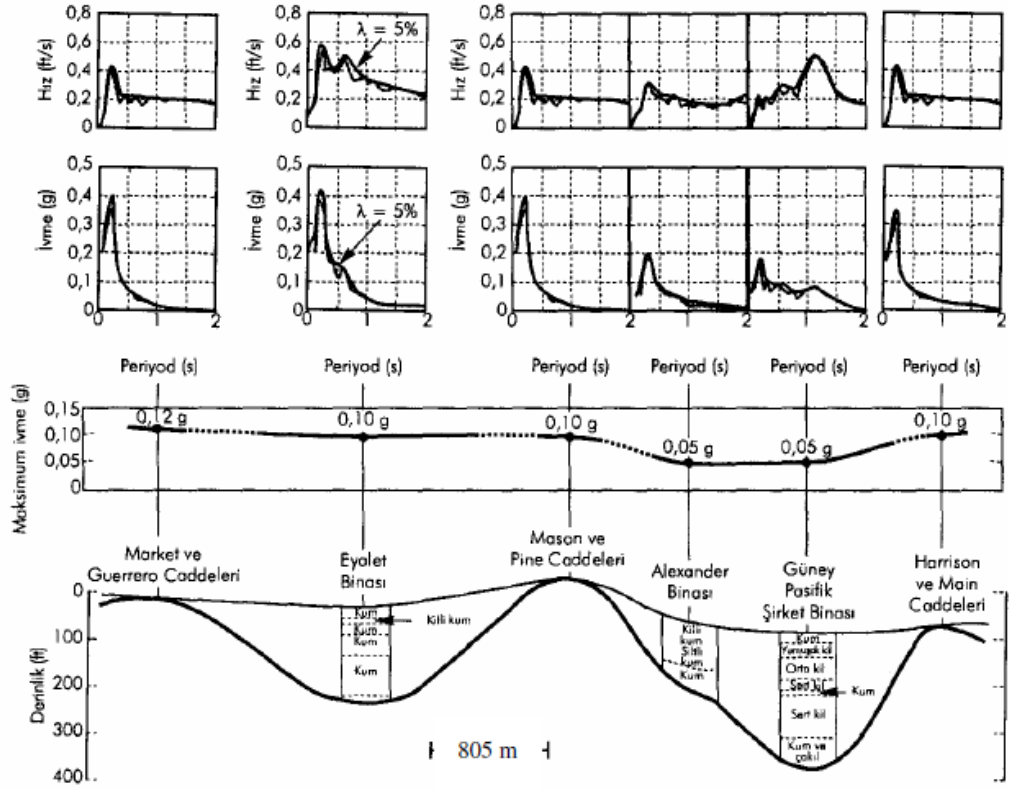
Bir deprem esnasında, kaynaktan çıkan farklı dalgalar, yer içerisinde değişik hızlarda yayılmaktadır. Dalgalar, yeryüzüne eriştiklerinde, saniye veya dakika mertebelerinde süren titreşimler üretmektedir. Oluşan bu titreşimin süresi ve şiddeti; depremin büyüklüğüne, kaynaktan uzaklığına, dalgaların yol aldığı ortamın fiziksel özelliklerine ve dalgaların içinden geçtiği zemin tabakalarının özelliklerine bağlıdır. Anakayadan yeryüzüne doğru hareket eden sismik dalgalar zemin tabakalarına ulaştığında, burada filtrelenirler. Zemin tabakaları deprem dalgaları üzerinde bir süzgeç görevi görüp deprem dalgalarının karakteristik özelliklerini değiştirirler. Bazı frekanslardaki dalgalar söndürülürken, bazıları da büyütülür. Bu değişimlerin tümüne “zemin etkisi” denmekte olup, genellikle bu etki genlikleri artırıcı yönde olduğu için “zemin büyütmesi” olarak da adlandırılmaktadır (Kramer, 1996; Lav, 1994).

2.3 Geçmiş Depremlerdeki Zemin Büyütme Etkileri

Yerel zemin şartlarının yaşanan depremlerin şiddeti üzerindeki etkisi geçmiş dönemlerden bu yana bilinmektedir. MacMurdo (1924), 1819'daki Cutch (Hindistan) depremi ile ilgili olarak “dogrudan kaya üzerine oturtulan yapılardaki hasarın, temeli zemin tabakalarının alt seviyelerine kadar inmeyen yapılardaki kadar olmadığını” belirtmiştir. Mallet (1862) 1857 Napoliten depremine ilişkin raporunda, hasar üzerindeki zemin etkilerini de belirtmiştir. Wood (1908) ve Reid (1910), 1906 San Francisco depremi şiddetinin yerel zemin ve jeolojik koşullarla olan ilişkisini göstermiştir. Günümüzde depremi ölçen cihazların yaygınlaşması ile yerel zemin etkileri daha rahatlıkla ortaya konabilmektedir (Kramer, 1996).

Deprem esnasında farklı bölgelerde ölçülen zemin yüzeyi hareketlerinin karşılaştırılması, yerel zemin koşullarının önemini ortaya koymuştur. 1957 yılında yaşanan $M \approx 5.3$ büyüklüğündeki deprem esnasında, yakınındaki San Francisco'da çeşitli yerlerden yüzey kayıtları incelenmiştir. Şehir boyunca 6.4 km'lik (4 mil) bir hat alınmış ve bu hat boyunca maksimum yatay ivme ve davranış spektrumlarındaki değişimler ortaya konmuştur. Idriss ve Seed (1968)'den sonra yapılan spektral ivme, spektral hız ve maksimum yatay ivme değerlerinin bu hat boyunca değişimi Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Anakayanın yüzeye çıktığı bölgelerde (Market ve Guerrero, Mason ve Pine, Harrison ve Main) yer yüzeyi hareketleri benzerlik gösterirken, derin zemin tabakalarının bulunduğu bölgelerde ise kaydedilen hareketin genlik ve frekans içeriği oldukça farklıdır (Kramer, 1996).

Yerel zemin etkilerinin gözlemlendiği diğer iki önemli deprem; 1985 Michoacan (Meksika) depremi ve 1989 Loma Prieta (California) depremidir. Mexico City'de ve San Francisco körfez bölgesinde çeşitli zemin koşullarından alınan kuvvetli yer hareketi kayıtları, yerel zemin etkilerinin önemini açığa çıkartmıştır (Kramer, 1996).



Şekil 2.4 : 1957 San Francisco depreminde 6.4km'lik hat boyunca spektral ivme, spektral hız ve maksimum yatay ivmenin değişimi (Idriss ve Seed, 1968).

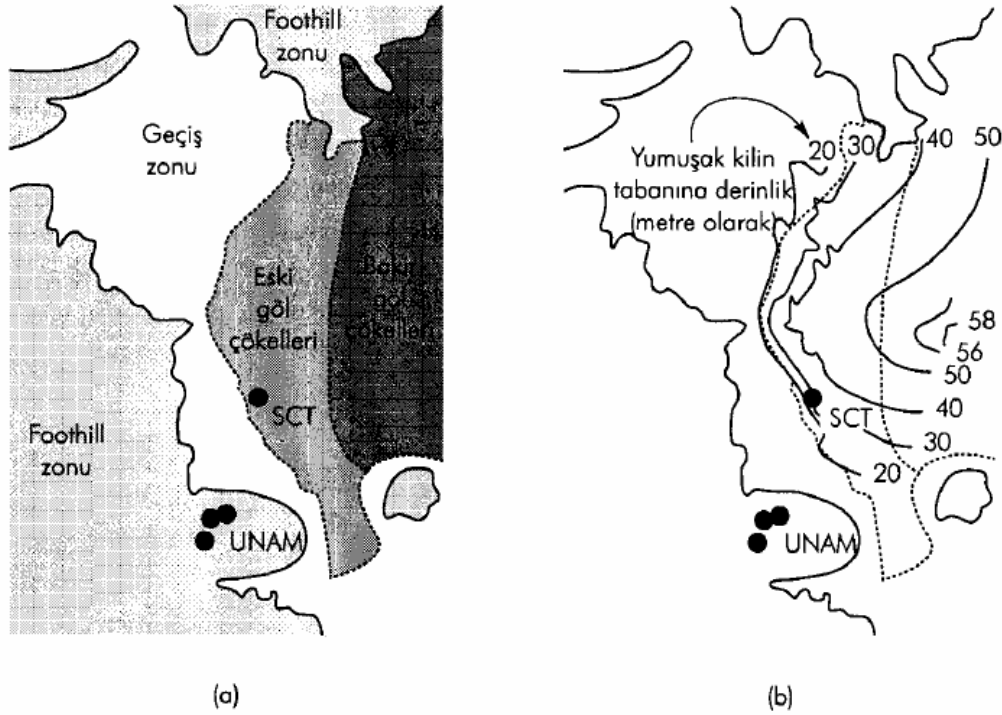
2.3.1 1985 Mexico City'de yapı hasarları ve yerel zemin koşulları ilişkisi

19 Eylül 1985 yılında meydana gelen $M_s=8.1$ büyüklüğündeki Michoacan (Meksika) depreminin merkez üssü yakınlarında orta derecede hasar gözlenmişken, deprem merkezinin 350km uzağındaki Mexico City'de ise ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Mexico City'de yaşanan bu durum, yerel zemin koşulları ile yapı hasarları arasındaki ilişkiyi gözler önüne sermiştir (Kramer, 1996).

Bu tez kapsamında yerel zemin koşulları ve yapı hasarları arasındaki ilişkiyi göstermek üzere yapılan çalışmanın metodu ve yaklaşımları, Mexico City için yapılan çalışma yöntemi ile benzerlik göstermektedir.

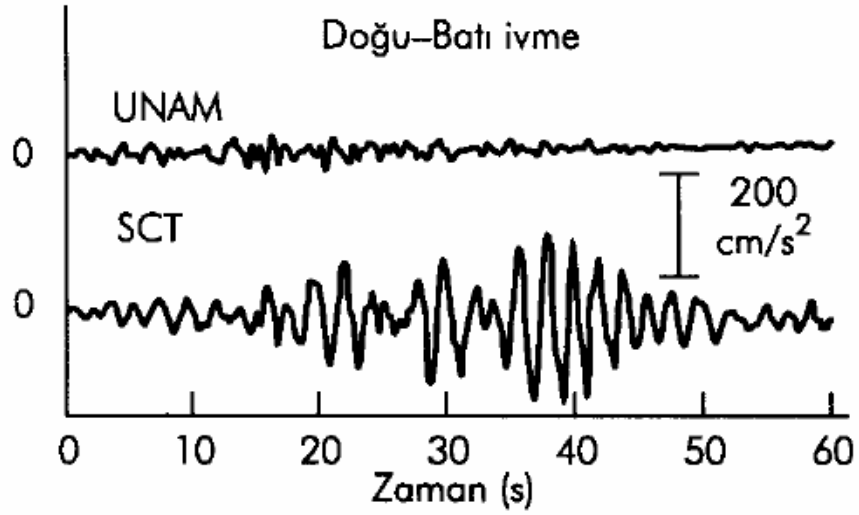
Mexico City; zemin özellikleri bakımından üç ana bölgeye ayrılabilir. Dağ etekleri (foothill) bölgesi, yüzeysel ve sıkı, daneli zemin, bazalt ve volkanik tüf birimlerinden oluşmaktadır. Göl (Lake) bölgesinde ise kalın alüvyon birimleri mevcuttur. Geçiş (Transition) bölgesinde yumuşak zemin tabakalarının kalınlıkları incedir. 1985 öncesinde Mexico City'de UNAM (Universidad Nacional Autonoma de Mexico) ve SCT (Secretary of Communication and Transportation) sahalarında ivme ölçerler

yerleştirilmişti. Şekil 2.5'te Stone ve diğ. (1987) çalışmalarına istinaden hazırlanmış yerel zemin durumları ve ivme ölçerlerin lokasyonları gösterilmiştir. SCT'ye yerleştirilen ivme ölçerin bulunduğu lokasyonun zemin profilinde yumuşak zemin tabakaları bulunmaktadır (Kramer, 1996).

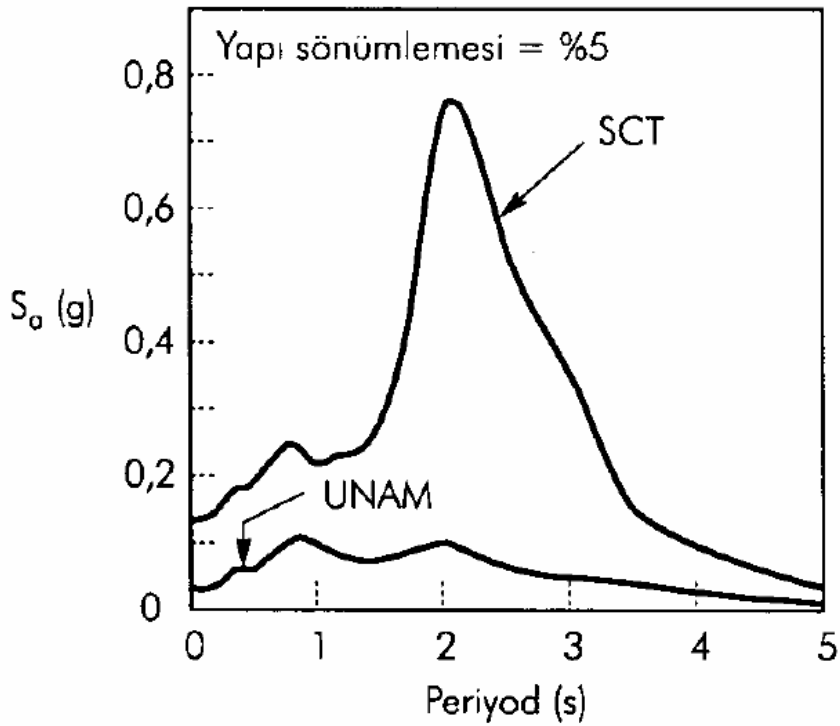


Şekil 2.5 : (a) Mexico City'deki ivme ölçer cihazlarının konumu (b) Bölgedeki zemin kalınlıkları (Stone ve diğ, 1987).

19 Eylül 1985 Meksika depremi sırasında farklı lokasyonlarda bulunan deprem kayıt cihazları tarafından ölçülen değerler incelenmiştir. SCT istasyonunda ölçülen maksimum ivme değerlerinin UNAM'da kaydedilen değerlerden 5 katı daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 2.6). SCT ve UNAM sahalarının frekans içerikleri de birbirinden farklı olup, SCT sahası hakim periyodunun yaklaşık 2sn olduğu hesaplanmıştır ($T_s \approx 4H/V_s \approx 4(37.5)/75 = 2$, T_s ; saha hakim periyodu, V_s ; kayma dalgası hızı, sahada 75m/sn, H; yumuşak zemin tabaka kalınlığı, sahada 35-40m). Yaklaşık 2s'deki periyotlarda SCT sahasındaki spektral ivmeler UNAM sahasındakinden yaklaşık 10 kat daha büyük olup, Romo ve Seed (1986) çalışmasına istinaden elde edilen spektral ivme değerleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Kramer, 1996).



Şekil 2.6 : UNAM ve SCT istasyonlarında kaydedilen ivme zaman grafikleri (Stone ve diğ, 1987).



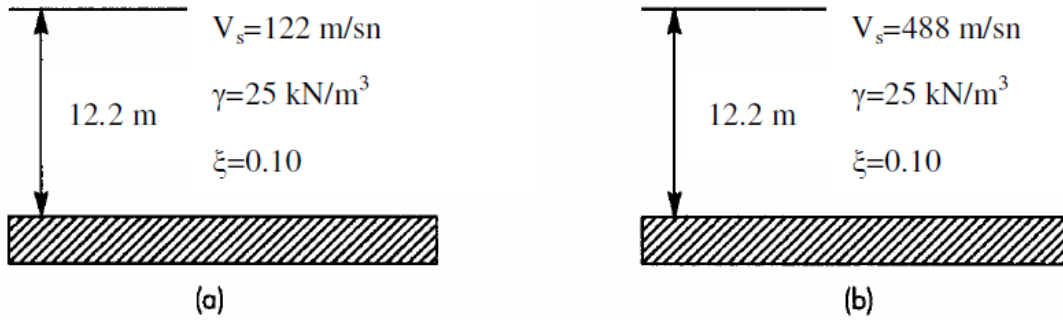
Şekil 2.7 : UNAM ve SCT sahalarında tepki spektrumları (Romo ve Seed, 1986).

Mexico City'deki yapısal hasarlar incelendiğinde, dağ eteği bölgelerinde hasarın önemsiz, geçiş zonunda ise minimum düzeyde olduğu görülmüştür. Saha karakteristik periyodu 1.9sn ile 2.8sn arasında değiştiği göl bölgesinde ise yapılar ciddi seviyede hasar görmüştür. Özellikle 5-20 katlı yapılarda ağır hasar ve göçme gözlenmiştir. N katlı bir yapının esas periyodu; pratik olarak $N/10$ (N; yapı katsayısı)

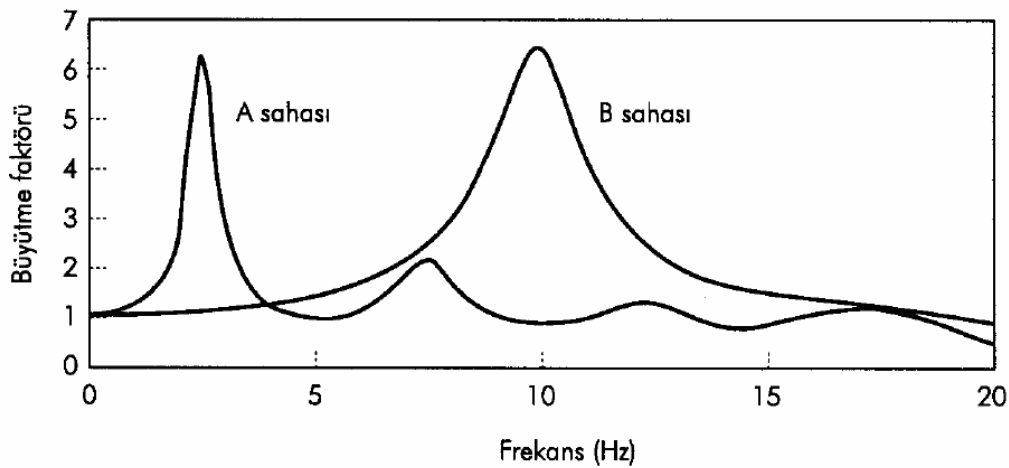
bağıntısı ile dikkate alındığında, çoğu hasar gören yapının esas periyodu ile saha karakteristik periyodunun birbirine eşit veya yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, hasarlı yapıların kendi yapı esas periyoduna yakın periyoddaki deprem yüklerine maruz kaldığını göstermektedir (Kramer, 1996).

2.4 Zemin Büyütmesinin Önemi

Yerel zemin tabakaları, deprem dalgaları üzerinde bir filtre görevi görmektedir. Şekil 2.8’de iki ayrı zemin profili ele alınmıştır. Bu profillerin geometrileri aynı, fakat biri diğerine göre daha rijit olup, buna bağlı olarak kayma dalgası hızları da farklıdır. Zeminlerin doğrusal elastik ve anakayanın da rijit davrandığı kabulü yapılırsa, zemin profillerinin büyütme fonksiyonları Şekil 2.9’daki gibi olacaktır.



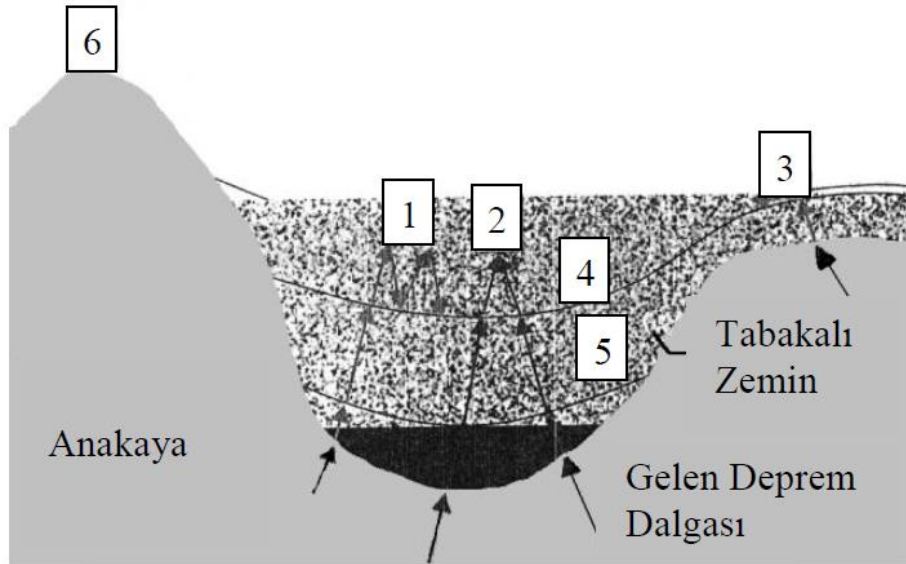
Şekil 2.8 : Anakaya üzerindeki iki hipotetik zemin profili; (a) A sahası, (b) B sahası (Kramer, 1996).



Şekil 2.9 : A ve B sahasının amplifikasyon fonksiyonları (Kramer, 1996).

Görüldüğü üzere, daha yumuşak olan zemini temsil eden A profili; ana kayadan gelen frekansı düşük (periyodu yüksek) olan dalgalar üzerinde, daha sert zemini temsil eden B profiline göre daha büyük amplifikasyonlara sebep olacaktır.

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere, Şafak (2001) ve Bakır ve diğ. (2002) zemin büyütmesini etkileyen faktörlerin anakaya derinliği, anakaya yüzeyindeki zemin tabakalarının kalınlığı, cinsleri, kayma modülü ve sönüm oranı gibi dinamik özellikleri, bu özelliklerin derinlik ve deformasyonla değişimleri, yerel zemin koşulları, deprem dalgalarının yüzey altındaki tabakalaşmaya bağlı olarak odaklanması, yüzey dalgalarına dönüşen cisim dalgaları ve tabakaların farklı dinamik özellikleri olduğunu belirtmiştir (İyisan ve Haşal, 2011).



1. Dinamik özellikler 2. Dalga odaklanması 3. Yüzey dalgaları 4. Zeminlerin mühendislik ve fiziksel özellikleri 5. Ortam özellikleri 6. Topografya

Şekil 2.10: Zemin büyütmesini etkileyen faktörler (Şafak, 2001).

Bu çalışmada hesaplanan amplifikasyon fonksiyonları, depremler esnasında sadece zemin tabakalarının davranışlarını göstermektedir.

Yerel zemin tabakalarının deprem dalgaları üzerinde yarattığı büyütme etkisi, enerji akışı (E) ile de açıklanabilmektedir;

$$E = A^2 w^2 \rho v / 2 \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda A; dalga genliği, w; açısal frekans, ρ ; ortamın yoğunluğu ve v; ortamın sismik dalga hızını temsil etmektedir. Deprem dalgaları kaya ortamdan daha

yumuşak olan zemin ortamına doğru gitmekte ve ortam yumuşadıkça yoğunluğu azaltmakta, buna bağlı olarak da dalga hızları düşmektedir. Enerjinin başka hiçbir nedenle değişmediğini ve dalga frekansının da sabit kaldığını kabul edersek, enerjinin korunumu ilkesine göre, ortamın dalga hızı ve yoğunluğunda meydana gelen azalmanın genlikte meydana gelecek artış ile karşılanması gerekmektedir. Anakayadan yumuşak zemin tabakalarına geçişte deprem dalgalarının genliğinin artması bu şekilde açıklanabilmektedir (Kramer, 1996; Yalçinkaya, 2010). Genliğin ne kadar artacağı ise (2.2) denklemi ile belirlenebilmektedir (Roesset 1977);

$$B = \frac{1}{(1 + \alpha) + (\pi / 2)\varepsilon} \quad (2.2)$$

Bu denklemde B; maksimum büyütme, α ; empedans oranı, ξ ; sönüm oranıdır. Bu durumda, sismik dalgaların büyümesine etki eden parametreler; empedans oranı ve sönüm oranıdır. Empedans oranı ana kaya / yumuşak zemin tabakası geçişinde hız ve yoğunluğun oranı olarak tanımlanır;

$$\alpha = \frac{\rho_r v_r}{\rho_s v_s} \quad (2.3)$$

Burada ρ_r ve v_r ; ana kayanın yoğunluğu ve kayma dalgası hızını, ρ_s ve v_s ise zeminin yoğunluk ve hızını gösterir. Empedans oranı büyümesi, sismik dalga genliğinin de artması anlamına gelir. Sönüm oranı ise, zemin tabakalarında ana kayaya göre daha fazladır (Kramer, 1996);

$$\varepsilon = \frac{\eta w}{2G} \quad (2.4)$$

Burada η ; zeminin viskozitesi, w ; açısal frekans, G ; zeminin kayma modülüdür. Kaya ortamlar için sönüm oranı %2 civarında iken, yumuşak zemin ortamlarda yaklaşık %5 alınabilir (Yalçinkaya, 2010).

Yalçinkaya (2010), sismik dalga genlikleri üzerinde biri arttıran (α), diğeri azaltan (ξ) etkiyi şu örnekle açıklamıştır: Yumuşak zeminin ρ_s ve v_s değerleri sırasıyla; 1.8 gr/cm³ ve 180 m/sn, yumuşak zeminin altındaki kayanın ise ρ_r ve v_r değerleri sırasıyla 2.2 gr/cm³ ve 760 m/sn olsun. Bu durumda empedans oranı (α) 5.16 olarak hesaplanır. Yumuşak zemin tabakasının sönüm oranı (ξ) 0.05 alırsa, maksimum büyütme (B) değeri 3.67 olarak hesaplanır. Bu durum, ana kayadan gelen dalga genliğinin 3.67 kat büyüyerek yeryüzüne ulaşacağı anlamına gelmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen jeolojik birimler ve zemin büyütmeleri arasındaki ilişkiler Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Jeolojik birimler ve rölatif büyütme faktörü arasındaki ilişki (TC4 of ISSMFE, 1993).

JEOLJİK BİRİM	RÖLATİF BÜYÜTME FAKTÖRÜ
Borcherdt ve Gibbs (1976)	
Körfez Çamuru	11.2
Alüvyon	3.9
Santa Clara Formasyonu	2.7
Great Valley Formasyonu	2.3
Francisca Formasyonu	1.6
Granit	1.0
Shima (1978)	
Turba	1.6
Humuslu Toprak	1.4
Kil	1.3
Mil	1.0
Kum	0.9
Midorikawa (1987)	
Halosen	3.0
Pleistosen	2.1
Kuvarterner Volkanik Kayalar	1.6
Miyosen	1.5
Tersiyer Öncesi	1.0

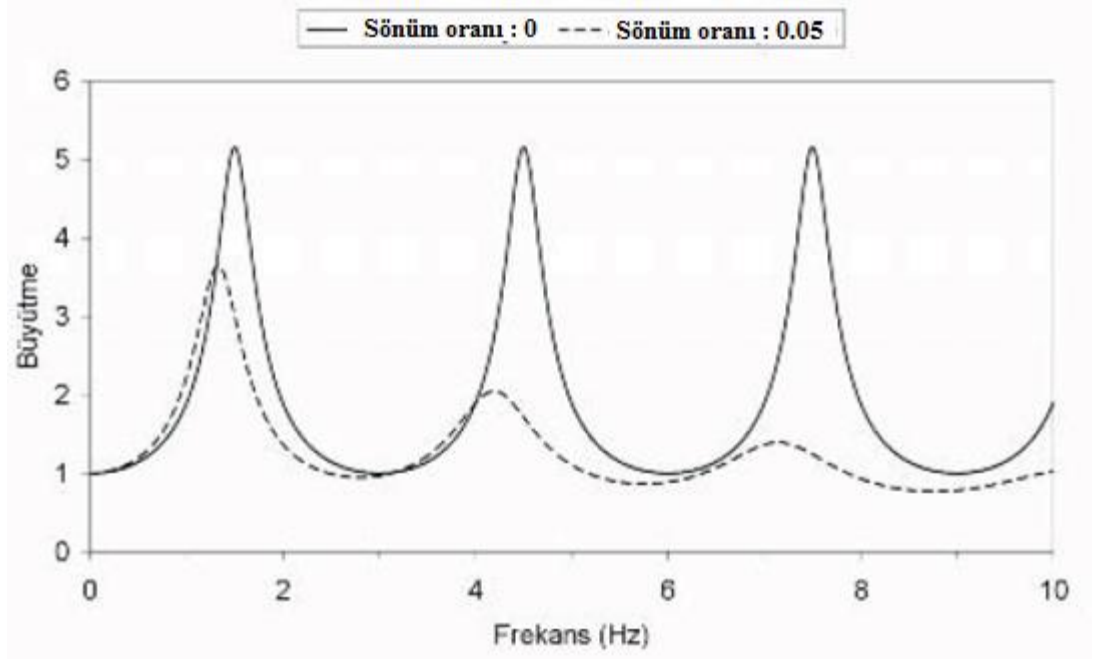
Çizelge 2.2 : Kayma dalgası hızlarına göre zeminlerin sismik büyütme potansiyelleri (Finn, 1993).

Zemin Grubu	Genel Tanım	Ortalama Kayma Dalgası Hızı, V_{ort} , m/sn	Büyütme Potansiyeli
A	Kaya	$V_{ort} > 750$	Yok
B	Derin kohezyonsuz zeminler, katı kohezyonlu zeminler yada ikisinin karışımından oluşan zeminler	$360 < V_{ort} < 760$	Düşük
C	Kum, silt ve/veya sıkı/çok katı kil, bazı çakıllar, kalınlığı 3m'den küçük yumuşak kil tabakaları	$180 < V_{ort} < 360$	Orta
D ₁	Kalınlığı (H_c) az ve yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_{ort} < 180$, ve/veya $3m < H_c < 15m$	Yüksek
D ₂	Kalınlığı fazla (H_c) fazla ve yumuşak veya orta katı kil içeren tabakalar	$V_{ort} < 180$, ve/veya $15m < H_c < 35m$	Yüksek
E ₁	Turba yada organik madde oranı yüksek killer	$H_p > 3m$	Çok Yüksek
E ₂	Yüksek plastisiteli killer	$H_{cp} > 7m$ ve $PI < \%75$	Çok Yüksek
E ₃	Çok kalın (H_c) yumuşak veya orta katı kil içeren tabakalar	$H_c > 35m$	Çok Yüksek

Maksimum büyütmenin hangi frekanslı deprem dalgalarında etkili olacağı, yumuşak zemin tabakasının kalınlığına ve sismik dalga hızına bağlıdır;

$$T_p = \frac{4H}{v_s} \quad (2.5)$$

Burada, T_p ; maksimum büyütmenin görüleceği periyod, H ; sert ana kaya üzerinde yer alan yumuşak zemin tabaka kalınlığı, v_s ; zeminin kayma dalgası hızını gösterir. Maksimum büyütmenin görüldüğü bu periyod, T_p , zemin hakim periyodu olarak adlandırılır. Yukarıdaki örnekte zemin tabakası kalınlığı 30m kabul edilirse, zemin hakim periyodu 0.7sn (frekansı 1.5 Hz) bulunur. Bu durum, yumuşak zemin tabakasının 0.7sn periyotlu deprem dalgası üzerinde maksimum büyütme göstericeği anlamına gelmektedir. Periyodu farklı deprem dalgalarına yapacağı etki ise, Şekil 2.11'de verilmiştir. Şekil 2.11'de görüldüğü üzere, zemin hesaplanan frekans (periyod) değerinin katlarında maksimum tepkiyi gösterir, fakat bu tepki sönüm oranı etkisi ile giderek azalır.



Şekil 2.11 : Örnek zemin ve kaya parametreleri kullanılarak, iki farklı sönüm oranı için çizdirilen büyütme fonksiyonları (Yalçınkaya, 2010).

Denklem 2.5'te görüldüğü üzere, anakaya üzerinde yer alan zemin tabakasının kalınlığı ne kadar büyük olursa, zemin hakim periyodu da o derecede büyüyecektir.

Maksimum büyütmenin görüldüğü ilk hakim frekans, rezonans frekansı olarak da tanımlanır. Rezonans olayı, etki halindeki iki farklı titreşimin frekanslarının çakışması olup, bu durumda titreşimin genliği en büyük değerine ulaşır. Dolayısıyla, zemin ve üzerindeki yapının frekanslarının birbirine yakın olmaması gerekmektedir. Yukarıda verilen örnekte zemin hakim periyodu 0.7sn olduğuna göre, bu zemin üzerindeki 7 katlı bir bina ($N/10=7/10=0.7\text{sn}$) rezonans durumunda olacaktır.

3. ERZİNCAN İLİNE AİT BİLGİLER

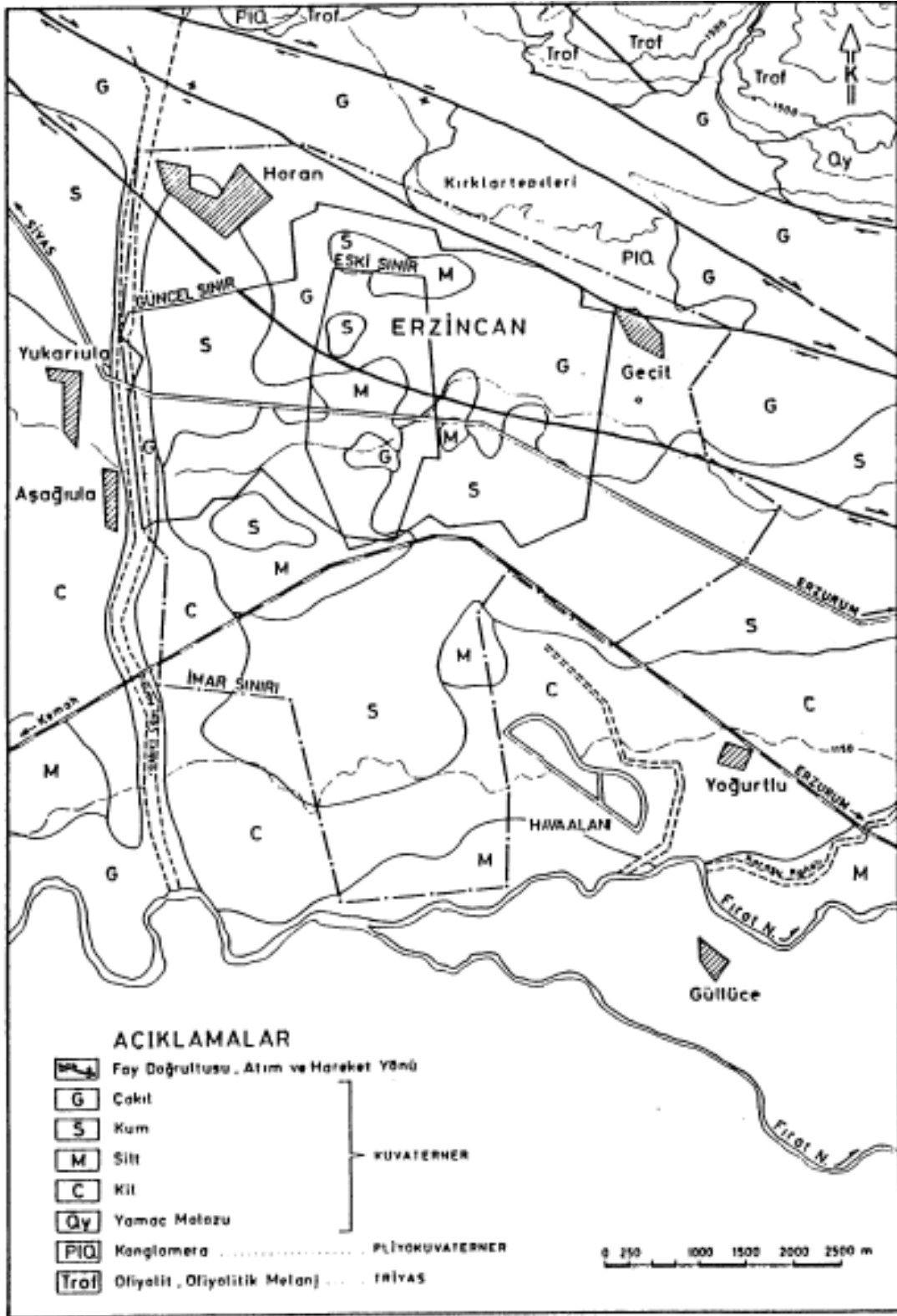
3.1 Erzincan İli Jeolojik Özellikleri

Yapılan jeolojik incelemeler, Erzincan İli'nin karmaşık bir jeolojik yapısı olduğunu göstermektedir. Şehir, 45kmx15km boyutlarında bir ova üzerine kurulmuş olup, bu ovayı kuzey ve güneyde yüksek dağlar çevrelemiştir. Fırat nehri tarafından beslenen ovanın altındaki vadi V şeklinde olup, nehrin getirdiği alüvyon ve dağlardan yağmur suları ile taşınan yamaç malzemeleri ovayı doldurmuştur. Dağ yamaçlarına yakın kısımlarda alüvyon tabakası az iken, havza ortasında yüzlerce metre derinliğe kadar artmaktadır (Lav ve diğ., 1993; Hayfavi ve Gülkan, 1995). Erzincan ve yakın çevresine ait jeoloji haritası Şekil 3.1'de, Erzincan ovası çevresindeki birimlerin ilişkilerini gösteren taslak jeoloji enine kesiti ise Şekil 3.2'de görülmektedir.

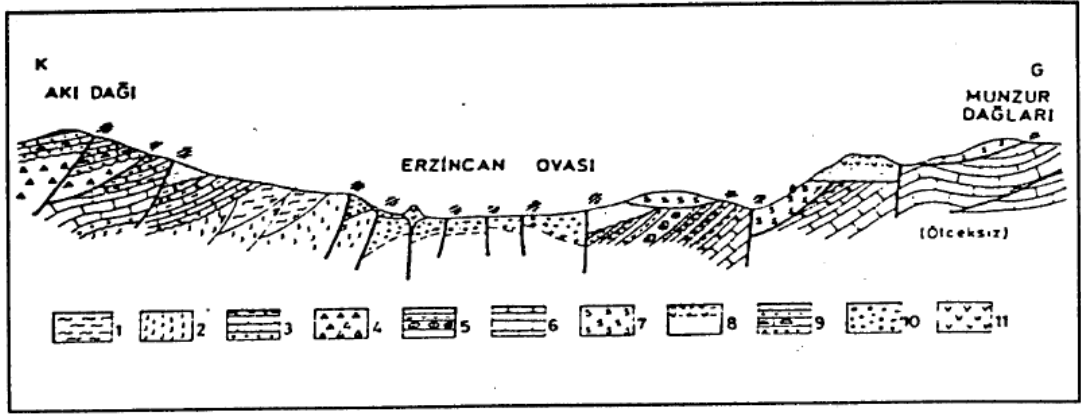
Erzincan Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2011) tarafından, Erzincan İli için hazırlanan rapora göre; Erzincan ovasında, Palezoik yaşlı ayrılmamış metamorfik seri, Mesozoyik kireçtaşları, Kretase filişi, Eosen filişi, Neojen kireçtaşları, Neojen karasal ve volkanik kayalarla; Kuvaternere ait traverten, taraça, alüvyon ve alüvyon konileri bulunmakta olup, formasyon özellikleri aşağıda verilmiştir;

Mesozoyik kireçtaşları; geniş alanlar kaplayan serpantin diabaz kütleleleri içinde gelişigüzel serpilmiş vaziyette olup, kalkerlerin bir kısmı yarı kristalize haldedir. Şehrin güney doğusundaki dağlarda mostra verirler. Kireçtaşlarının sert ve tabakalaşma göstermeyen bir yapıları olup, kırık ve çatlak sistemleri boldur. İçlerindeki yeraltı suyu kaynaklarla boşalmaktadır. Bu kalkerler, çok açık kahverengimsi, gri, yer yer kahverengi bir renge sahiptir.

Kretase filişi; Erzincan ovasında yer almakta olup, genellikle kumtaşı, marn ve konglomeredan oluşan bir formasyondur. Filiş içindeki serpantin çakılları; kretasenin üst devirlerinde bu formasyonun oluştuğunu gösterir. Formasyon, geçirimsizliği oldukça az olan litolojik birimlerden meydana geldiği için, yeraltı suyu depolanması yönünden bir önemi yoktur.



Şekil 3.1 : Erzurum ve yakın çevresinin yüzeyaltı jeoloji haritası (Öztaş, 1993).



Şekil 3.2 : Erzincan ovası çevresindeki birimlerin ilişkilerini gösteren taslak jeoloji enine kesiti (Tüysüz, 1993).

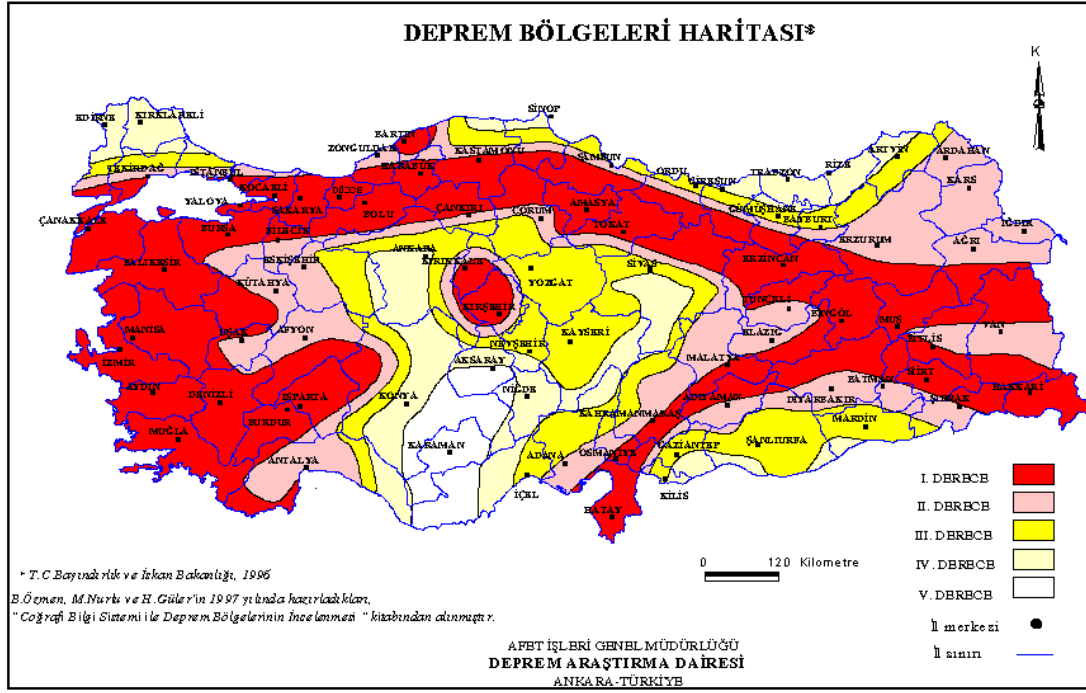
Eosen formasyonu; boz renkli kumtaşı ve konglomeralardan oluşan bir filiş fasiyesindedir. Bu formasyon içerisinde; yer yer kil taşı ve kireç taşları görülmekte olup, formasyon; yeraltı suyu depolaması yönünden önemli değildir.

Neojen formasyonu oldukça geniş fasiyeslidir. Miyosen yaşlı olduğu tahmin edilen kireç taşları en alt seviyede olup, daha üstte lagün fasiyesinde killi, marnlı bir seri ve en üstte ise kırmızı renkli konglomera ve kumtaşları bulunmaktadır. Formasyonun tabanında bulunan kireçtaşları oldukça fosilli olup, bu formasyon; yeraltı suyu depolanması yönünden fazla önemli değildir.

Erzincan ovası jeolojisinde ayrıca; Kuvartener'e ait traverten, alüvyon, alüvyon konileri ve taraçalar da bulunmaktadır. Bu kuvartenerin büyük kısmı alüvyon konileri ile kaplı olup, alüvyon konilerinin Erzincan ovası'nda oldukça yaygın bulunması sebebi ile; jeolojik incelemeler açısından önemlidir. Alüvyon konileri; oldukça iri malzemelerden (Kum, Çakıl) teşekkül etmiş olup, yeraltı suyunu taşıyan esas akifer tabakalarıdır. Kalınlıkları 50-150m arasında olan bu alüvyon konilerinin tabanında genellikle serpentin yer almaktadır.

3.2 Erzincan İli Sismolojik Özellikleri

Erzincan İli geneli, birinci derece tehlikeli deprem bölgesi olup, Türkiye deprem bölgeleri haritası Şekil 3.3'te ve Erzincan İli deprem haritası Şekil 3.4'te verilmiştir. (URL-1, 2015).



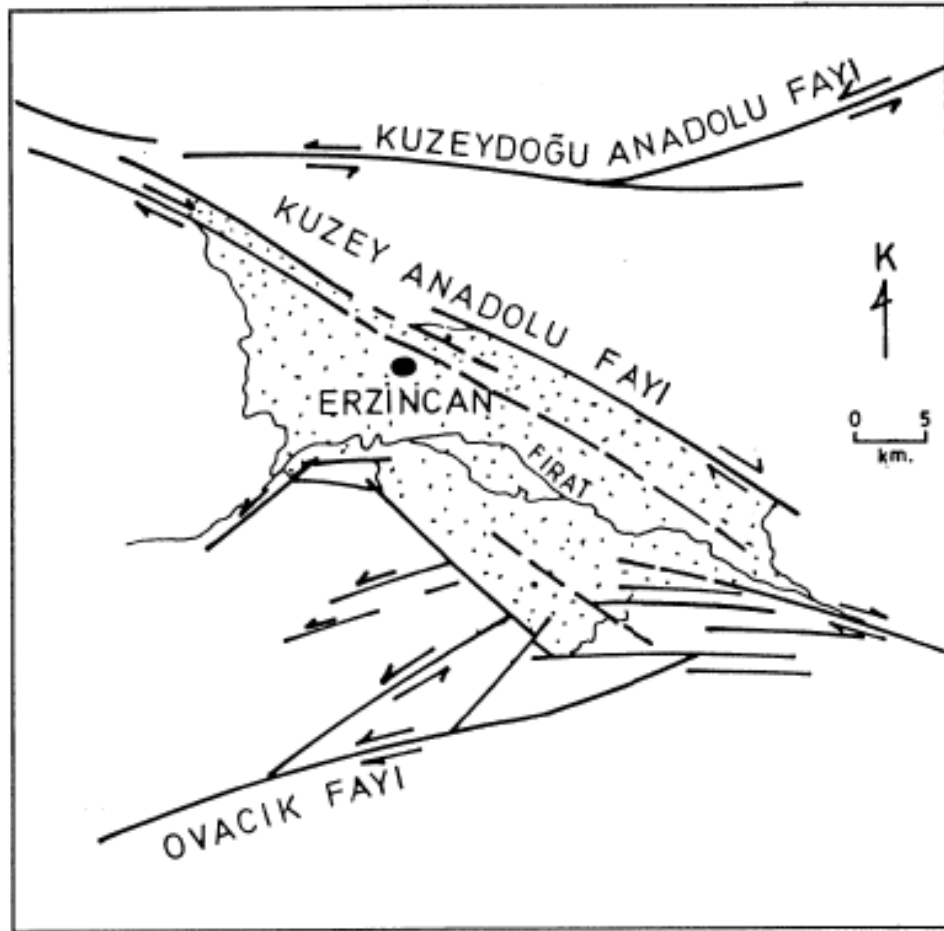
Şekil 3.3: Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (URL-2, 2015).



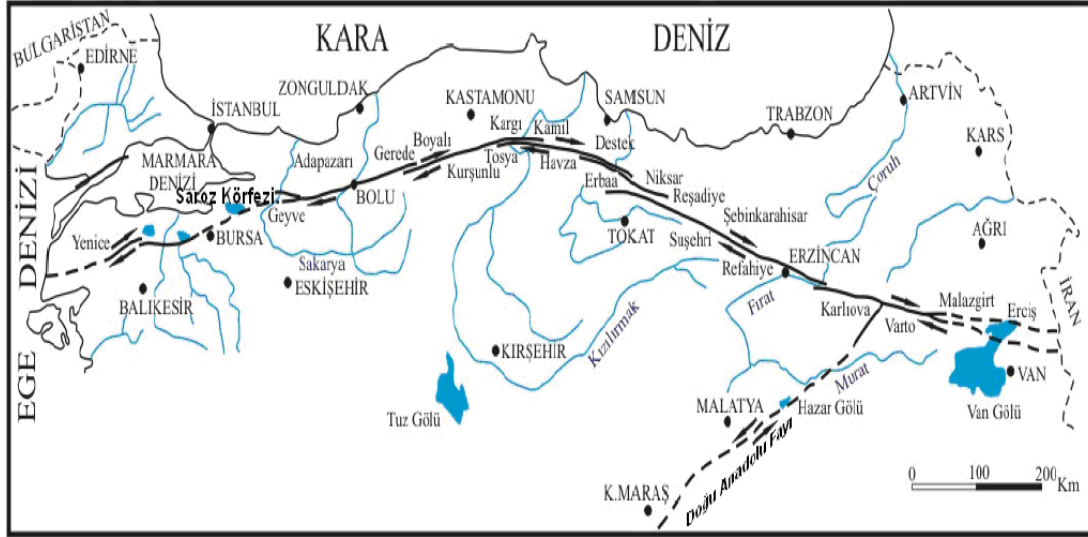
Şekil 3.4 : Erzurum İli Deprem ve Fay Hattı Haritası (URL-2, 2015).

Erzurum ovası ve çevresinde birbirine yaşıt sayılabilecek 3 grup yanal atımlı fay bulunmakta olup, bu faylar farklı doğrultulardadır (Şekil 3.5). Kuzeydoğu Anadolu Fayı; Karadeniz dağ sırasını güneyden sınırlayan sol yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Erzurum ovasında geniş bir zonda gözlenen fay sistemi ise; Kuzey Anadolu Fay

sistemidir (Tüysüz, 1993). Bu fay sistemi, Çakmak (2009) tarafından açıklandığına göre, Türkiye'nin en aktif ve uzun fay sistemi olup, Batı Anadolu'da Biga Yarımadası'ndan başlayıp, Çanakkale kuzeyinden Marmara Denizi'ni geçerek, Bursa-Çankırı-Çorum hattının yakın kuzeyinden Çorum, Amasya, Tokat üzerinden Erzincan'a ulaşmaktadır. Burada bir kolu kuzeye yönelerek Erzurum-Kars üzerinden Ermenistan'a kadar gider, diğer kolu ise Van Gölü'ne kadar uzanmaktadır (Şekil 3.6), (Duman, 2013). Erzincan ovasında bulunan diğer bir fay ise; ovadın Ovacık İlçesi'ne doğru uzanan sol yönlü doğrultu atımlı fay sistemidir. Erzincan ovası bu üç fay sisteminin etkisi altında gelişimini sürdürmektedir (Tüysüz, 1993).



Şekil 3.5 : Erzincan Ovası içerisindeki ana fay sistemleri (Tüysüz, 1993).



Şekil 3.6 : Kuzey Anadolu Fay Zonu (Demir, 2011).

Erzincan İli depremle yaşayan bir il olup, son 1000 yıl içerisinde şiddeti 8 ve üstü olan 16 deprem meydana gelmiştir. Yaşanan yer sarsıntılarının en şiddetlileri; 1045, 1166, 1168, 1254, 1268, 1281, 1287, 1290, 1356, 1374, 1458, 1482, 1578, 1784 ve 1939 yıllarında meydana gelmiştir. Tarihi depremlerin lokasyonları incelendiğinde Kuzey Anadolu Fayı boyunca belirgin bir aktivite olduğu görülebilmektedir (Şengezer, 1999). Akyıldırım (1993) ve Şaylan (2006) çalışmaları da dikkate alınarak hazırlanmış tarihi Erzincan depremleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

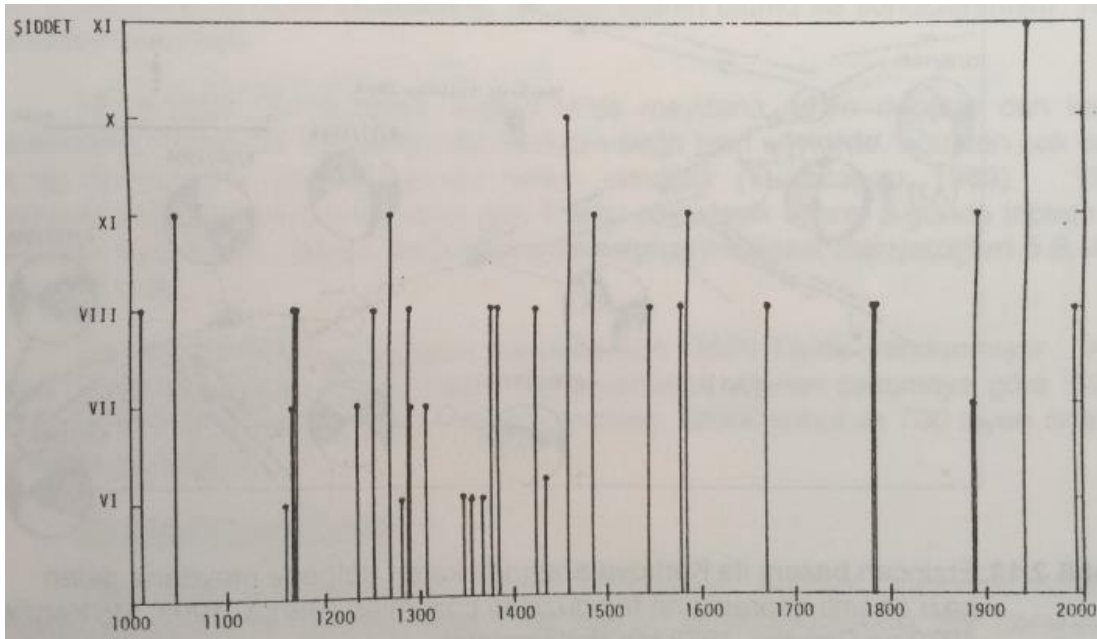
Erzincan İli’nde, 26 Aralık 1939 tarihinde yaşanan 7.8 büyüklüğündeki deprem; bölgede yaşanan en yıkıcı depremlerden biridir. Can kaybı 33,000 civarındadır (Duman, 2013). Çizelge 3.2’de, Şaylan (2006) tarafından hazırlanan Erzincan havzası ve çevresinde 1939 yılından sonra yaşanan depremler verilmiştir. Yılmaz ve İravul’un (1993) hazırladığı, Erzincan tarihsel depremlerinin şiddetinin zaman içindeki dağılımı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tarihi Erzincan Depremleri (Akyıldırım, 1993; Şengezer, 1999; Şaylan, 2006).

TARİH	ENLEM	BOYLAM	ŞİDDET	ÖZELLİKLER
1011	39 80	39 50	VIII	Şiddetli sarsıntı sonucu şehir harap oldu.
1045	39 75	39 50	IX	Çok şiddetli deprem, çok ölü olmuştur.
1161	39 75	39 50	VII	
1168	39 75	39 50	VIII	
1236	39 75	39 50	VII	
1254	39 75	39 50	VIII	16000 ölü
1268	39 75	40 40	IX	15000 ölü, Erzincan yıkılmıştır.
1281	39 75	39 50	VI	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1287	39 75	39 50	VIII	Pekçok ölü
1289	39 75	39 50	VII	Geniş hasar, birkaç bin ölü.
1290	39 75	39 50	VI	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1308	39 75	39 50	VII	Şiddetli sarsıntı, kayıp yok.
1345	39 75	39 50	VI	
1356	39 75	39 50	VI	Depremler birkaç gün sürmüş, yerleşim yeri uzak olduğundan kayıp olmamıştır.
1366	39 75	39 50	VI	Sarsıntı
1374	39 75	39 50	VIII	1 saat süren depremde şehir surları dahi yıkılmıştır.
1422	39 75	39 50	VIII	Ağır deprem, birçok ölü.
1433	39 75	39 50	VI	
1456	39 75	39 50	VIII	Şehir kısmen yıkılmıştır.
1458	39 75	39 50	X	Erzincan ve Erzurum'da büyük hasar
1482	39 75	39 50	IX	Erzincan ve Erzurum'da büyük hasar
1543	39 75	39 50	VII	Köyler hasar görmüş, şehir kısmen yıkılmıştır.
1576	39 75	39 50	VII	1500 kişi ölmüştür.
1579	39 75	39 50	VIII	
1584	39 75	39 50	IX	
1667	39 75	39 50	VIII	
1784	39 75	39 50	VIII	Çok şiddetli depremlerdendir, çok sayıda ölü olmuş, dört ay süren sarsıntılar meydana gelmiştir.
1787	39 75	39 50	VIII	
1888	39 75	39 50	VII	Hasar
1939	39 75	39 50	X	7.8 büyüklüğünde deprem, yaklaşık 33000 can kaybı

Çizelge 3.2 : Erzincan havzası ve çevresinde 1939'dan sonra meydana gelen depremler (Şaylan, 2006).

Deprem	Zaman	Büyüklik	Sonuç
12 Kasım 1941 Erzincan	10:04	M=5.9	Ekşisu gibi bazı yerlerde yeni su kaynakları oluşmuş, su debileri artmıştır.
17 Ağustos 1949 Bingöl	18:44	M=6.75	Erzincan bu deprem nedeni ile hafif hasar görmüştür.
15 Şubat 1978 Üzümlü	3:17	M=4.7	Üzümlü bucağı ve Pülümürde ve çevredeki köylerde hasar oluşmuştur.
18 Ekim 1980 Tercan	3:14	M=4.4	Deprem kuvvetle uygulanan üç şok şeklinde oluşmuştur. Bazı binalarda çatlamlar meydana gelmiştir.
6 Nisan 1983 Çayırılı-Tercan	7:35	M=4.1	Bu deprem Tercan ve Çayırılı'da hasar oluşturmuştur.
13 Mart 1992	17:18	M=6.8	Ekşisu doğusunda yapay dolgu üzerinde sivilaşma meydana gelmiş, çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır.
30 Temmuz 2009 Çağlayan	10:37	M=5.0	Can kaybı yaşanmamış, bazı yapılarda hasarlar meydana gelmiştir.



Şekil 3.7 : Erzincan tarihsel depremlerinin zaman içindeki dağılımı (Yılmaz ve İravul, 1993).

Gençoğlu ve diğ. (1990) tarafından, 1881-1986 yılları arasında olmuş ve magnitüdü (Ms) 4.2'den büyük 199 adet aletsel deprem dikkate alınarak $\log N = 3.66 - 0.47 M$ bağıntısı bulunmuş ve Erzincan İli'ne ait sismisitenin dönüşüm periyodu Çizelge 3.3'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3 : Erzincan ve çevresi için deprem tehlikesi % olarak (Gençoğlu ve diğ, 1990)

Manyitüd	5	5.5	6	6.5	7	7.5
Dönüş Süresi	5.7	9.8	16.9	29.0	49.9	85.9

Gençoğlu ve diğ. (1990) tarafından yapılan bu çalışmaya göre, 1939 depremine eşdeğer şiddetteki depremlerin yaklaşık 86 yılda bir, magnitüdü 7 olan bir depremin dönüş periyodunun ise 50 yıl olduğu görülmektedir.

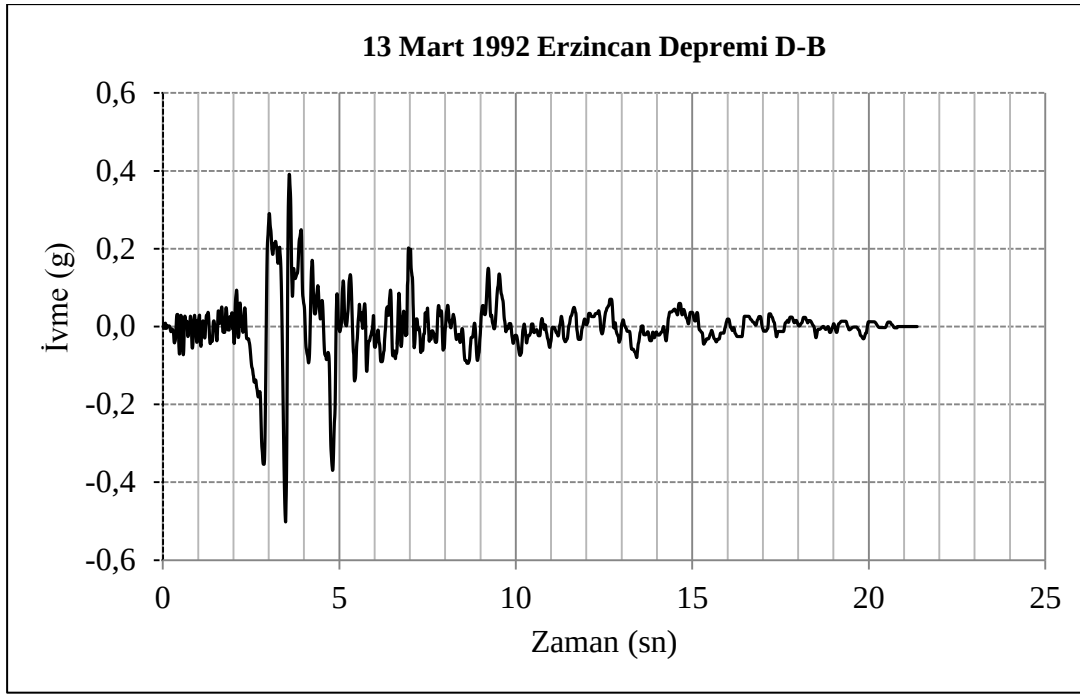
3.3 13 Mart 1992 Erzincan Depremi ve Oluşan Yapısal Hasarlar

3.3.1 Kaydedilen deprem bilgileri

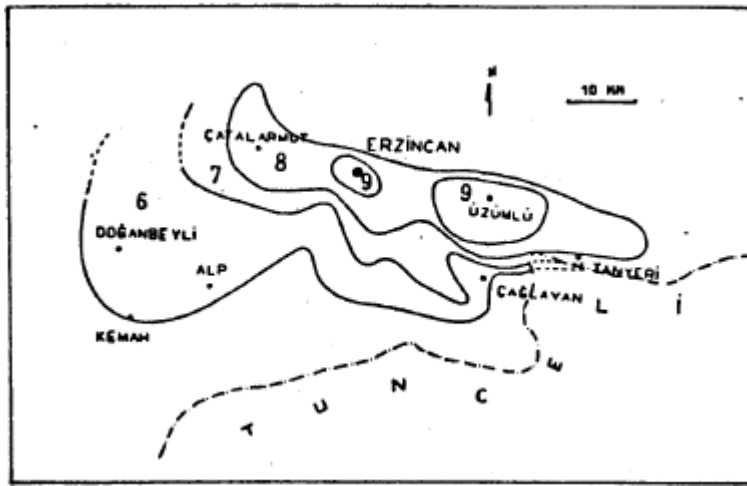
Erzincan İli'nde, 13 Mart 1992 tarihinde, saat 17:18:40.1'de (UTC zaman dilimi), 28 km derinlikte, Ms 6.8 magnitüdünde bir deprem meydana gelmiştir. Boğaziçi Üniversitesi (1992) tarafından hazırlanan rapora göre, bu depremde 500 civarında kişi hayatını kaybetmiş, 2800 kişi yaralanmış, 11000 konut hasar görmüştür. Erzincan İli'ndeki 28000 evden %5'i yıkılmış veya ağır yapısal hasarlar almış, %10'u orta seviyede ve %14'ü de hafif hasar görmüştür (Erdik ve diğ, 1994).

Yüzeyde kaydedilen en büyük yatay ivme değeri 0.49g olup, depremin Doğu-Batı bileşeninde ölçülmüştür. Erzincan Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan verilere göre çizdirilen depremin Doğu-Batı yönündeki ivme zaman grafiği Şekil 3.8'de verilmiştir (Lav, 1994). Bölüm-5'te verilen zemin davranış analizleri de, 13 Mart 1992 depreminin en büyük yatay ivme değerine sahip Doğu-Batı yönündeki bileşeni dikkate alınarak yapılmıştır.

Depremin maksimum şiddeti Erzincan İli ile Üzümlü kasabası ve köyleri civarında gözlenmiş olup, Şekil 3.9'da gösterildiği üzere, bu şiddet 9 değerindedir (Kurtuluş, 1993).



Şekil 3.8 : 13 Mart 1992 Erzincan Depremi D-B bileşeni ivme-zaman grafiği.



Şekil 3.9 : 13 Mart 1992 Erzincan depremi şiddet haritası (Kurtuluş, 1993).

Ms 6.8 magnitüdündeki bu depremi takiben yıkıcı, artçı depremler de oluşmuştur. Yüzey dalgası magnitüdüleri 5.8, 4.9, 4.5 ve 4.7 olan dört büyük artçı deprem ana depremden sonraki iki gün içerisinde olmuştur. Bölgede hissedilen bu depremler, hasarlı binaların tamamen yıkılmasına neden olmuştur. Ana şoktan bir hafta sonra Erzincan ovası çevresine dört istasyon daha kurulmuştur. Kayıt sırasında 3900 civarında deprem kaydedilmiştir. (Gülbüz ve diğ, 1993).

13 Mart 1992 Erzincan depreminin, geçmişte bu büyüklükte oluşmuş depremlere nazaran farklılıkları mevcuttur. Deprem, yaşanan diğer depremlere göre daha derinde

ve magnitudü 5 ve daha büyük artçı depremlere sahip olmasına rağmen, sürekli bir yüzey kırığına rastlanmamıştır. Depremi derinde olması ve episentir bölgesi üzerinde kalın bir sediment tabakası olması; kırılmanın yukarıya kadar gelemediği sonucunu vermektedir. Deprem, Kuzey Anadolu Fay zone ve Ovacık fayının kesiştiği ve çekme-açılma geometrisini oluşturduğu bölgede meydana gelmiş olup, bu bölgede meydana gelmesi sonucu olarak enerji derinlerde soğurulmuştur (Gürbüz ve diğ, 1993).

13 Mart 1992 Erzincan depremi gibi kuvvetli ve şehrin odak bölgesinde bulunduğu depremlerde, odak bölgelerindeki deprem özelliklerinin zemin ve yapı faktörlerine göre hakim konumda olacağı bilinse de, zemin tabakalarının büyütme özelliklerinin de oluşan yapı hasarları üzerinde etkili olduğu bilinmekte olup, bu etkinin de incelenmesi gerekmektedir (Lav, 1994).

3.3.2 Deprem sonrası oluşan yapısal hasarların sınıflandırılması

Depremi şiddeti ve özellikleri, yerel zemin ve jeolojik koşullar ile yapısal özellikler; depremde hasara yol açan üç ana parametredir. MSK hasar ölçeğine göre yapı hasarları;

- Hasarsız yapı (H0)
- Az hasarlı yapı (H1)
- Orta hasarlı yapı (H2)
- Ağır hasarlı yapı (H3)
- Kısmen yıkık yapı (H4)
- Tamamen yıkık yapı (H5)

olarak sınıflandırılmaktadır. Az hasarlı yapılarda; ince sıva çatlakları, sıva dökülmeleri, duvarlarda 1-4mm genişlikte ince çatlaklar, dolgu ve kalkan duvarlarda 10mm'ye kadar çatlaklar ve kısmi dökülmeler görülmektedir. Tamir maliyet oranı 0.2'dir. Orta hasar; yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında 5-10mm genişlikte önemli çatlaklar, bölme, dolgu ve kalkan duvarlarda kısmi yıkılma ve ayrılmalar, iskeletli yapılarda kolon duvar ve duvar giriş duvar birleşimlerinde 5mm'den büyük çatlaklar ve duvar patlamalarını içermektedir. Tamir maliyet oranı; 0.4 olarak alınır. Ağır hasar durumu; yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında 10mm'den geniş ve yaygın

kesme kırılmaları, bina köşelerinde ayrılma ve ezilmeler, konik biçiminde dökülmeler, binanın düşeyden ayrılması, betonarme yapılarda ise; kolon ve kirişte çatlaklar, kolon patlaması ve burkulması, kolon kiriş bağlantılarında kesilmeleri içermektedir. Tamir maliyet oranı 0.6 olarak alınır. Kısmen yıkık binalarda ise; yapı ayakta durmasına rağmen, bütün kolonlarda burkulmalar, betonların dökülmesi gözlemlenmekte olup, taşıyıcı sistem onarılamaz durumdadır. Tamir maliyet oranı 1'dir (Şengezer, 1999). 13 Mart 1992 Erzincan depreminde gözlenen hasar dağılımları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : 13 Mart 1992 Erzincan Depremi hasar dağılımları (Şengezer, 1999).

	Hasar Seviye Oranları					
	H 0	H 1	H 2	H 3	H 4	H 5
Erzincan Hasar Dağılımı %	25	28	18	15	5	9

Şengezer (1999) tarafından, 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası Erzincan'ın ortalama hasar hesabı da yapılmıştır. Ortalama hasar, hasar dağılımının ortalama değerinin bulunmasıdır. Ortalama hasar; hasar ölçümünü anlamayı kolaylaştırmaktadır. Bu hasar oranı “0” ile “1” arasında değişmekte olup, “0” hiç hasar olmadığını gösterirken, “1” bütün binaların tamamen yıkıldığını yansıtmaktadır. Erzincan ortalama hasar hesaplaması Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : 13 Mart 1992 Erzincan Depremi hasar verileri değerlendirmesinde ortalama hasar hesap yöntemi (Şengezer, 1999).

	Hasar Seviye Oranları					
	0	1	2	3	4	5
I. Ağırlık	25	28	18	15	5	9
II. Erzincan Hasar Dağılımı	0.25	0.28	0.18	0.15	0.05	0.09
III. (I*II)	0	0.0056	0.072	0.09	0.04	0.09
IV..	III'ün birikimsel toplamı: 0.3480					
V..	Erzincan Ortalama Hasarı %34.80					

4. SAHA ÇALIŞMALARI VE DİNAMİK ZEMİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Saha Çalışmaları

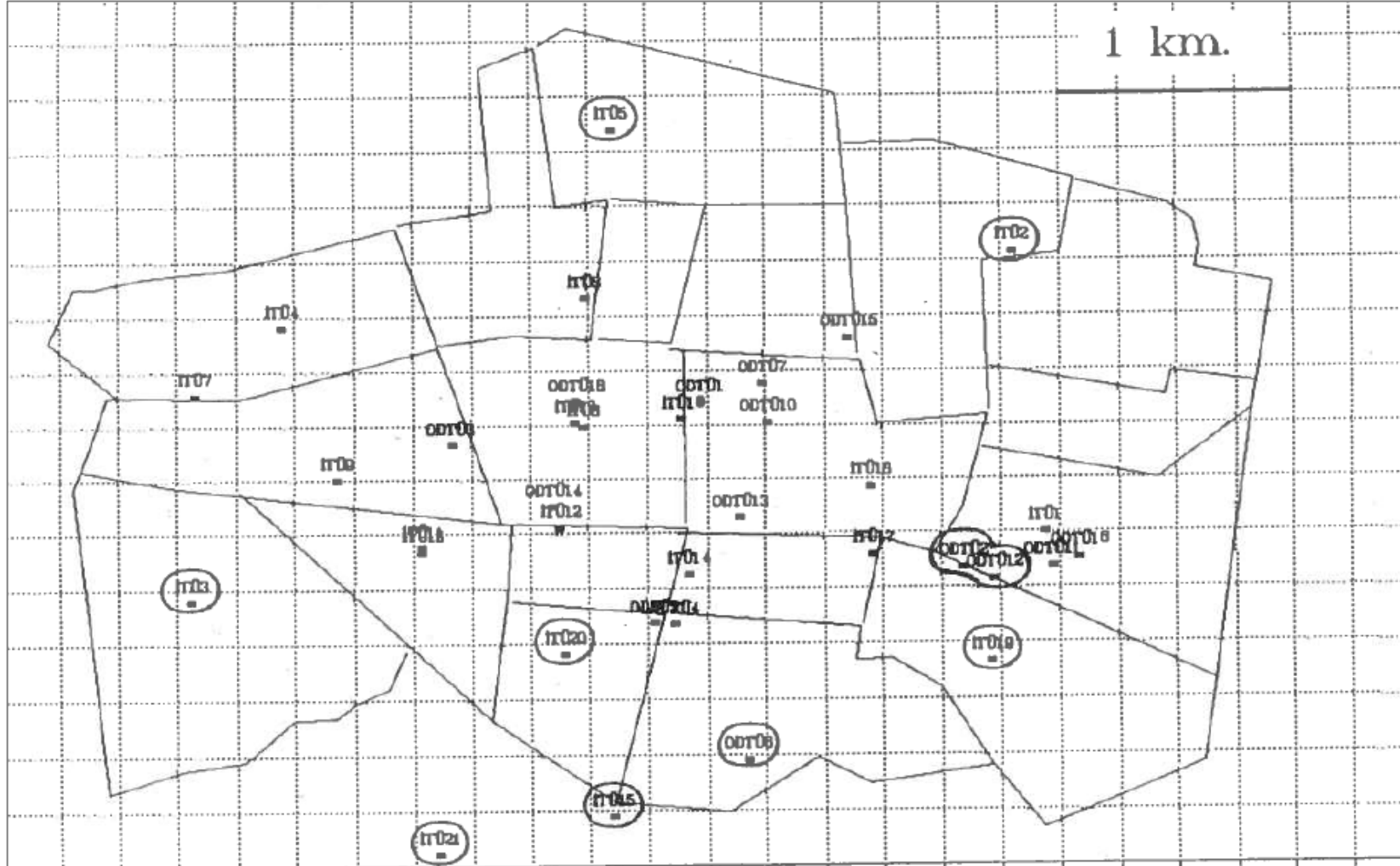
Bu çalışma kapsamında, 13 Mart 1992 Erzincan depreminden sonra, İl genelinde İTÜ ve ODTÜ (1992) tarafından yapılan geoteknik incelemelerden faydalanılmıştır (Lav 1994). Ayrıca, İyisan ve Ansal (1993) tarafından yapılan çalışmalar da incelenmiş olup, yapılan tüm bu geoteknik incelemeler, zemin tabakalarının büyütme özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir bilgi kaynağı oluşturmuştur.

İTÜ (1992) tarafından geoteknik incelemeler kapsamında 21 adet sondaj yapılmıştır. Lav'ın (1994) çalışmasında verilen zemin profilleri dikkate alındığında, sondaj derinlikleri 4.5m ile 50.0m arasında değişmekte olup, ortalama sondaj derinliği 19.0m'dir. ODTÜ (1992) tarafından yapılan geoteknik incelemelerde ise 15 adet sondaj yaptırılmıştır. Sondaj derinlikleri, Lav'ın (1994) çalışmasında verilen zemin profilleri dikkate alındığında, 20.0m ile 50.0m arasında değişmekte olup, ortalama sondaj derinliği 29.7m'dir. Bu çalışma kapsamında 36 adet toplam 844m derinliğinde sondajlardan elde edilen geoteknik verilerden faydalanılmıştır. Sondaj derinliklerine ilişkin bilgiler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Sahada yapılmış sondajlardan bazılarının 50m'den derin olduğu bilinmesine rağmen net boyları bilinmemektedir. Bu sebeple Çizelge 4.1'de "50m ve üzeri" yazılarak belirtilmiştir. İTÜ ve ODTÜ tarafından yaptırılan sondajların birlikte işlendiği sondaj planı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Sondaj planında bazı sondajların işaretlenerek gösterilmesi, Bölüm-5 kapsamında sunulan hasarlarla ilgili korelasyonlarda, çevrelerinde hasar bilgileri bulunmadığı için kullanılmadıklarını göstermektedir (Lav, 1994).

Erzincan İli'nde, Fırat nehrinin taşıdığı alüvyonlar sebebi ile, yüzmetrelerce derinliklere kadar ulaşabilen alüvyon tabakaları görülmektedir. Yapılan sondajlardan elde edilen zemin profilleri de, Erzincan'ın karmaşık jeolojik yapısını gözler önüne sermektedir.

Çizelge 4.1 : Sondaj Derinlikleri.

SONDAJ ADI	DERİNLİK (m)
ODTÜ S1	50.0m ve üzeri
ODTÜ S2	20.0
ODTÜ S3	20.0
ODTÜ S4	50.0m ve üzeri
ODTÜ S5	15.0
ODTÜ S6	20.0
ODTÜ S7	20.0
ODTÜ S10	20.0
ODTÜ S11	20.0
ODTÜ S12	50.0m ve üzeri
ODTÜ S13	20.0
ODTÜ S14	50.0m ve üzeri
ODTÜ S15	20.0
ODTÜ S16	20.0
ODTÜ S18	50.0m ve üzeri
İTÜ S1	50.0m ve üzeri
İTÜ S2	4.5
İTÜ S3	50.0m ve üzeri
İTÜ S4	10.5
İTÜ S5	12.0
İTÜ S6	9.0
İTÜ S7	17.0
İTÜ S8	20.0
İTÜ S9	15.3
İTÜ S10	17.0
İTÜ S11	18.3
İTÜ S12	18.5
İTÜ S13	18.2
İTÜ S14	20.0
İTÜ S15	18.0
İTÜ S16	12.0
İTÜ S17	10.5
İTÜ S18	14.5
İTÜ S19	21.0
İTÜ S20	21.3
İTÜ S21	24.0



Şekil 4.1 : Erzincan İli sondaj planı (Lav, 1994).

Sondajlardan elde edilen zemin profilleri sahada kil, siltli kil, kumlu kil, kumlu siltli kil, killi siltli kum, siltli kum, çakıllı kum, çakıllı kumlu silt, çakıllı killi kum ve çakıl birimlerin olduğunu göstermektedir. Bu birimlerin derinlik ve kalınlıkları sondajların her birinde değişmekte olup, tamamıyla alüvyonel zemin tabakalarının özellikleri gözlemlenmektedir. Sahada kısmen çimentolaşmış çakıl tabakası derinliği 3.0-10.0 m arasında değişmektedir (Lav, 1994). Sondajlar esnasında standart penetrasyon testi deneyi (SPT) yapılmış olup, elde edilen zemin tabakaları SPT-N darbe sayılarından, ilgili bağıntılar kullanılarak, dinamik analizler için gerekli olan zemin parametreleri belirlenmiştir.

4.2 Sondaj Lokasyonları Etrafında Hasar Oranlarının Belirlenmesi

İTÜ ve ODTÜ (1992) tarafından yapılmış sondajlar Erzincan şehrinin geneline yayılmaktadır. Yapı hasarları ve zemin amplifikasyon özellikleri arasında doğru bir ilişkinin kurulabilmesi için, belli bir bölgedeki yapıların hasar durumunun o bölgeyi temsil edecek zemine ait dinamik özellikler dikkate alınarak korelasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, sahanın sondaj lokasyonlarına bağlı olarak bölgelere ayrılması uygun görülmüştür. Çalışma kapsamında, Ansal ve diğ. (1992) ve Şengezer (1993) tarafından 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası yapılan hasar gözlemleri kullanılmıştır (Lav, 1994).

Erzincan İli'nde yapılmış 36 adet sondajın her biri etrafında 250m çapında dairesel alanlar belirlenmiştir. Her bir dairesel alan içerisinde kalan yapıların hasar durumları, o alanı temsil eden sondaj profiline ait zemin dinamik parametreleri sonucu elde edilen zemin büyütme özellikleri ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

250m çaplı alanlar içinde kalan yapıların hasar durumları, Şengezer (1999) tarafından beş ayrı kategoriye göre yapılan gözlemleri, hafif-orta-ağır olmak üzere üç ayrı kategoriye indirgenerek belirlenmiştir (Lav, 1994). Hasar oranı katsayısı; hafif hasarlı yapılar için 0.1, orta hasarlı yapılar için 0.4, ağır hasarlı yapılar için ise 0.8 alınmıştır. Bölüm-5 kapsamında analiz detayları sunulacak olan, yapı periyoduna bağlı zemin amplifikasyon özelliklerinin belirlenebilmesi için, 250m çaplı dairesel alanlar içerisinde kalan betonarme yapılar kat sayılarına göre de ayrı gruplara bölünmüştür. Her bir gruba ait hasar oranı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Her bir alan için kat sayısına göre ayrılmış betonarme yapıların toplam sayısı, hasar durumlarının hafif, orta veya ağır olmasına göre alt kategorilere dağıtılmıştır.
- Alt kategorilerdeki yapı sayıları hasar oran katsayıları (0.1, 0.4, 0.8) ile çarpılmıştır.
- Elde edilen bu değerler toplamı, ilgili gruptaki toplam yapı sayısına bölünerek yapı hasar oranları elde edilmiştir.

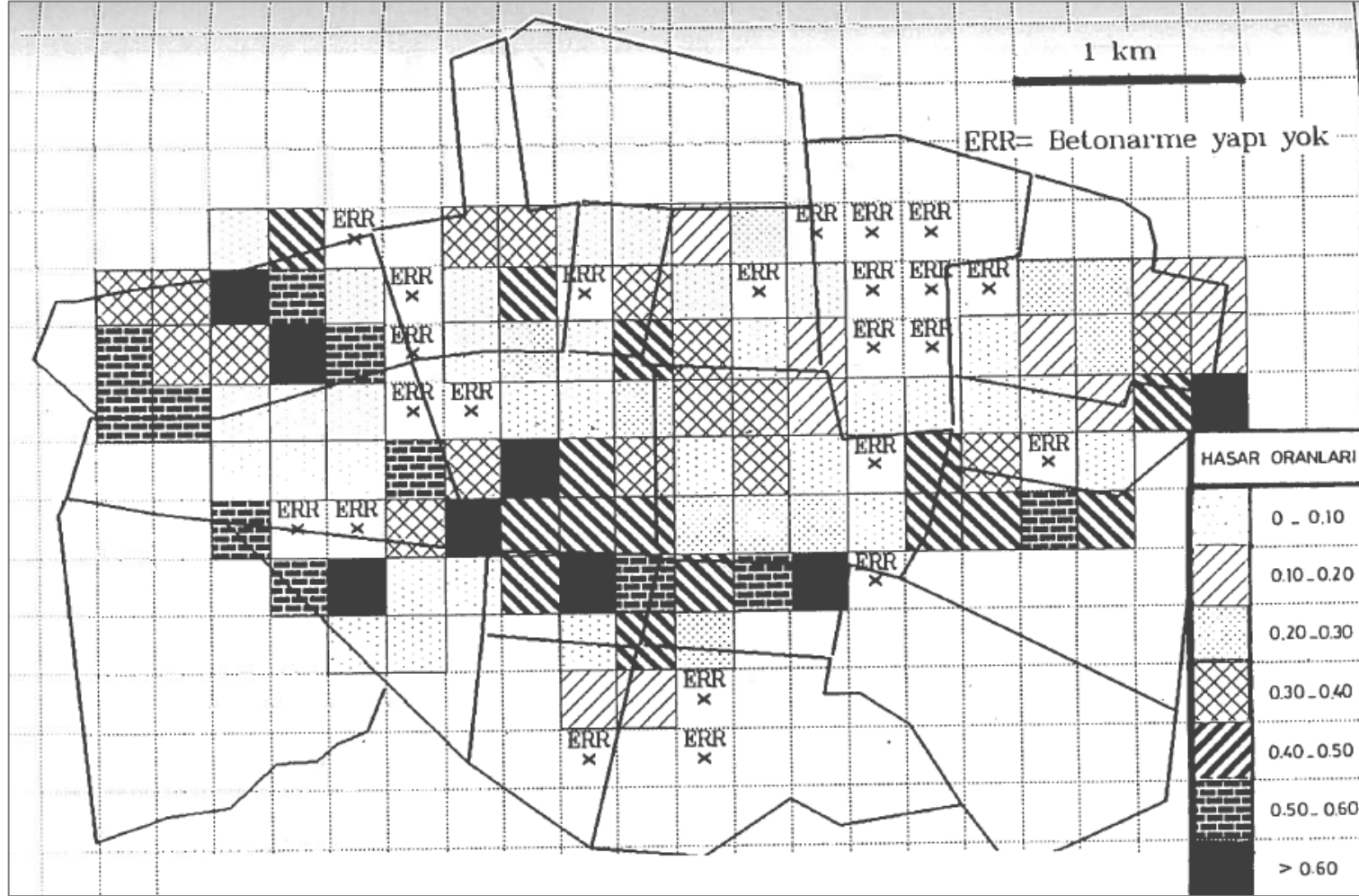
Sondaj lokasyonu bazında gruplanan yapıların hasar durumları ve hesaplanan hasar oranları Çizelge 4.2’de, şehre ait hasar dağılım planı ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Sondaj Lokasyonlarına göre yapı hasar oranları.

SONDAJ	KATLAR	TOPLAM SAYI	HAFİF HASAR (0.1)	ORTA HASAR (0.4)	AĞIR HASAR (0.8)	HASAR ORANI
ODTÜ S1	BEKAT2	15	5	9		0.27
	BEKAT3	5		4	1	0.48
	BEKAT6	1			1	0.80
ODTÜ S3	BEKAT2	1		1		0.40
	BEKAT3	1				0.00
	BEKAT4	3			3	0.80
	BEKAT5	2			2	0.80
ODTÜ S4	BEKAT2	14	8	2		0.11
	BEKAT4	3		1		0.13
	BEKAT5	2		1	1	0.60
	BEKAT6	1				0.00
ODTÜ S7	BEKAT2	12	6	6		0.25
	BEKAT3	12	2	6	4	0.48
ODTÜ S10	BEKAT2	15	4	5		0.16
	BEKAT3	9	2		3	0.29
	BEKAT4	1		1		0.40
ODTÜ S13	BEKAT2	24	5	8	1	0.19
	BEKAT3	28	12	12	4	0.33
	BEKAT4	21	3	7	11	0.57
ODTÜ S14	BEKAT2	3	2			0.07
	BEKAT3	22	2	12	4	0.37
	BEKAT4	6		4	2	0.53
	BEKAT5	3			1	0.27
	BEKAT6	2			2	0.80

Çizelge 4.2 : Sondaj Lokasyonlarına göre yapı hasar oranları (devam).

SONDAJ	KATLAR	TOPLAM SAYI	HAFİF HASAR (0.1)	ORTA HASAR (0.4)	AĞIR HASAR (0.8)	HASAR ORANI
ODTÜ S15	BEKAT3	3	2			0.07
ODTÜ S16	BEKAT4	27	3	9	3	0.23
ODTÜ S18	BEKAT2	2			1	0.40
İTÜ S1	BEKAT4	39	6	16	7	0.32
İTÜ S4	BEKAT2	2				0.00
	BEKAT3	97	13	36	40	0.49
İTÜ S6	BEKAT3	38	8	27	1	0.33
İTÜ S7	BEKAT3	49	1	40	8	0.46
	BEKAT6	3	1			0.03
İTÜ S8	BEKAT2	2			1	0.40
İTÜ S9	BEKAT2	2				0.00
İTÜ S10	BEKAT2	3		1	1	0.40
İTÜ S11	BEKAT2	2			1	0.40
	BEKAT3	5		3	1	0.40
İTÜ S12	BEKAT2	2	1	1		0.25
	BEKAT3	22	4	12	4	0.38
	BEKAT4	6		4	2	0.53
	BEKAT5	3			1	0.27
	BEKAT6	2			2	0.80
İTÜ S14	BEKAT2	16	11	2		0.12
	BEKAT3	19	3	10	3	0.35
	BEKAT4	10		5	5	0.60
	BEKAT5	2		1	1	0.60
	BEKAT6	1				0.00
İTÜ S16	BEKAT2	22	11	7	1	0.21
	BEKAT3	18	5	11	2	0.36
	BEKAT4	3			3	0.80
	BEKAT6	1			1	0.80
İTÜ S17	BEKAT1					
	BEKAT2	2		1		0.20
	BEKAT3	13	3	7	3	0.24
	BEKAT4	1			1	0.80
İTÜ S18	BEKAT2	11				0.00
	BEKAT3	22	5	9	2	0.26
	BEKAT4	1			1	0.80



Şekil 4.2 : 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası Erzincan İli hasar dağılım planı (Lav, 1994).

Çizelge 4.2’de verilen hasar dağılımları incelendiğinde, aynı bölgedeki aynı kat sayısına sahip yapıların hasar durumlarında farklılıklar gözlenmektedir. Bu durum, yapıların inşaat kalitesindeki değişkenliği ortaya koymaktadır. Yapısal kusurlar, hasar oranları üzerindeki etkisinin ne ölçüde olduğu belirlenemeyeceği için, zemin dinamik özellikleri ile yapı hasar oranlarının ilişkilendirilmesinde belirsizliğe sebep olan önemli bir faktördür.

İTÜ S2, İTÜ S3, İTÜ S5, İTÜ S13, İTÜ S15, İTÜ S19, İTÜ S20, İTÜ S21 ile ODTÜ ODTÜ S2, ODTÜ S5, ODTÜ S6, ODTÜ S11, ODTÜ S12 sondajlarının çevresinde hasar bilgileri bulunmadığı veya yapı bulunmadığı için hasar oranları belirlenememiştir (Lav, 1994).

4.3 Analizlerde Kullanılan Zemin Parametrelerinin Tayini

Depremler esnasında oluşan hasarlar üzerinde, zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışları oldukça etkilidir. Davranış analizlerinde gerekli olan zemin özelliklerinin başlangıç değerleri çeşitli tablolar ve korelasyonlar kullanılarak yaklaşık belirlenebilmektedir.

4.3.1 Kayma dalgası hızı

Cisim dalgalarının hızları, içinden geçtikleri zeminlerin rijitliğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Kayma dalgası hızlarının belirlenmesinde, şehrin genelinde yapılan 36 adet sondaj sırasında elde edilen SPT-N darbe sayıları kullanılmıştır. Kayma dalgası hızı belirlenmesinde saha deneylerinin yetersiz kaldığı durumlarda, kayma dalgası hızlarının SPT-N darbe sayılarına bağlı hesaplanması, yaygın kullanılan bir çözüm yoludur.

Kayma dalgası hızları ve SPT-N darbe sayılarına arasındaki ilişki birçok araştırmacı tarafından hesaplanmış olup, Thanker ve Rao (2011)’in çalışmasında tablolştırılmış olup, bu korelasyonlar Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında SPT-N değerlerinden kayma dalgası hızlarının hesaplanabilmesi için, Kanai (1966), Imai ve Yoshimura (1970), Ohba ve Toriumi (1970), Ohta ve diğ. (1972), Ohsaki ve Iwasaki (1973), Imai ve Yoshimura (1975), Imai (1977), Ohta ve Goto (1978), Imai ve Tonouchi (1977), Seed ve Idriss (1981), İyisan (1996) tarafından verilen bağıntılardan yararlanılmıştır.

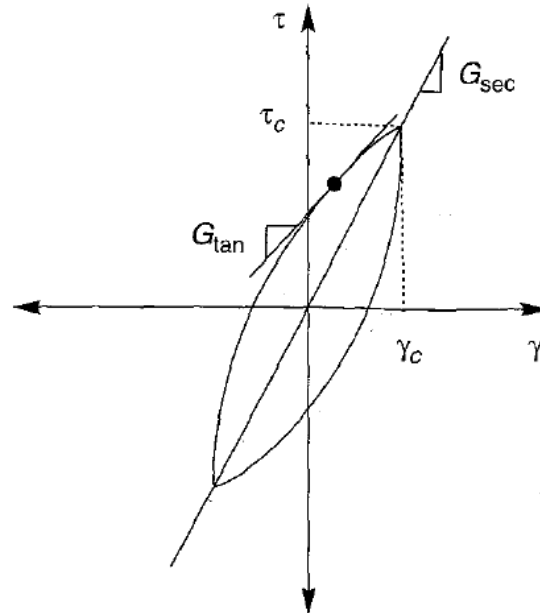
Çizelge 4.3 : SPT-N ve kayma dalgası hızı arasındaki mevcut korelasyonlar (Thaker ve Rao, 2011).

	Tüm zemin tipleri	Kum	Kil
Kanai (1966)	$V_s=19N^{0.5}$	----	----
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s=84N^{0.31}$	----	----
Shibata (1970)	----	$V_s=32N^{0.5}$	----
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$	----	----
Fujiwara (1972)	$V_s=92.1N^{0.337}$	----	----
Ohta ve diğ. (1972)	----	$V_s=87N^{0.36}$	----
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s=82N^{0.39}$	----	----
Imai ve Yoshimura (1975)	$V_s=92N^{0.329}$	----	----
Imai (1977)	$V_s=91N^{0.337}$	$V_s=80.6N^{0.331}$	$V_s=80.2N^{0.292}$
Ohta ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$	$V_s=88N^{0.34}$	----
JRA(1980)	----	$V_s=80N^{0.33}$	$V_s=100N^{0.33}$
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61N^{0.5}$	----	----
Imai ve Tonouchi (1982)	$V_s=97N^{0.314}$	----	----
Sykora ve Stokoe (1983)	----	$V_s=100.5N^{0.29}$	----
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+0.3185)^{0.202}$	----	----
Okamoto ve diğ. (1989)	----	$V_s=125N^{0.3}$	
Lee (1990)	----	$V_s=57.4N^{0.49}$	$V_s=114.43N^{0.31}$
Sisman (1995)	$V_s=32.8N^{0.51}$	----	----
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$	----	$V_s=76.55N^{0.445}$
Iyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$	----	----
Jafari ve diğ. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$	----	----
Kiku ve diğ. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$	----	----
Jafari ve diğ. (2002)	----	----	$V_s=27N^{0.73}$
Hasancebi ve Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.308}$	$V_s=90.82N^{0.319}$	$V_s=97.89N^{0.269}$
Maheshwari ve diğ. (2010)	$V_s=95.64N^{0.301}$	$V_s=100.53N^{0.265}$	$V_s=89.30N^{0.358}$

Kayma dalgası hızının belirlenmesindeki hassasiyet, Bölüm 2.4'te verilen örnekte de görüldüğü üzere, zemin amplifikasyon özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kayma dalgası hızları SPT-N değerlerine bağlı dönüşümler ile hesaplanmıştır. Birçok araştırmacı tarafından verilen bağıntılara göre hesaplanan kayma dalgası hızları, geniş bir aralığa yayılmaktadır. Bu sebeple zemin profillerinde idealleştirmeler yapılması gerekmektedir. Enerji düzeltmelerinin kayma dalgası hızları üzerindeki etkisinin de analizlerde dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla, SPT-N değerlerine bağlı dönüşümler ile hesaplanan kayma dalgası hızları maksimum kabul edilmiş ve %20 ile %40 oranında azaltılarak yapılan analizler tekrarlanmıştır. Analizlere ilişkin detaylı açıklamalar ve elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te verilmiştir.

4.3.2 Kayma modülü ve sönüm oranı

Depremler veya dalga yükleri gibi tekrarlı yüklemeler altında zeminin davranışı, o zeminin dinamik parametreleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Tekrarlı yükler altında, zeminin gerilme şekil değiştirme davranışı, Şekil 4.3'te görüldüğü üzere, histeresis ilmiği oluşturur.



Şekil 4.3 : Sekant kayma modülü; G_{sec} , ve tanjant kayma modülü, G_{tan} (Kramer, 1996).

Histeresis ilmiğinin eğimi ve genişliği, tekrarlı yükler altında zeminin gerilme şekil davranışını tanımlayan önemli iki parametredir. İlmiğin eğimi zeminin rijitliğine

bağlı olup, yükleme anında herhangi bir nokta için tanjant kayma modülü; G_{tan} ile tanımlanabilmektedir. Zemin rijitliği; tekrarlı deformasyonun büyüklüğü, boşluk oranı, efektif gerilme, plastisite indeksi, aşırı konsolidasyon oranı ve tekrarlı çevrim sayısından etkilenmektedir. Tanjant kayma modülü, G_{tan} değeri yükleme döngüsü boyunca değişmektedir. İlmiğin uç noktalarından geçen doğrunun eğimi ile, histeresis ilmiği için ortalama bir değer belirlenebilmekte olup, bu değer sekant kayma modülü; G_{sec} olarak ifade edilmektedir (Kramer, 1996);

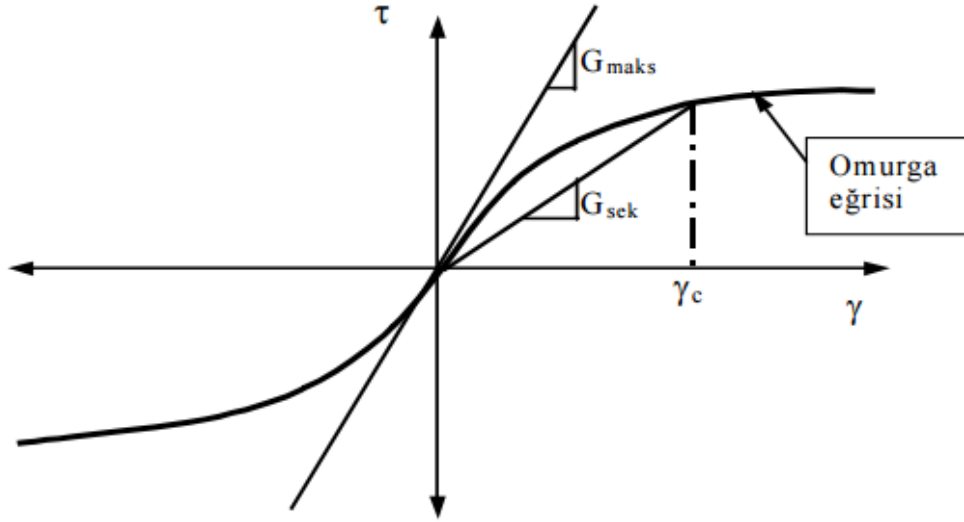
$$G_{sec} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4.1)$$

Burada τ ; gerilme değerini, γ ise birim şekil değiştirme değerini ifade etmektedir. Histeresis ilmiğinin genişliği ise, enerji kaybı ile ilişkili olup, sönüm oranı; ξ ile tanımlanabilmektedir (Kramer, 1996);

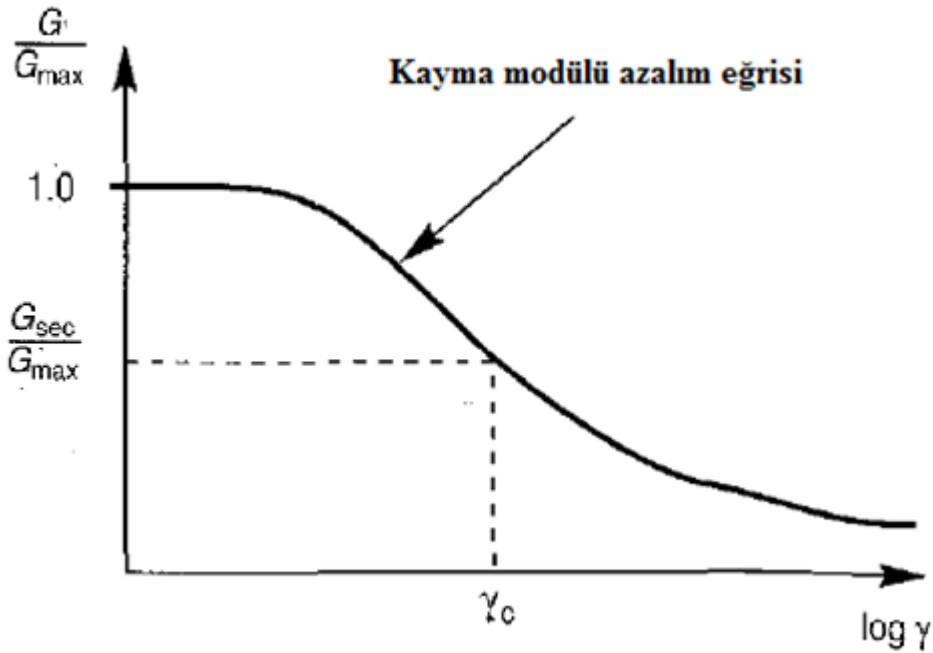
$$\xi = \frac{W_D}{4\pi W_s} = \frac{1}{2\pi} \frac{A_{ilmik}}{G_{sec} \gamma^2} \quad (4.2)$$

Burada, W_D ; yutulan enerji, W_s ; maksimum deformasyon enerjisi, A_{ilmik} ; histeresis ilmiğinin alanıdır. Sönüm oranı; zeminde bir çevrim sonucu yutulan enerji miktarı anlamına gelmektedir. Bölüm 5'te detaylı açıklanacak olan eşdeğer lineer analiz yönteminde, G_{sec} modülü (G ; kayma modülü olarak da anılmaktadır) ve sönüm oranı; ξ parametreleri önem arz etmektedir. Zeminin lineer davranışı sabit bir G_{sec} ve ξ değeri ile belirlenebilmektedir. Eşdeğer lineer analiz yöntemi, zeminlerin dinamik yükler altında gösterdiği lineer olmayan davranışını (gerilme şekil değiştirme ilişkisine göre kayma modülü ve sönüm oranının sürekli değişimi) değişen G_{sec} modülleri ile yaklaşık olarak tanımlamaktadır. Bu sebeple maksimum kayma modülü G_{max} ve kayma modülü oranı; G/G_{max} parametreleri de göz önüne alınmaktadır. Kayma modülü, kayma deformasyonunun büyüklüğüne dayalı olarak değişmektedir. Düşük deformasyon seviyelerinde sekant kayma modülü değeri yüksek iken, deformasyon arttıkça zemin yoğrulmaya başlar ve Şekil 4.4'te görüldüğü üzere sekant kayma modülü değeri azalır. Çevrimsel deformasyon genliğinin sıfır olduğu, zeminin lineer davranış gösterdiği küçük deformasyon değerlerinde başlangıç kayma modülü en büyük değerini almakta olup, maksimum kayma modülü; G_{max} olarak adlandırılmaktadır. Kayma modülü oranı ise; G_{sec}/G_{max} (G/G_{max}) sekant kayma modülü değerlerinin maksimum kayma modülüne oranı olarak ifade edilir. Birim kayma deformasyonu seviyesi arttıkça kayma modülü oranı da azalmakta olup,

kayma modülü oranının birim kayma deformasyonuna bağlı değişimi Şekil 4.5'te verildiği gibidir.



Şekil 4.4 : Maksimum ve Sekant kayma modülleri (Okur ve Ansal, 2009).



Şekil 4.5 : Kayma modülü azalım eğrisi (Kramer, 1996).

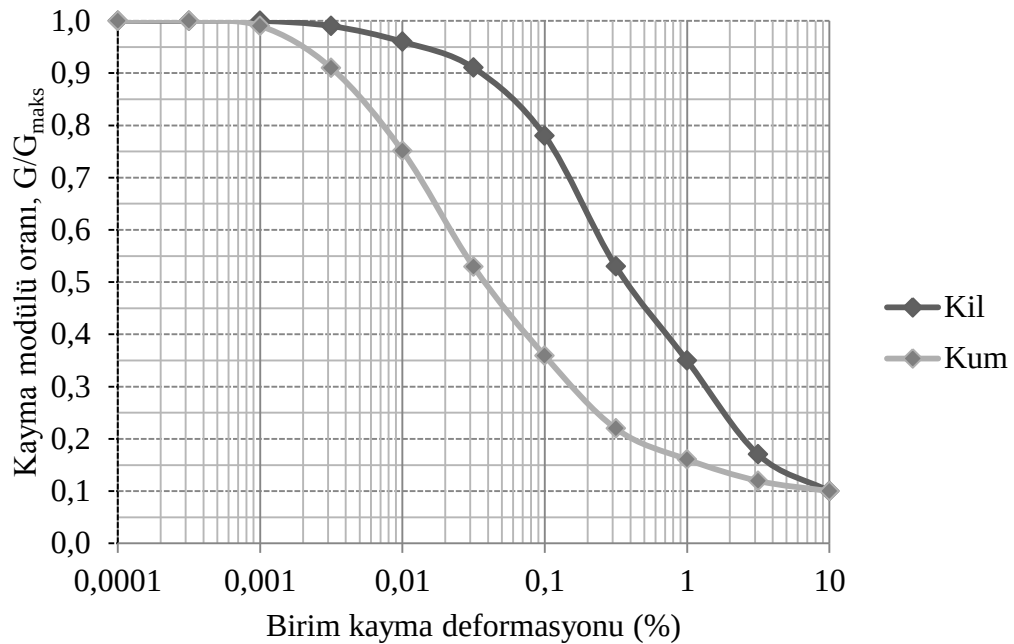
Maksimum kayma modülü $G_{\max}$ değeri kayma dalgası hızına; v_s , ve zemin yoğunluğuna; ρ , bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir (Kramer, 1996);

$$G_{\max} = \rho v_s^2 \quad (4.3)$$

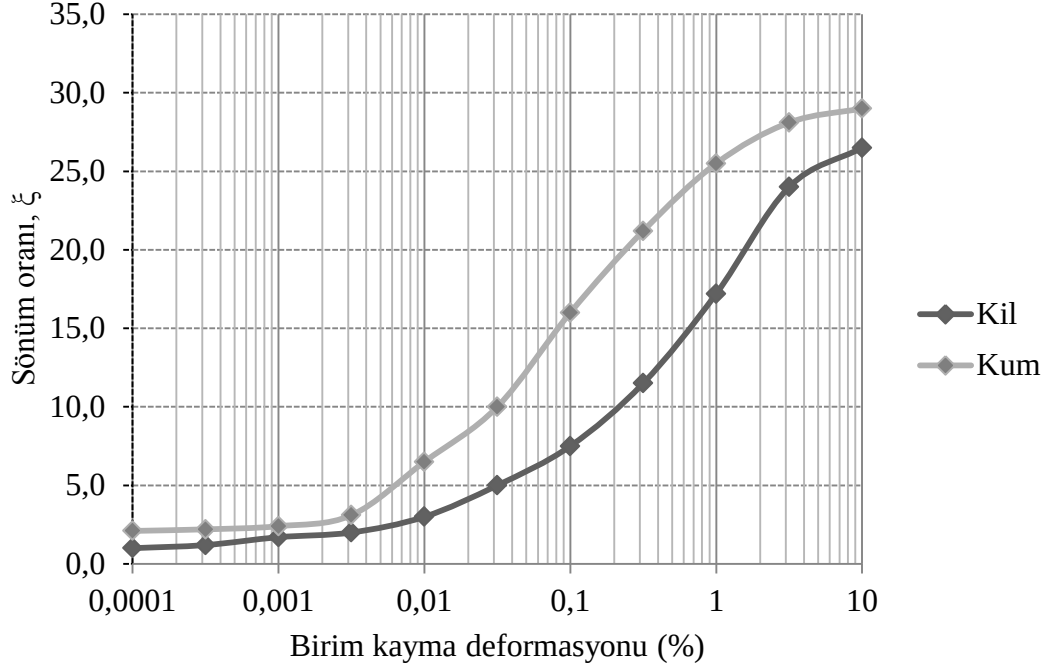
Kayma modülü oranı; $G/G_{\max}$, zeminlerin nasıl bir nonlinear davranış sergilediklerini ortaya koyar. Eğer zeminin davranışı lineer olsaydı, kayma modülü oranı tüm deformasyon seviyelerinde 1.0 olurdu (Proshake manual).

Kayma oranının birim kayma deformasyonuna bağlı değişimini temsil eden eğrilerin bir kısmı, Ishihara ve Ansal (1982) tarafından hazırlanan raporda verilmiş olup, Seed ve Idriss (1970), Yoshimi ve Ohka (1973), Hashiba (1971), Silver ve Seed (1971), Kuribayashi (1974), Hara (1973), Nishigaki (1971), Taylor ve Parton (1973), Ishihara ve diğ. (1975), Anderson (1974) tarafından elde edilmiş eğrilerdir. Çakıllı zeminler için Kokusho ve diğ. (1991) tarafından elde edilmiş eğriler alınmıştır. Kohezyonsuz zeminler için Seed ve diğ. (1984) tarafından elde edilmiş eğriler alınmıştır (Lav, 1994).

Analizlerde kullanılan kayma modülü oranı ve sönüm oranının birim kayma deformasyonu ile değişimi, Lav'ın (1994) çalışmasına bağlı alınarak seçilmiş olup, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.6 : Kil ve kumlar için kayma modülü oranının birim kayma deformasyonuna bağlı değişimi.



Şekil 4.7 : Sönüm oranının birim kayma deformasyonuna bağlı değişimi, kil ve kumlar için.

Bölüm 5’te anlatılacağı üzere, Shake programı zemin tipleri için kil, kum ve kaya olmak üzere 3 tip seçim hakkı tanımaktadır.

4.3.3 Birim hacim ağırlık

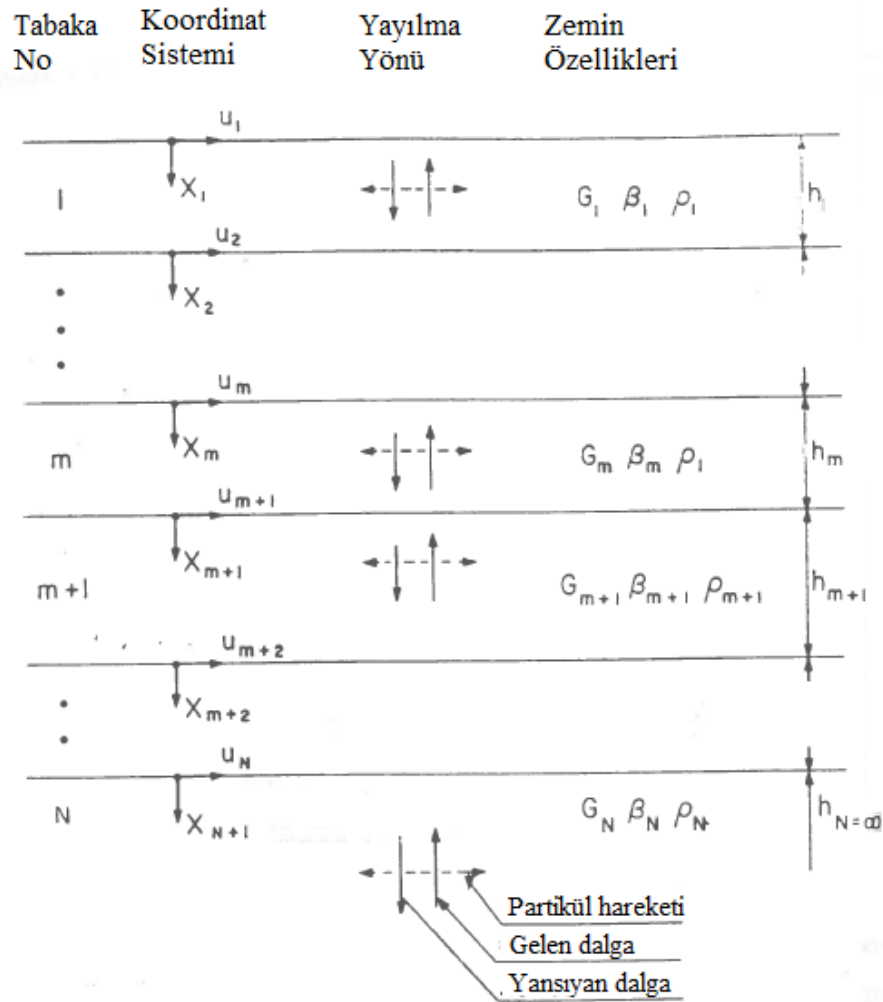
Zemin tabakalarının birim hacim ağırlıklarının belirlenmesinde, SPT-N değerlerinden yararlanılmış ve Bowles (1982) tarafından, yoğunluklar için verilmiş olan bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$\rho = 1587 N^{0.0085} \quad (4.4)$$

5. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

5.1 Analizlerde Kullanılan Shake Programının Özellikleri

Zemin davranış analizleri eşdeğer lineer analiz yöntemine dayanan SHAKE programı ile gerçekleştirilmiştir. SHAKE programı, düşey yönde ilerleyen kayma dalgalarına maruz kalan, homojen, viskoelastik sonsuz yatay zemin tabakalarının davranışlarını analiz etmektedir. Tek boyutlu bu sistem, Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : SHAKE programı bir boyutlu sistemi (Schnabel ve diğ, 1972).

SHAKE programında analizler aşağıdaki kabullere dayanarak yapılmaktadır (Schnabel ve diğ, 1972);

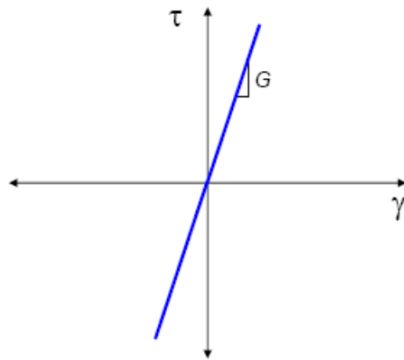
- Zemin tabakaları yatay yönde sonsuz uzamaktadır.
- Her bir tabaka; kendisine ait kayma modülü, kritik sönüm oranı, yoğunluk ve kalınlık bilgileri ile tam olarak tanımlanmıştır.
- Zemin davranışlarına, anakayadan yüzeye doğru yayılan kayma dalgaları sebep olmaktadır.
- Kayma dalgaları, eşit zaman aralıklarına karşılık gelen ivme değerleri olarak verilmiştir.
- Her tabaka için hesaplanan ortalama efektif deformasyona bağlı kayma modülü ve sönüm oranı eşdeğer lineer yöntemle göre hesaplanmıştır.

5.1.1 Shake programı hesap yöntemi

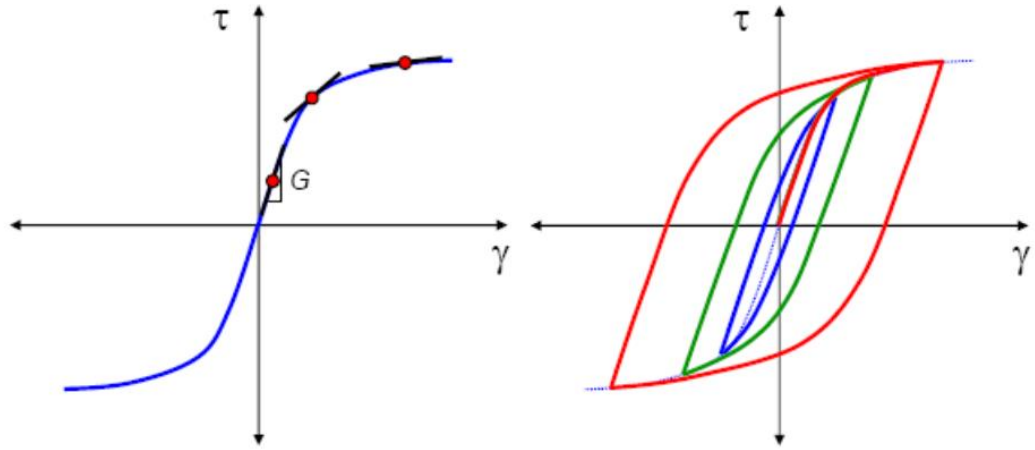
Shake programı, zemin davranışını frekans tanım alanında incelemektedir. Zaman tanım alanındaki girdi deprem kaydı, Fourier serileri ile farklı genlik, frekans ve faz açılara sahip sinüs dalgalarının toplamına çevrilir. Her bir sinüs dalgası için zeminde oluşan davranışlar elde edilir ve her biri toplanarak o zeminin davranışı elde edilir.

Shake programı eşdeğer lineer analiz yöntemine dayanmaktadır. Eşdeğer lineer analiz yöntemini açıklayabilmek için, zeminlerin lineer ve lineer olmayan (nonlinear) davranışlarını incelemek faydalı olacaktır.

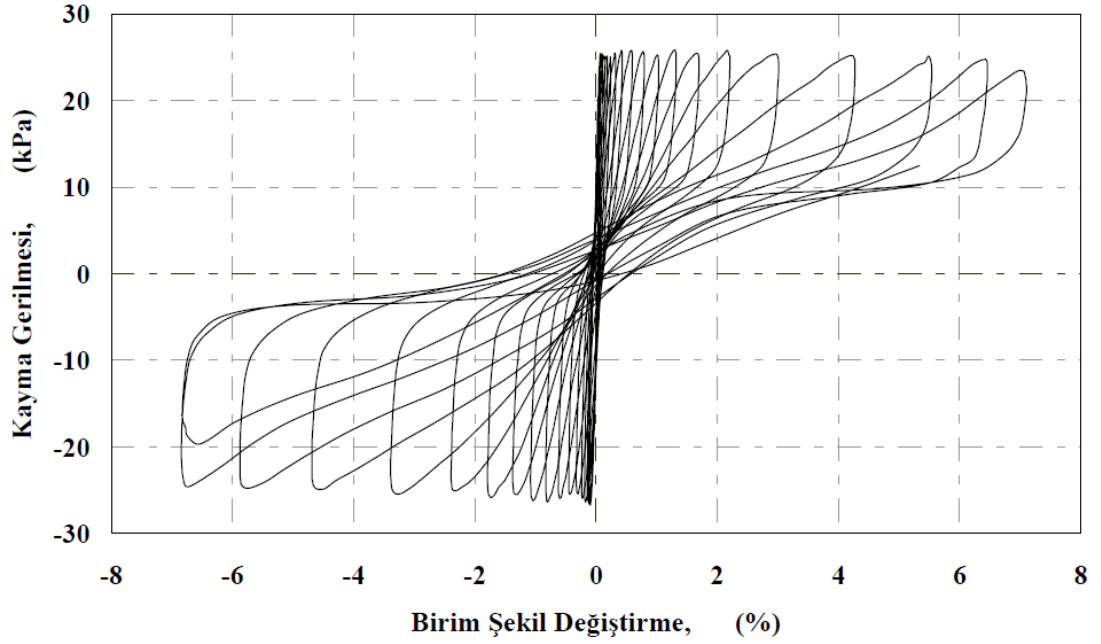
Düşük genlikli yüklerde zeminlerin rijitliği sabit olup, zemin Şekil 5.2'deki gibi lineer elastik bir davranış gösterir ve kayma şekil değiştirmesi kayma gerilmesi ile orantılı olarak artar. Bu deformasyon düzeylerinde zemin davranışını kontrol eden parametre maksimum kayma modülü; G_{max} 'tır.



Şekil 5.2 : Lineer elastik zemin davranışı (URL-4, 2015).



Şekil 5.3 : Nonlinear elastik ve nonlinear elastik olmayan zemin davranışları (URL-4, 2015).

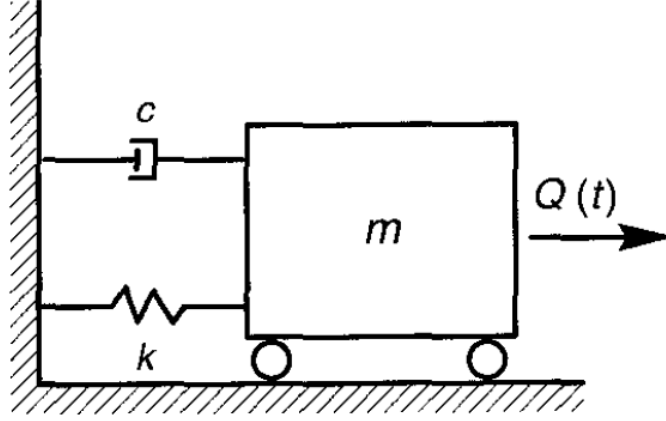


Şekil 5.4 : Laboratuvar çalışmasında kil için elde edilen kayma gerilmesi birim şekil değiştirme eğrisi (Okur ve diğ, 2007).

Tekrarlı deprem yükleri altında zeminin gösterdiği davranış, lineer olmayan analizlerde zaman tanım alanında çözümlenmekte olup, her bir zaman aralığı için o andaki kayma modülü; G_{tan} , ve sönüm oranı değeri alınmaktadır. Tekrarlı yüklerin etkisi altında zeminin kayma modülü gittikçe azalmakta, sönüm oranı ise artmaktadır.

Eşdeğer lineer analiz yöntemi ise, zeminin tekrarlı yükler altındaki lineer olmayan bu davranışına, frekans tanım alanında çözümleme yapan bir yaklaşım yöntemidir.





Şekil 5.6 : Zeminde oluşan elastik ve viskoz gerilmeler (Kramer, 1996).

Kayma dalgalarının yatay tabakalı bir ortamda aşağıdan yukarıya doğru sadece düşey doğrultuda ilerleme durumlarında, u =yatay deplasman bileşeni için diferansiyel dalga denklemi;

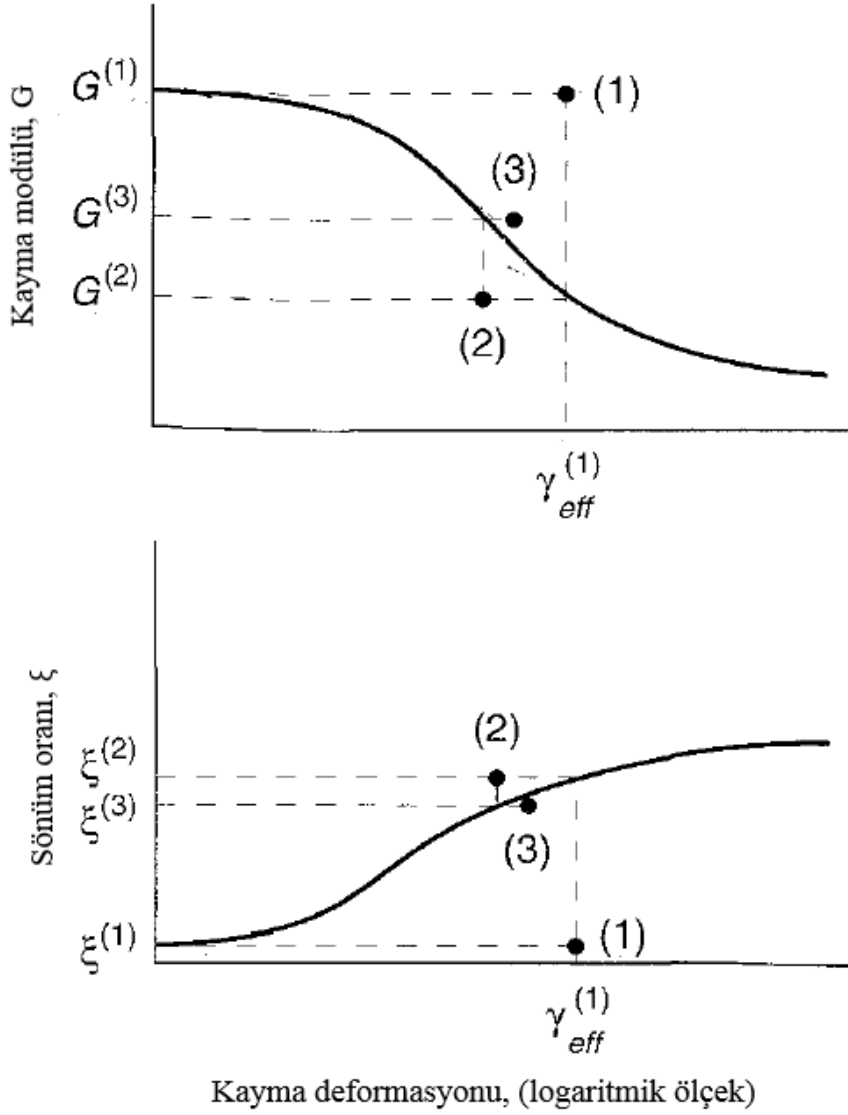
$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (5.1)$$

şeklinde alınabilir. Burada x ; zemin yüzeyinden aşağı doğru ölçülen uzaklıklar, G ; kayma modülü, ρ ; birim hacim için zeminin kütlesi, η ; birim kayma deformasyonunun birim hızı için viskozite katsayısı'dır. Bu katsayının birimi (gerilme x saniye) cinsindedir. Herhangi bir x - derinliğinde kayma gerilmeleri ile kayma şekil değiştirmesi arasındaki ilişki için;

$$\tau = G\gamma + c \frac{\partial \gamma}{\partial t}, \quad \gamma = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (5.2)$$

bağıntısı yazılır (Kaptan ve Tezcan, 2012). Denklem eşitliğinin sağ tarafındaki ilk kısım ($G\gamma$); zeminin elastik özelliğini temsil ederken, ikinci kısmı zeminin sönüm özelliğini belirtmek içindir.

Shake programı zeminin lineer olmayan davranışını yansıtabilmek amacıyla, her bir tabakada oluşan eşdeğer uniform deformasyon ile uyumlu kayma modülü ve sönüm değerlerini elde etmek için iteratif bir hesap yapar. Şekil 5.7'de görüldüğü üzere, kayma modülü ve sönüm oranının genellikle, aynı küçük deformasyon seviyelerine karşılık gelecek şekilde seçilmesi ile analize başlanır (Kramer, 1996).



Şekil 5.7 : Eşdeğer lineer analizde, kayma deformasyonu ile uyumlu kayma modülü ve sönüm oranının iterasyon ile bulunması (Kramer, 1996).

Seçilen kayma modülü; $G^{(1)}$ ve sönüm oranı; $\xi^{(1)}$ değerleri için eşdeğer lineer analiz yapılarak efektif kayma deformasyon değeri $\gamma_{eff}^{(1)}$ değeri hesaplanır. Efektif kayma deformasyonu; γ_{eff} maksimum kayma deformasyonu değerine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir;

$$\gamma_{eff}^i = R_\gamma \gamma_{max} \quad (5.3)$$

Burada R_γ değeri efektif kayma deformasyonu ile maksimum kayma deformasyonu arasındaki oran olup, denklemin büyüklüğüne; M , bağlı olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanabilmektedir;

$$R_\gamma = \frac{M-1}{10} \quad (5.4)$$

Efektif kayma deformasyonu ve maksimum kayma deformasyonu arasındaki oran, geçmiş dönem çalışmalarına istinaden 0.65 olarak da alınabilmektedir (Proshake manual).

Hesaplanan $\gamma_{\text{eff}}^{(1)}$ değeri, zemin tabakası için belirlenen kayma deformasyonuna bağlı kayma modülü ve sönüm oranı eğrilerinde, seçilen $G^{(1)}$ ve $\xi^{(1)}$ değerlerine karşılık gelen kayma gerilmesi değerinden daha büyüktür ve iterasyon yapılması gerekir. Bu sebeple hesaplanan $\gamma_{\text{eff}}^{(1)}$ değeri için kayma modülü ve sönüm oranının birim deformasyona bağlı eğrilerinden uygun kayma modülü $G^{(2)}$ ve sönüm oranı $\xi^{(2)}$ değerleri seçilir. Kayma modülü $G^{(2)}$ ve sönüm oranı $\xi^{(2)}$ değerleri için $\gamma_{\text{eff}}^{(2)}$ değeri hesaplanır. Bir önceki hesaplanan efektif kayma deformasyonu değeri ile yeni hesaplanan değer arasındaki fark tolere edilebilir seviyeye ulaşana kadar iterasyon tekrarlanır (Kramer, 1996). Tolere edilebilir fark oranı %5-%10 civarında alınması uygun olup, genelde 3-5 iterasyon ile bu seviyelere ulaşılmaktadır (Schnabel ve diğ, 1972).

5.1.2 Shake programı avantaj ve dezavantajları

Finn (1982 ve 1988) çalışmalarında, geliştirilmiş pek çok davranış analizi içerisinde, eşdeğer lineer metod ve SHAKE programının aşağıdaki sebeplerden dolayı tasarıma yönelik çalışmalarda kullanılmasının uygun olcağını belirtmiştir;

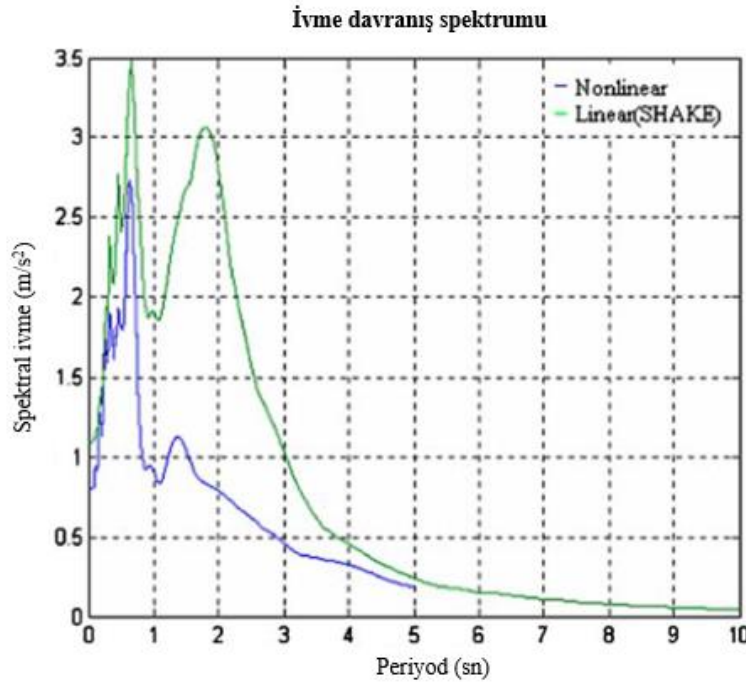
- Analizlerin yapılabilmesi için gereken girdi sayısının sınırlı oluşu
- Çeşitli zeminlerin alacağı parametre değerleri için literatürde fazla sayıda çalışmaların bulunması
- Diğer davranış analizleri ile karşılaştırıldığında sonuçların muhafazakar tarafta kalması
- Hesaplama süresi ve bilgisayar hafızası gereksinimi açısından problem yaratmaması (Lav, 1994).

Finn (1982) çalışmasında belirtildiği üzere, programın dezavantajları aşağıdaki gibidir;

- Analiz yönteminin dayandığı kabullerin oluşturduğu sınırlamalar

- Sismik yüklemeler sonucu meydana gelen boşluk suyu basıncı artışlarının, mukavemet ve rijitlik üzerindeki etkisinin analiz esnasında sürekli olarak dikkate alınamaması
- Kalıcı deformasyonların doğrudan hesaplanamaması (Lav, 1994).

Arslan ve Siyahi (2006) tarafından eşdeğer lineer analiz yöntemi ile lineer olmayan analiz yöntemini karşılaştırmak amacı ile numerik bir çalışma yapılmıştır. Her iki analiz neticesinde elde edilen derinlik boyunca maksimum ivme dağılımları ve spektrum oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, eşdeğer lineer analiz metodunu temsil eden SHAKE programı ile hesaplanan maksimum ivme değerlerinin daha büyük olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi, SHAKE analizlerinin yüksek frekans aralığında ivmeleri hesaplamasıdır. Şekil 5.8’de Arslan ve Siyahi (2006) tarafından, SHAKE ve lineer olmayan (nonlinear) analiz sonucu, elde edilen spektral ivme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Lineer olmayan analiz ile elde edilen spektral ivme değerlerinin karşılaştırılması (Arslan ve Siyahi, 2006)

5.1.3 Shake program girdi ve çıktıları

SHAKE programı FORTRAN dilinde yazılmış bir program olup, analizler data dosyalarına yazılan komutlara istinaden yapılmaktadır. Programın verileri “.dat” uzantılı text dosyalarına yazılmaktadır. SHAKE programında kullanılan komutlar

Çizelge 5.1’de verilmiş olup, analizlerde kullanılan komutlar açıklanmıştır (Schnabel ve diğ, 1972).

Çizelge 5.1 : SHAKE programı komutları (Schnabel ve diğ, 1972).

Komut	Komut Tanımı
1	Deprem kaydının tanıtılması
2	Zemin tabakaları verilerinin tanıtılması
3	Deprem kaydının belli bir zemin tabakasına atanması
4	Deformasyonla uyumlu zemin özelliklerinin elde edilmesi
5	Belirlenen zemin tabakalarında hareketin hesaplanması
6	Deprem kaydının çizdirilmesi
7	Deprem kaydının değiştirilmesi
8	Efektif deformasyon ve dinamik özellikler arasındaki ilişkinin tanıtılması
9	Davranış spektrumunun hesaplanması
10	Zaman aralığının arttırılması
11	Zaman aralığının azaltılması
12	Deprem kaydının Fourier spektrumunun çizdirilmesi
13	Hesaplanan hareketlerin Fourier spektrumlarının çizdirilmesi
14	Deprem kaydının zaman tanım alanında çizdirilmesi
15	Amplifikasyon spektrumunun hesaplanması
16	Belirlenen zemin tabakalarının orta noktalarında gerilme-şekil değiştirme durumunun çizdirilmesi

Data dosyalarında öncelikle, yapılacak her bir işlemin komut numarasının ilk satıra yazılması gerekmekte ve böylelikle programın yapılacak işlemi algılaması sağlanmaktadır. Komut numarasının alt satırına o komuta ait istenen veriler sırasıyla girilmelidir.

Komut-1 ile deprem kaydı programa tanıtılmaktadır. İvme değerleri hazırlanan kartlardan okunarak, maksimum ivme değeri program tarafından bulunur. Deprem kaydının programa tanıtılabilmesi için, o kayda ait aşağıdaki bilgilerin program tarafından istenen sıra ile data dosyalarına yazılması gerekmektedir;

- Kartlardan okunacak ivme değerleri sayısı
- Fourier dönüşümünde kullanılacak terim sayısı
- İvme değerleri arasındaki zaman aralığı (sn cinsinden)
- Deprem kaydının ismi

- Hesaplamalarda kullanılacak maksimum frekans değeri (yapılan analizlerde 20 alınmıştır)

Komut-1'de deprem kaydını tanımlayıcı bu bilgilerin girilmesinin ardından (g's) birimindeki ivme değerleri her bir satırda 8 tane olacak şekilde data dosyasına yazılır. Data dosyasına girilmiş bir deprem kaydı Şekil 5.9'da göstermiştir.

1	2080	4096	.01	ERZINCAN	EW	13/3/1992		
1.				20.				
.008378	.006930	.000168	-.004680	-.002818	.003873	.008688	.006794	1
.000067	-.004781	-.003027	.000626	.001557	.001573	.001556	.001540	2
.001522	.001506	.000423	-.002732	-.007124	-.011095	-.013134	-.012138	3
-.008920	-.006611	-.006954	-.009195	-.011841	-.013345	-.024812	-.039657	4
-.042072	-.038976	-.036665	-.027715	-.007984	.006137	.025411	.030845	5
.031022	.031005	.025409	.017984	-.033713	-.058709	-.070719	-.062066	6
-.003021	.020838	.028891	.026903	.014847	-.004430	-.027093	-.048657	7
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.043238	.046935	.048211	.049283	.050866	.052571	.053935	.054587	158
.060489	.068170	.070122	.070176	.070158	.070142	.070124	.067345	159
.058682	.044907	.028714	.013306	.001732	-.003719	.000844	.004018	160
.007315	.009626	.001945	-.008884	-.013174	-.016785	-.019307	-.020669	161
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
-.002643	-.002659	-.002677	-.002693	-.002710	-.002727	-.002420	-.001399	256
.000319	.002533	.004970	.007337	.009343	.010747	.011377	.011477	257
.011464	.011447	.011431	.011413	.010946	.009601	.007733	.006043	258
.005170	.004763	.004015	.002807	.001313	-.000241	-.001623	-.002624	259
-.003096	-.003195	-.003214	-.003232	-.003248	-.003265	-.003282	-.003299	260

Şekil 5.9 : SHAKE programına deprem kaydının tanıtılması.

Komut-2'de zemin tabakaları aşağıdaki verilerin girilmesi ile programa tanıtılmaktadır;

- Zemin profili sayısı (Analizlerde 1 alınmıştır)
- Zemin tabaka sayısı
- Yer altı suyunun görüldüğü ilk tabakanın numarası
- Zemin profilinin ismi

Yukarıdaki genel bilgilerin verilmesinin ardından, zemin profili içerisindeki her bir zemin tabakasının tabaka numarası, zemin tipi, alt tabaka sayısı (analizlerde 1 alınmıştır), tabaka kalınlıkları (ft cinsinden), başlangıç sönüm oranı (0.005

alınmıştır), birim hacim ağırlığı, başlangıç kayma dalgası hızı (ft/sn cinsinden) sırasıyla girilir. Programa tanıtılmış bir zemin profili Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

1	20	17	S18-ODTÜ	ERZİNCAN		
1	1	1	5.47	0.050	.122	656.
2	2	1	5.47	0.050	.136	1312.
3	2	1	5.47	0.050	.130	984.
4	1	1	5.47	0.050	.122	656.
5	2	1	5.47	0.050	.130	984.
6	2	1	5.47	0.050	.159	3281.
7	2	1	5.47	0.050	.153	2592.
8	2	1	5.47	0.050	.148	2165.
9	2	1	5.47	0.050	.148	2133.
10	2	1	5.47	0.050	.148	2133.
11	2	1	5.47	0.050	.152	2526.
12	2	1	5.47	0.050	.152	2526.
13	2	1	8.20	0.050	.148	2165.
14	2	1	8.20	0.050	.148	2165.
15	2	1	8.20	0.050	.146	1969.
16	1	1	8.20	0.050	.133	1115.
17	1	1	16.40	0.050	.133	1115.
18	2	1	16.40	0.050	.158	3117.
19	2	1	32.81	0.050	.153	2625.
20	3	1		0.050	.184	8000.

Şekil 5.10 : SHAKE programına zemin profilinin tanıtılması.

Komut-3'te deprem kaydı istenen zemin tabakasının üst noktasına atanmaktadır. Komut numarasının yazılmasının ardından, deprem kaydının atanacağı tabakanın numarası ile kaydın ne şekilde atanacağı seçilir. Bu seçimde iki tip mevcuttur: zemin profili içerisindeki alt tabaka (sublayer within profile) veya referans anakaya yüzeyi (outcropping) olarak tanımlanmaktadır. Profil içerisinde tabaka seçilmesi durumu, seçilen tabakanın üzerinde başka zemin tabakalarının da bulunduğunu ve bu tabakadan gelen dalga ile yansıyan dalganın farklı olacağı anlamındadır. Referans anakaya yüzeyinde ise, tabakanın üzerinde başka zemin tabakalarının olmadığı kabul edildiği için, gelen ve yansıyan dalgalar birbirine eşittir.

Komut-4; deformasyonla uyumlu zemin özellikleri elde edilmesi için yazılmaktadır. Yapılacak iterasyonlar için gerekli parametreler aşağıda belirtilmiş olup, ilgili parametreler bu komut ile programa girilmektedir;

- Maksimum iterasyon sayısı (Analizlerde yeterli olacağı göz önüne alınarak 5 verilmiştir.)
- Son kullanılan kayma modülü ve sönüm değerleri ile deformasyona uyumlu değerler arasında olabilecek maksimum fark (Analizlerde %5 olarak alınmıştır.)

- Efektif deformasyon ve maksimum deformasyon arasındaki oran (Analizlerde efektif deformasyon değeri maksimum deformasyon değerinin %65'i kadar alınmıştır)

Komut-5 ile istenen zemin tabakalarındaki hareket hesaplanabilmektedir. Zaman alanında ivme değerleri belirlenen zemin tabakasının tepe noktası için hesaplanmakta, maksimum ivme değeri ve zamanı program tarafından belirlenmektedir. Data dosyasına komut numarasının yazılmasının ardından aşağıda belirtilenler program dosyasına yazılmalıdır;

- Hareketin hesaplatılacağı zemin tabakalarının numaraları (maksimum 15 zemin tabakası için hesaplama yapılabilmektedir)
- Zemin tabakalarının tiplerinin girilmesi (1: profil içerisindeki alt tabaka veya 0: referans anakaya yüzeyi)
- Hesaplanan değerlere ilişkin istenen çıktı şekli (sadece maksimum ivme değerleri verilebilir veya ivme zaman grafiği ve değerleri de istenebilir)

Şekil 5.11'de, zemin tabakalarında hareketin hesaplatılmasına ilişkin örnek data girdisi verilmiştir.

5														
1	3	5	7	9	11	13	14	15	16	17	18	19	20	20
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Şekil 5.11 : SHAKE programında zemin tabakalarındaki hareketin hesaplatılması.

Komut-6 ile, programa girilen deprem kaydı verileri grafiğe dökülebilmektedir.

Komut-7 ile, girilen deprem kaydı, deprem kaydının zaman aralığı, ivme seviyesi isteğe bağlı olarak değiştirilebilmektedir.

Komut-8 ile, efektif deformasyon ve zemin tiplerinin dinamik özellikleri arasındaki ilişki programa tanıtılmaktadır. Shake programı zemin ve kaya tipini aşağıdaki şekilde üç gruba ayırmakta ve her zemin aşağıda belirtilen numarası ile program tarafından tanınmaktadır;

- 1- Kil
- 2- Kum
- 3- Kaya

Bu üç tip için efektif deformasyon değerleri ve bu değerlere karşılık gelen kayma modülü ve sönüm oranı değerleri aşağıdaki sıraya uygun olarak girilmektedir;

- Programa girilecek zemin tipi sayısı
- Grafiğin çizdirilmesi istenip istenmediği (grafik çizimi için “1” girilmektedir)
- Çizdirilecek olan logaritmik grafikte kullanılacak deformasyon değerlerinin sayısı
- Düşey eksenin maksimum değeri
- Zemin tipinin ismi

Yukarıdaki bilgiler ışığında oluşturulan ilk satırın ardından, sırası ile kayma modülü parametreleri, kayma modülü parametrelerine karşılık gelen deformasyon değerleri, sönüm oranı ve buna karşılık gelen deformasyon değerleri girilir. Örnek data girdisi Şekil 5.12’de verilmiştir.

8	0	10	50.				
3							
11							
.0001	.000316	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1.	3.16	10.					
2300.	2300.	2300.	2277.	2208.	2093.	1794.	1219.
805.	391.	230.					
11							
.0001	.000316	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1.	3.16	10.					
17.2	1.2	1.7	2.	3.	5.	7.5	11.5
11							
.0001	.000316	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1.	3.16	10.					
61.	61.	60.4	55.5	45.8	32.3	21.9	13.4
9.8	7.3	6.1					
11							
.0001	.000316	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1.	3.16	10.					
2.1	2.2	2.4	3.1	6.5	10.	16.	21.2
25.5	28.1	29.					
8							
.0001	.0003	.001	.003	.01	.03	.1	1.
2000.	2000.	1975.	1905.	1800.	1620.	1450.	1100.
5	1.						
.0001	.001	.01	.1	1.			
.4	.8	1.5	3.	4.6			

Şekil 5.12 : SHAKE programına kayma modülü ve sönüm oranlarının tanıtılması.

Komut-9 ile istenen zemin tabakasının üst noktasındaki davranış spektrumu hesaplanmaktadır. Maksimum ivme, hız ve yer değiştirmeye karşılık gelen zaman değerleri hesaplanabilmekte ve çizdirilebilmektedir. İvme zaman spektrum grafikleri de çizdirilmekte veya değerler elde edilebilmektedir. Data dosyasına aşağıdaki bilgiler sırası ile girilir;

- Zemin tabakası numarası (“0” yazılması halinde, girilen deprem kaydı için davranış spektrumu elde edilmektedir)
- Zemin tabakasının tipi (1: profil içerisindeki alt tabaka veya 0: referans anakaya yüzeyi)
- Kullanılacak olan sönümlenme değerlerinin toplam sayısı (Analizlerde 2 olarak seçilmiştir)
- Değerlerin istenip istenmediği bilgisi (değerlerin gözükmesi için “1” girilmektedir)
- Kritik sönüm oranı değerleri (Analizlerde 0.05 ve 0.10 alınmıştır)

Komut-9 ile data dosyasına girilen bilgilerin bir örneği Şekil 5.13’te verilmiştir.

9				
0	1			
2	0	2	0	2
	0.05	0.10		
9				
20	1			
2	0	2	0	2
	0.05	0.10		
9				
20	0			
2	0	2	0	2
	0.05	0.10		

Şekil 5.13 : SHAKE programında davranış spektrumlarının hesaplatılması.

Komut-10 ile zaman aralığı isteğe bağlı olarak arttırılabilmektedir.

Komut-11 ile zaman aralığı isteğe bağlı olarak azaltılabilmektedir.

Komut-12 ile girilen deprem kaydının Fourier spektrum grafiği çizdirilebilmekte ve değerler elde edilebilmektedir.

Komut-13 ile istenen tabakanın üst noktasında hesaplanan Fourier spektrum grafiği çizdirilebilmekte ve değerler elde edilebilmektedir. Şekil 5.14’te, 20 numaralı zemin tabakasının Fourier spektrumunun elde edilmesi için komutun data dosyasına yazılışı gösterilmiştir.

13				
20	1	1	2	1024
20	0	1	2	1024

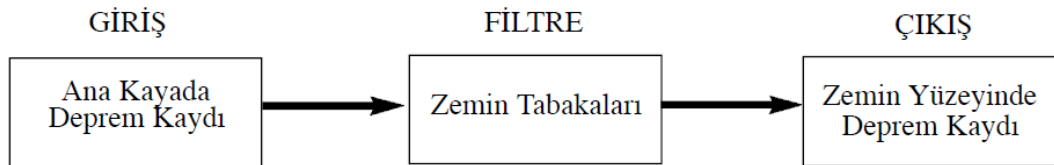
Şekil 5.14 : SHAKE programında davranış spektrumlarının hesaplatılması.

Shake programında, “.dat” uzantılı data dosyalarının düzgünce hazırlanmasının ardından analizlerin yapılması süreci sadece birkaç saniye almaktadır. Analizlerin sonuçları “.son” uzantılı text dosyalarına yazılmakta olup, grafik çizimleri ve ilgili grafik değerleri “.pun” uzantılı text dosyalarına yazılmaktadır.

5.2 Yüzey Kaydından Anakaya Kaydına Geçiş

13 Mart 1992 Erzincan depremi esnasında İnönü Mahalesi’ndeki meteoroloji istasyonundan alınmış üç doğrultulu yüzey ivme kayıtları mevcuttur (Lav, 1994). Meteoroloji istasyonundan alınan bu kayıt yüzey kaydı olduğu için, alüvyonel birimlerden oluşan zemin profilinin gösterdiği filtreleme etkilerini de barındırmaktadır. Dolayısıyla, zemin davranış analizlerinde direk olarak kullanılması uygun değildir. Meteoroloji istasyonundan alınan bu kaydın öncelikle zeminin yarattığı büyütme etkilerinden arındırılması, başka bir deyişle yüzey kaydının hipotetik bir referans yüzeyi kaydı (outcrop rock motion) haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem SHAKE programı kullanılarak yapılabilmektedir.

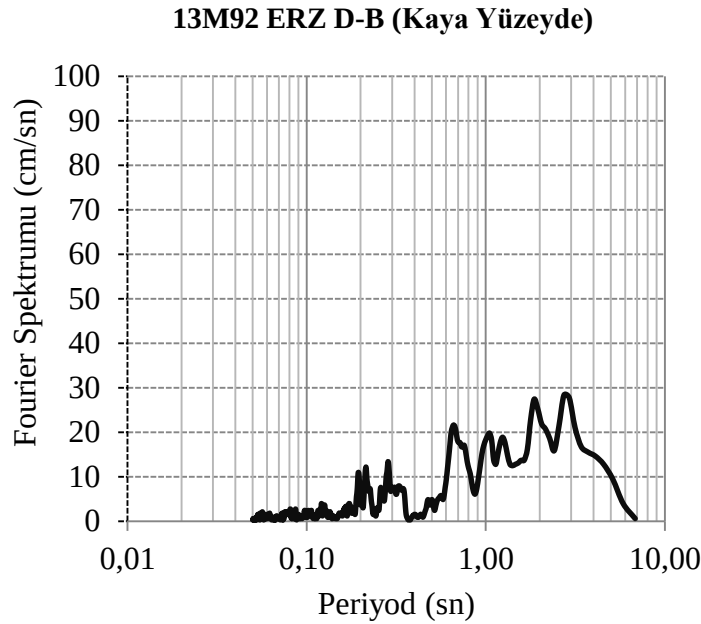
SHAKE programı, tabakaların ara yüzeylerinde yer değiştirmelerin ve kayma gerilmelerinin eşitliği şartını kullanmaktadır. Dolayısıyla tabakalar arasında bir transfer durumu söz konusudur. Transfer fonksiyonu, anakaya ile yüzey arasındaki veya herhangi iki tabaka arasındaki genliklerin oranı şeklinde elde edilebilmektedir (Şekil 5.15). Başka bir deyişle, tabakalarda analiz sonucu elde edilen Fourier spektrum genliklerinin oranı transfer fonksiyonunu vermektedir. Dolayısıyla transfer fonksiyonu zemin tabakalarının yarattığı büyütme özelliğini göstermektedir. Shake programının bu yaklaşımından yararlanılarak anakayadaki deprem kaydı elde edilebilmektedir.



Şekil 5.15 : Zemin transfer fonksiyonunun filtre sistemi olarak şematik gösterimi (Yalçınkaya, 2004)

Meteoroloji istasyonu çevresindeki zemin profilini temsil edebilmek için, istasyon yakınındaki ODTÜ S18 sondajından elde edilen zemin profili ve parametreleri kullanılmıştır. Eldeki yüzey deprem kaydı, SHAKE programında, ODTÜ S18’e ait

zemin profilinin yüzey tabakasına etkitilmiş ve anakayadaki zemin etkilerinden arındırılmış deprem genlikleri, Şekil 5.16’da gösterildiği gibi, elde edilmiştir.



Şekil 5.16 : 13 Mart 1992 Erzincan depremi yüzey kaydının zemin büyütme etkilerinden arındırılması ile elde edilen anakaya Fourier spektrumu.

Yüzey kaydından zemin etkilerinin silinmesi işlemi, 13 Mart 1992 depreminin en büyük yatay ivme değerine sahip Doğu-Batı yönündeki bileşeni dikkate alınarak yapılmıştır.

Bölüm 5.3’te anlatılacağı üzere, yapılan analizler kayma dalgası hızlarının %20 ve %40 azaltılması ile tekrarlanmış olup, her seferinde anakaya kaydı değişen kayma dalgası hızlarına göre tekrar hesaplanarak işlemlere başlanmıştır.

Zemin tabakalarının davranış analizleri, daima hipotetik referans yüzey kaydı kullanılarak yapılmıştır.

5.3 Zemin Tabakalarının Davranış Analizleri

13 Mart 1992 Erzincan depreminden sonra İTÜ ve ODTÜ (1992) tarafından yaptırılan 36 adet sondajlardan elde edilen bilgilere göre zemin profillerinin birim hacim ağırlıkları, kayma dalgası hız profilleri, Bölüm 4.3’te açıklandığı üzere, belirlenmiştir. Ayrıca, sönüm oranı ve kayma modüllerinin birim kayma şekil değişimi mertebelerine göre hangi değerleri alacağını gösteren eğriler de seçilmiştir.

Lav (1994) tarafından yapılan Erzincan İli zemin tabakalarının davranışına ilişkin çalışmada, 50m derinlikteki ivme spektrumları değerleri ile 100m derinlikteki ivme spektrum değerlerinin benzer oluşu görülmüştür. Dolayısıyla, 50m'den daha derinlerdeki zemin tabakalarının etkisinin oldukça küçük mertebelerde kaldığı belirtilmiştir. Bu durumdan yola çıkılarak, bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde tüm profiller için zemin tabakası kalınlığı 50m seçilmiştir. 50m'den kısa olan sondajlar ise, sondaj derinliğinden itibaren 50m'ye kadar en yakın derin sondajın bu seviyelerdeki kısımları ile tamamlanmıştır. Bu durumun, en azından özellikleri belirlenmiş kısımların etkilerinin doğru değerlendirilmesini sağlayacağı düşünülmüştür (Lav, 1994).

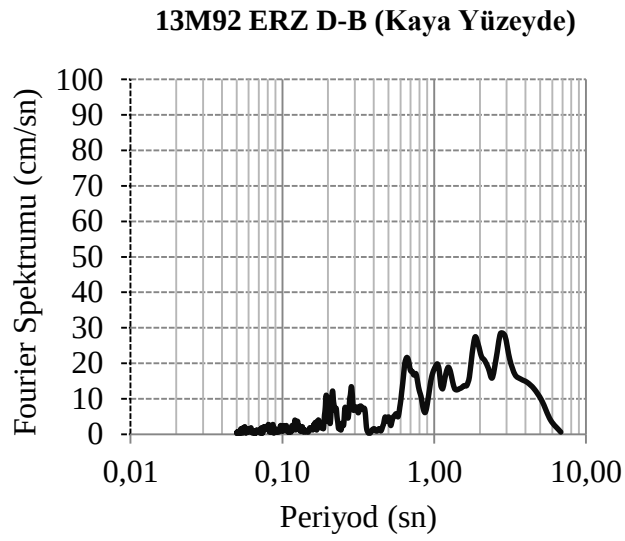
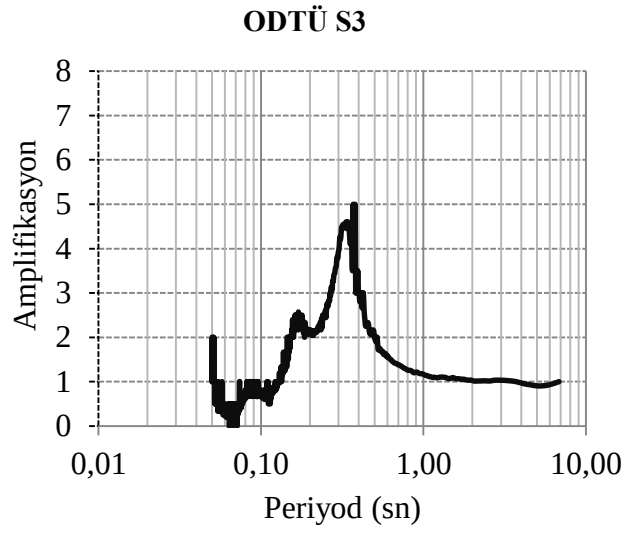
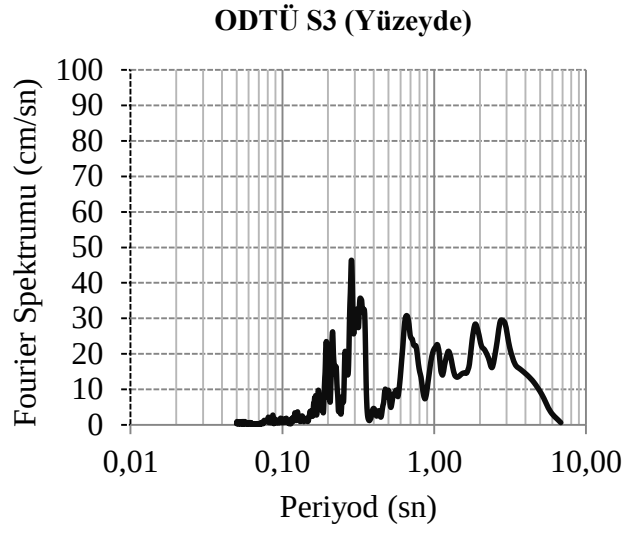
5.3.1 Zemin tabakalarında elde edilen büyütme özellikleri

SHAKE programı ile her bir zemin profili için yapılacak analizlerde, deprem girdi kaydı olarak Bölüm 5.2'de belirtilen zemin etkilerinden arındırılmış hipotetik referans yüzeyi kaydı kullanılmıştır.

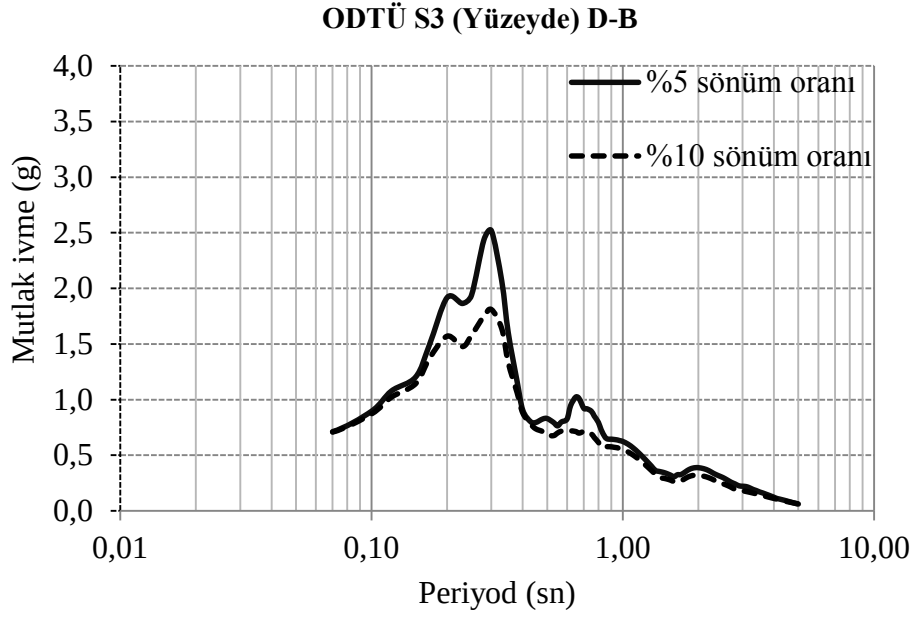
SHAKE programında yapılan analizler ile, her bir zemin profilinin yüzeyindeki Fourier genlik spektrumları elde edilmiştir. Bu genlik değerlerinin, Bölüm 5.2'de verilen anakaya yüzeyinde elde edilmiş Fourier genlik spektrum değerlerine oranlanması ile zeminin deprem dalgaları üzerindeki büyütme (amplifikasyon) etkisini yansıtan transfer fonksiyonları elde edilmiştir.

Tüm zemin profilleri için elde edilen transfer (amplifikasyon) fonksiyonları Ek A'da verilmiş olup, ODTÜ S3 profiline ait elde edilen amplifikasyon fonksiyonu örnek olması bakımından, Şekil 5.17'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, ODTÜ S3 zemin profili 0.4 sn periyottaki deprem dalgaları üzerinde 5 katı değerinde bir büyütme etkisi uygulamaktadır.

Zemin transfer fonksiyonlarının yanısıra, %5 ve %10 yapısal sönüm oranı değerleri kullanılarak davranış spektrumları da elde edilmiştir. Tüm profillere ait spektral ivme değerleri Ek A'da verilmiştir. ODTÜ S3 zemin profili için elde edilen spektral ivme değerlerinin periyoda bağlı değişimi Şekil 5.18'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere, ODTÜ S3 zemin profilindeki periyodu kabaca hesapla 0.3sn olan 3 katlı yapılara 2.5g büyüklüğünde ivme etkimektedir.



Şekil 5.17 : ODTÜ S3 profili için anakaya ve yüzeyde hesaplanan Fourier genlik spektrumları ve amplifikasyon fonksiyonu.



Şekil 5.18 : ODTÜ S3 Profili için %5 ve %10 yapısal sönüm oranlarına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.

Lav (1994) tarafından belirtildiği üzere, SHAKE programı tarafından kullanılan parametre ve fonksiyonlar içerisinde, sadece amplifikasyon fonksiyonları, zemin davranışının yalın halini verebilmektedir. Davranış spektrumları ise, kuvvetli depremlerde daha fazla olmak üzere, deprem kaydının özellikleri etkisinde kalmaktadır. Bu yüzden zemin tabakalarının davranışlarının incelenmesinde, amplifikasyon fonksiyonlarının kullanılması daha uygundur. Tasarım kriterleri amaçlandığında ise, davranış spektrumlarının en önemli araç olduğu bilinmektedir.

5.3.2 Zemin büyütme özellikleri ile hasar gözlemleri arasındaki ilişki

SHAKE programında yapılan analizler ile elde edilen zemin transfer fonksiyonları ve davranış spektrumlarından yararlanılarak 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası gözlenmiş yapı hasarları ile zemin büyütme özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Depremlerde meydana gelen hasarlar üzerinde, depremin, zemin tabakaları ve yapının frekansa bağlı davranışları ve bunlar arasındaki etkileşimler düşünülürse, meydana gelen hasarların incelenmesinde de frekans etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu durumda, farklı titreşim frekansına sahip olan yapıların ayrı ayrı değerlendirilmesi, daha açıklayıcı sonuçlar getirebilmelidir (Lav, 1994).

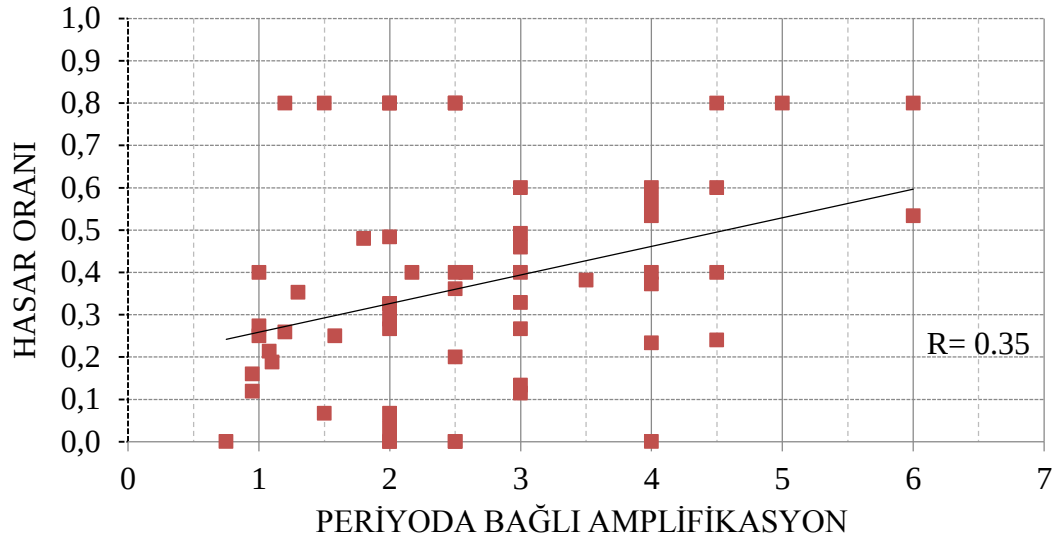
Her bir zemin profili etrafındaki 250m çaplı alan içerisinde kalan yapıların hasar durumlarını ifade eden hasar oranları ile yapı periyoduna bağlı zemin amplifikasyon

faktörleri ve %5 yapısal sönüm oranı kullanılarak elde edilen spektral ivme değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapıların hasar oranlarının hesap detayları Bölüm 4.2’de verilmiştir. Yapı periyoduna bağlı veya kısaca periyoda bağlı amplifikasyon, transfer fonksiyonunda yapı hakim periyoduna ($T_{\text{yapı}} = \text{Kat adedi}/10$) karşı gelen değeri ifade etmektedir. Benzer şekilde yapı periyoduna bağlı spektral ivme veya kısaca periyoda bağlı spektral ivme, yapı hakim periyoduna karşı gelen spektral ivme değerini ifade etmektedir. Hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri arasındaki ilişkiler Şekil 5.19’da verilmiştir. Hasar oranları ile periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasındaki ilişkiler ise Şekil 5.20’de verilmiştir.

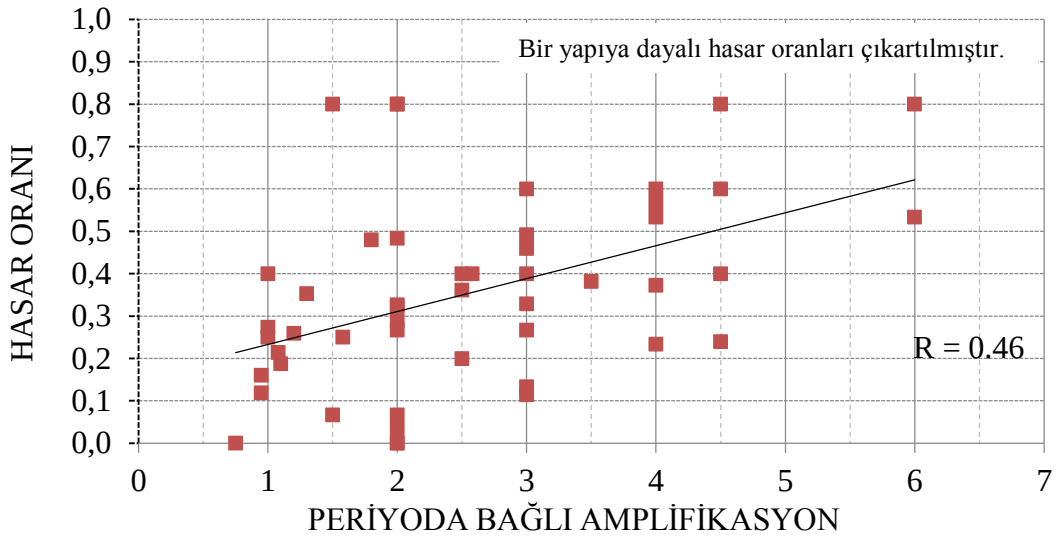
Lav’ın (1994) çalışmasında da yer verildiği üzere, yapı periyoduna bağlı amplifikasyon değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki, Şekil 5.19 (a), $R=0.35$ korelasyon katsayısı ile ifade edilmiştir. Bu durum, yapı hasarları üzerinde zemin büyütme özellikleri haricindeki diğer faktörlerin de etkili olduğunu düşündürmektedir. Bölüm 4.2’de de ifade edildiği gibi, aynı bölgedeki aynı kat sayısına sahip yapıların hasar oranlarının üniform olarak dağılmayışı, yapı hasarları üzerinde yapısal kusurların etkisini açık şekilde ifade etmektedir. Yapısal kusurlardan kaynaklı etkilerin, az gözleme dayalı hasar oranlarının dikkate alınmaması ile azaltılabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, bir yapı gözlemine dayanan hasar oranlarının ilişki grafiklerinden çıkarılması ile, Şekil 5.19 (b)’de verilen ilişki elde edilmiş olup, korelasyon katsayısı; $R=0.46$ ’ya yükseltilebilmiştir. İlişkiyi daha da kuvvetlendirebilmek adına, iki yapı gözlemine dayanan hasar oranları da çıkartılmış olup, üç ve daha fazla yapı gözlemine dayalı hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon arasındaki ilişki Şekil 5.19 (c)’de gösterilmiştir. Böylece daha güvenilir bir ilişki yakalanmış, korelasyon katsayısı $R=0.65$ ’e yükseltilebilmiştir.

Aynı eleme yöntemi, periyoda bağlı spektral ivme ve hasar oranları arasındaki ilişkinin güçlendirilmesi için de uygulanmıştır. Şekil 5.20’de verilen ilişki grafiklerinde, genel bir doğrultu olarak gösterilen paralel hatlar arasındaki noktaların toplam noktalara göre yüzdesi, Şekil 5.20 (a)’da %60, Şekil 5.20(b)’de %63, Şekil 5.20 (c)’de %70 olmak üzere ilişkinin iyileştiği görülmektedir.

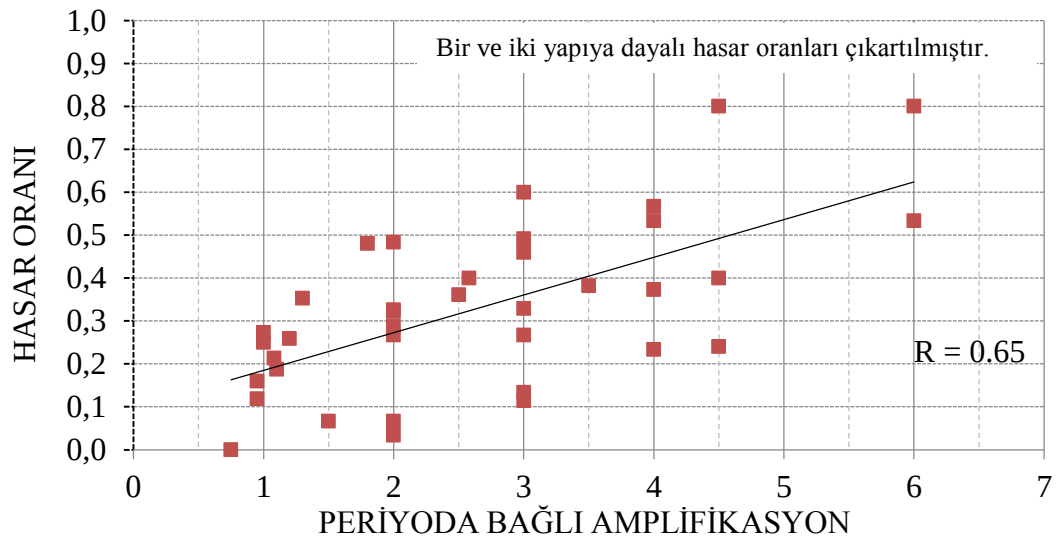
Bu bölümde yapılan çalışma ve işlemlere, Lav’ın (1994) çalışmasında da yer verilmiştir. Bu ilişkilerin doğrusal ilişkiler olduğu varsayılmış olup, doğrusal olmayan ilişkilerin varlığı da araştırılabilir.



(a)

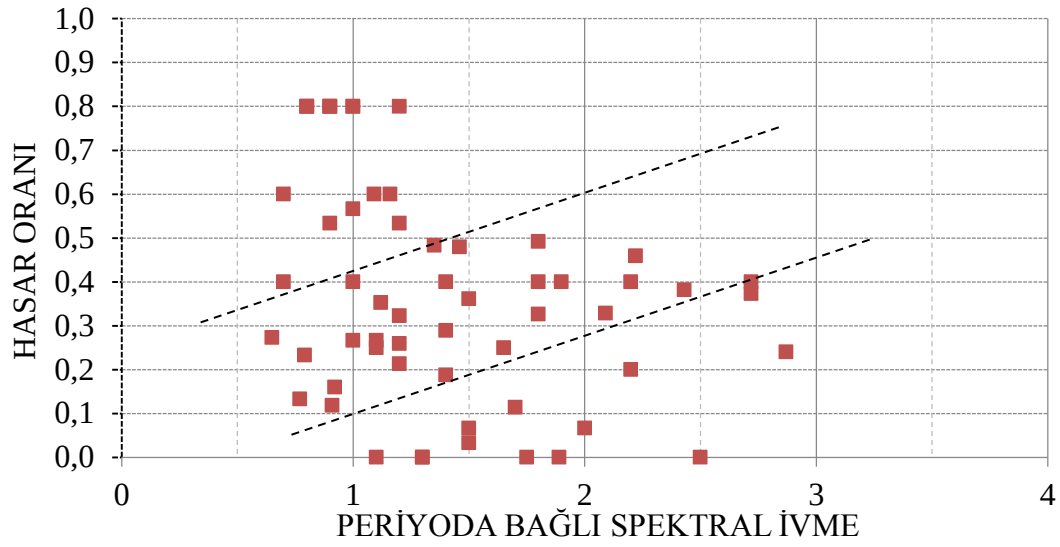


(b)

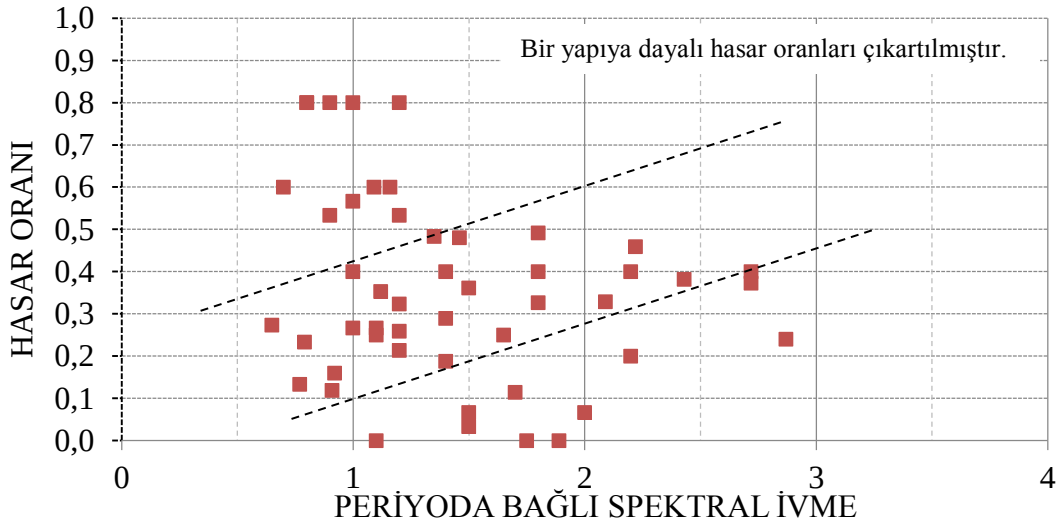


(c)

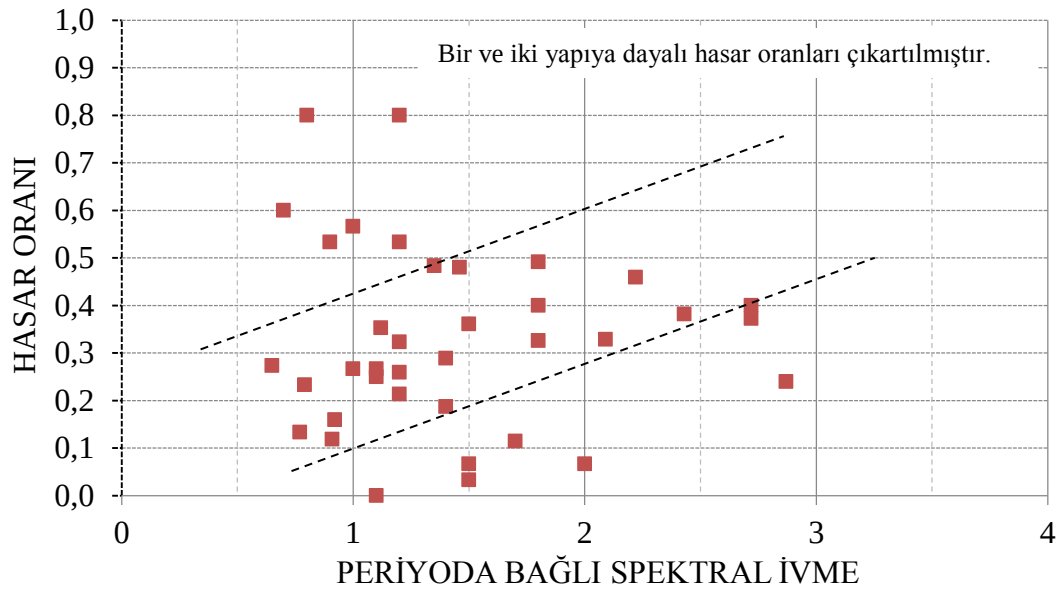
Şekil 5.19: Hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri arasındaki ilişki.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.20 : Hasar oranları ile periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasındaki ilişki.

5.3.3 Kayma dalgası hızlarının azaltılması ile elde edilen zemin büyütme özellikleri ve hasar gözlemleri arasındaki ilişki

Bölüm 5.3.2’de, Lav’ın (1994) çalışmasında da yer verildiği üzere, yapılan iyileştirmeler neticesinde, hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon değerleri arasında %65 korelasyon, hasar gözlemleri ile periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasında ise %70’lik bir ilişki elde edilmiştir.

Zemin amplifikasyon özellikleri ve yapı hasarları arasındaki ilişkinin yeterince güçlü bulunmaması, zemin büyütme özellikleri haricindeki diğer faktörleri de göz önüne almak gerektiğini göstermektedir.

SHAKE programının muhafazakar tarafta kalan sonuçlar vermesi, tasarıma yönelik parametrik çalışmalarda bir avantaj olarak kabul edilebilir. Ancak, gerçekleşen bir depremin etkilerini incelenirken, yüzey kaydından anakaya kaydına geçiş ve tekrar anakaya kaydından yüzey kaydına geçilmesi işlemlerinde bir dezavantaj doğuracağı açıktır.

Deprem özelliklerinin odağa yakın bölgelerde ve özellikle kuvvetli depremlerde daha da artacağı düşünülürse, zemin tabakalarının önemli etkilerinin açıkça gözlenmesini engelleyeceği düşünülebilir.

Aynı bölgede yapısal hasarların farklılıklar göstermesi, karşılaştırmalar üzerinde olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bu durumu hafifletebilmek için Bölüm 5.3.2’de belirtildiği üzere, bir ve iki yapıya dayalı hasar gözlemleri elenerek ilişki güçlendirilmeye çalışılmıştır.

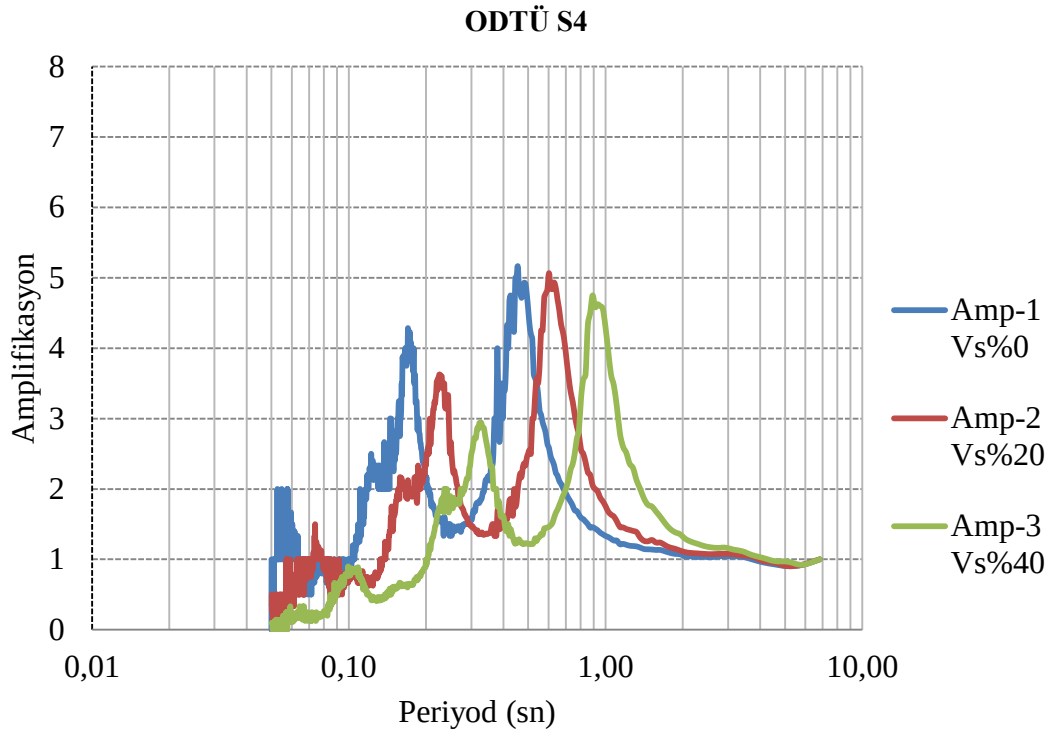
Sondajlardan elde edilen SPT-N değerlerinin kayma dalgası hız profillerine dönüştürülmesindeki belirsizlikler, zemin özellikleri ile ilgili yapılan kabuller ve zemin profili idealleştirmeleri de zemin amplifikasyon özelliklerini etkileyen diğer faktörlerdir.

SPT-N değerlerinin kayma dalgası hızlarına dönüştürülmesindeki belirsizlikleri iyileştirebilmek adına SPT-N sayıları üzerinde enerji düzeltmelerinin azaltıcı etkisinin temsil edilmesinin, zemin özellikleri ve hasar oranları arasındaki ilişkinin güçlenmesinde faydalı olması beklenmektedir. (Lav, 2014). Enerji düzeltmelerinin SPT-N sayıları ve buna bağlı olarak kayma dalgası hızlarında sebep olacağı azalımı temsil edebilmek amacıyla, kayma dalgası hızları doğrudan %20 ve %40 oranlarında azaltılmıştır. Azaltılan kayma dalgası hızları ile zemin davranış analizleri tekrar

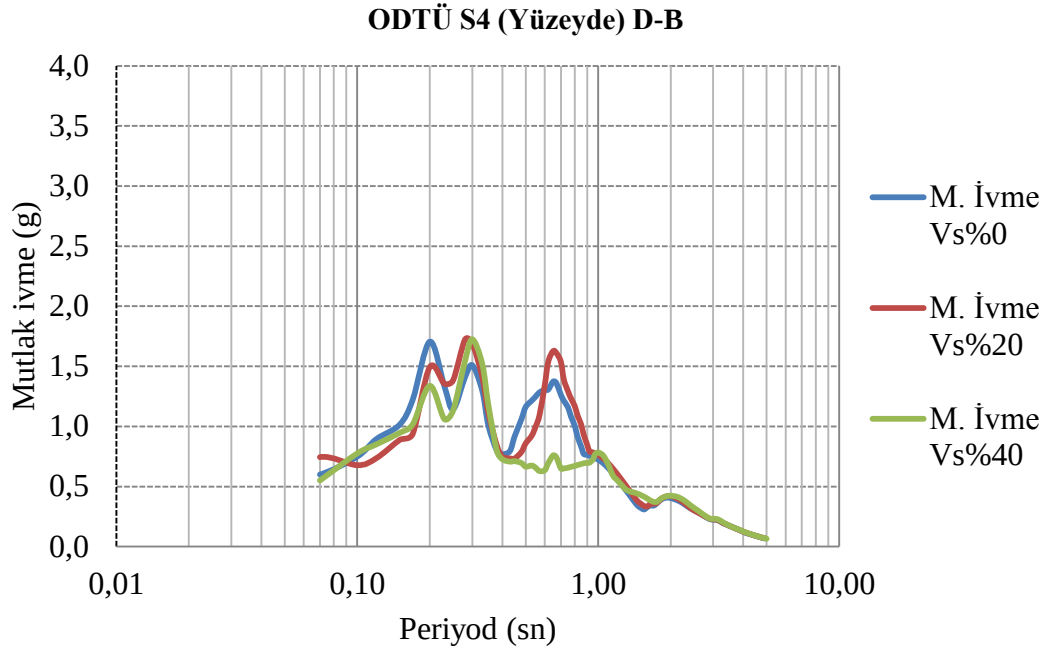
yapılmış ve zemin özellikleri ile hasar oranları arasındaki ilişkinin güçlenip güçlenmeyeceği araştırılmıştır. Tüm zemin profilleri için kayma dalgası hızlarının azaltılması ile elde edilen transfer (amplifikasyon) fonksiyonları ve davranış spektrumları karşılaştırmalı olarak Ek A'da verilmiş olup, ODTÜ S3 profiline ait amplifikasyon fonksiyonu ve spektral ivme değerleri Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere kayma dalgası hızlarının azaltılması ile zemin profillerinde maksimum amplifikasyon değerinin olduğu hakim periyotlar uzamaktadır.

Kayma dalgası hızlarının %20 ve %40 azaltılması ile elde edilen periyoda bağlı zemin amplifikasyon faktörleri ile hasar oranları arasındaki ilişkiler sırası ile Şekil 5.23 ve Şekil 5.25'te verilmiştir.

Kayma dalgası hızlarının %20 ve %40 azaltılması ile elde edilen ve %5 sönüm oranına göre hesaplanan periyoda bağlı spektral ivme değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişkiler sırası ile Şekil 5.24 ve Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.21 : ODTÜ S4 zemin amplifikasyon fonksiyonları.

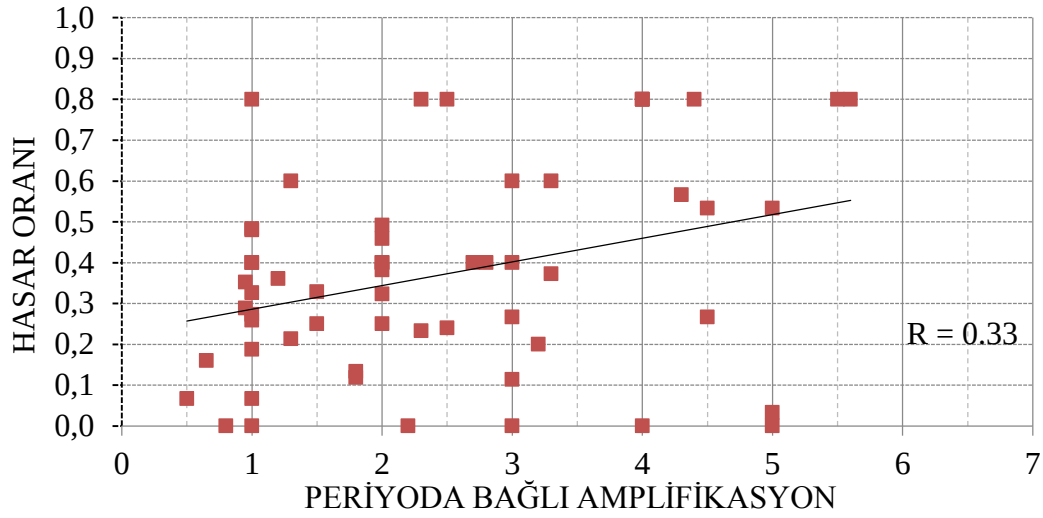


Şekil 5.22 : ODTÜ S3 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.

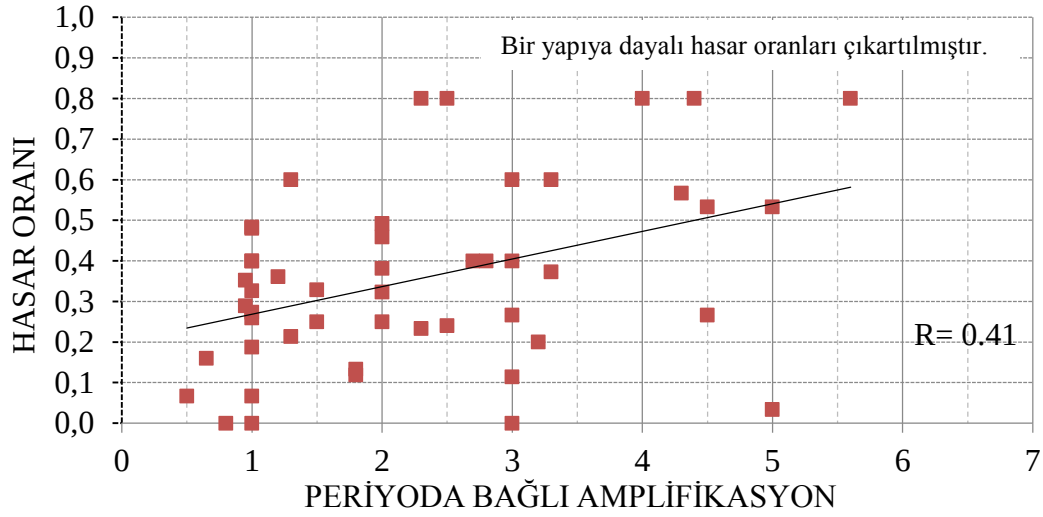
Bir ve iki yapıya dayalı hasar gözlemleri elenerek zemin özellikleri ve hasar gözlemleri arasındaki ilişkinin güçlendirilmeye çalışılması durumu, %20 ve %40 azaltılmış kayma dalgası hızları için de uygulanmıştır. Fakat azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen ilişkilerin beklendiği gibi güçlenmediği görülmüştür.

Kayma dalgası hızlarının %20 oranında azaltılması ile elde edilen zemin amplifikasyon değerleri ve hasar oranları arasındaki ilişki için; Şekil 5.23 (a)'da gösterildiği üzere, $R=0.32$ korelasyon katsayısı, bir yapı gözlemine dayanan hasar oranlarının çıkarılması ile $R=0.41$ korelasyon katsayısı, Şekil 5.23 (b), ve iki yapı gözlemine dayanan hasar oranlarının da çıkarılması ile $R=0.36$ korelasyon katsayısı, Şekil 5.23 (c), elde edilmiştir.

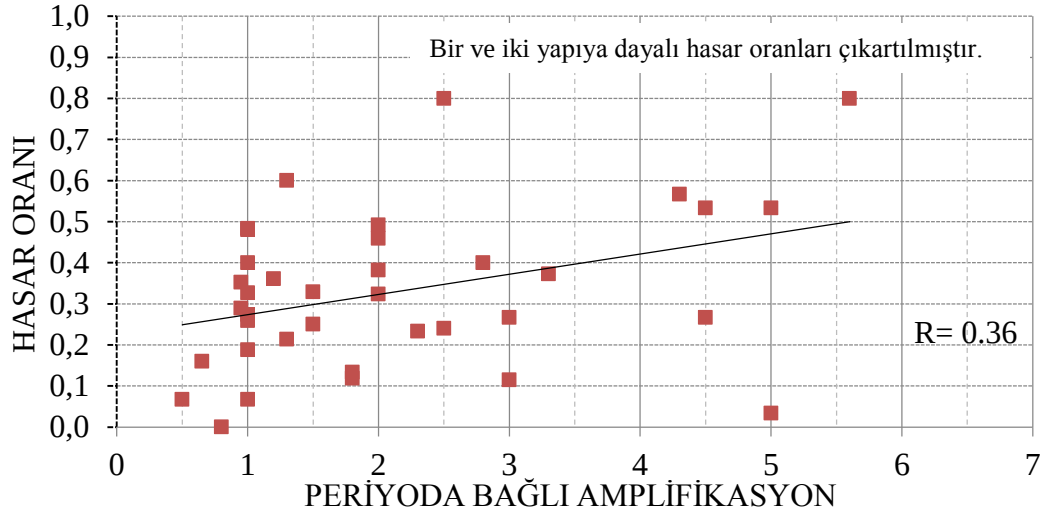
Kayma dalgası hızlarının %40 oranında azaltılması ile elde edilen zemin amplifikasyon değerleri ve hasar oranları arasındaki ilişki için; Şekil 5.25 (a)'da gösterildiği üzere, $R=0.41$ korelasyon katsayısı, bir yapı gözlemine dayanan hasar oranlarının çıkarılması ile $R=0.43$ korelasyon katsayısı, Şekil 5.25 (b), elde edilmiştir. İki yapı gözlemine dayanan hasar oranlarının da çıkarılması ile ilişki daha da kötüleşmiş olup, $R=0.09$ korelasyon katsayısı, Şekil 5.25 (c), elde edilmiştir.



(a)

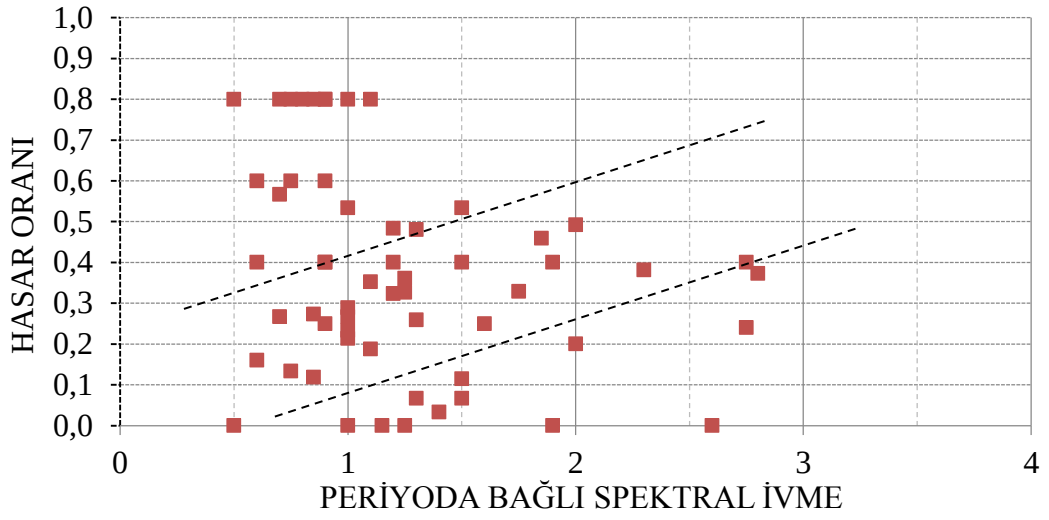


(b)

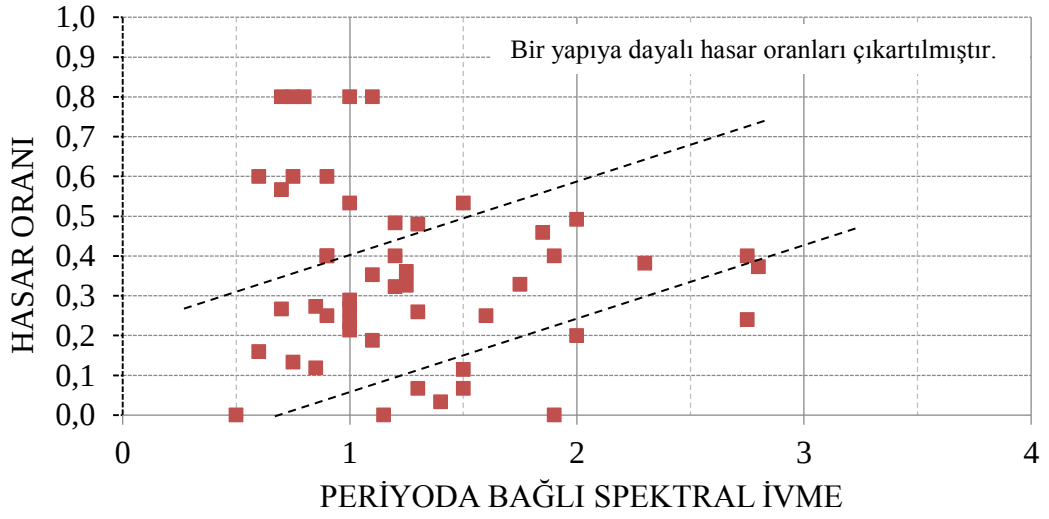


(c)

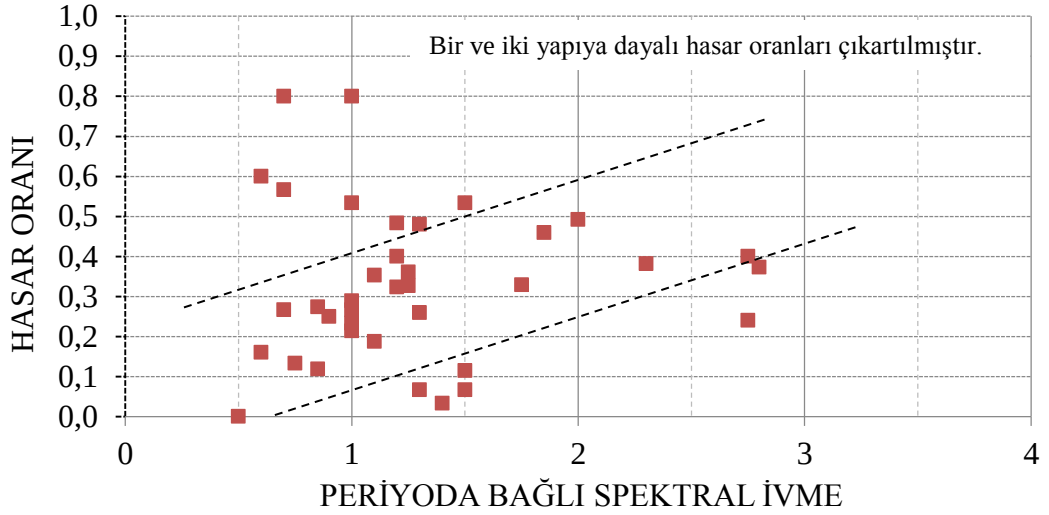
Şekil 5.23 : %20 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.



(a)

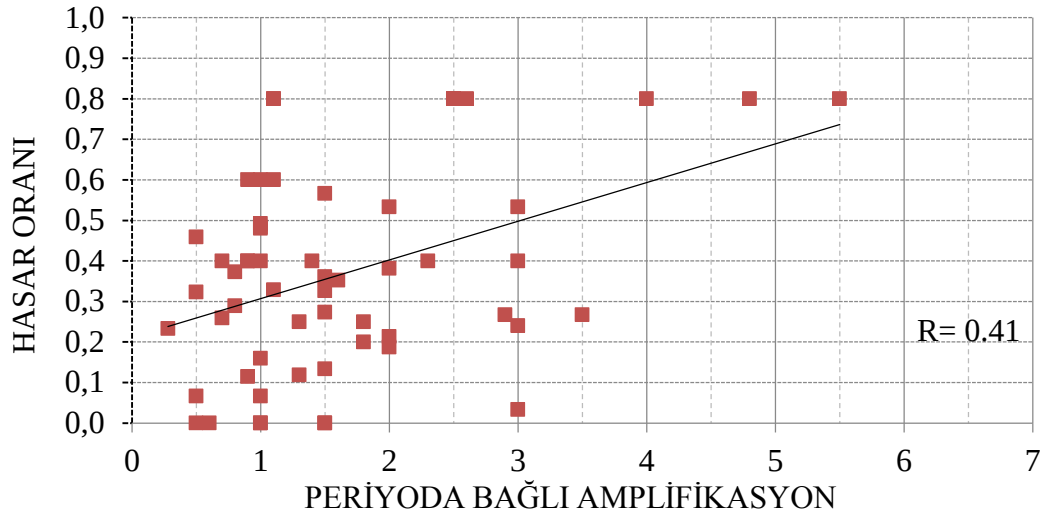


(b)

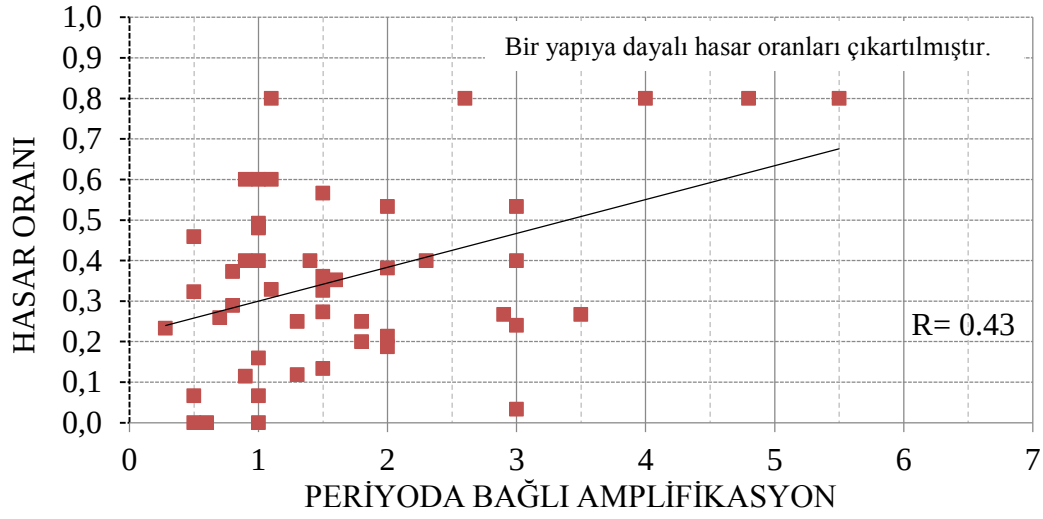


(c)

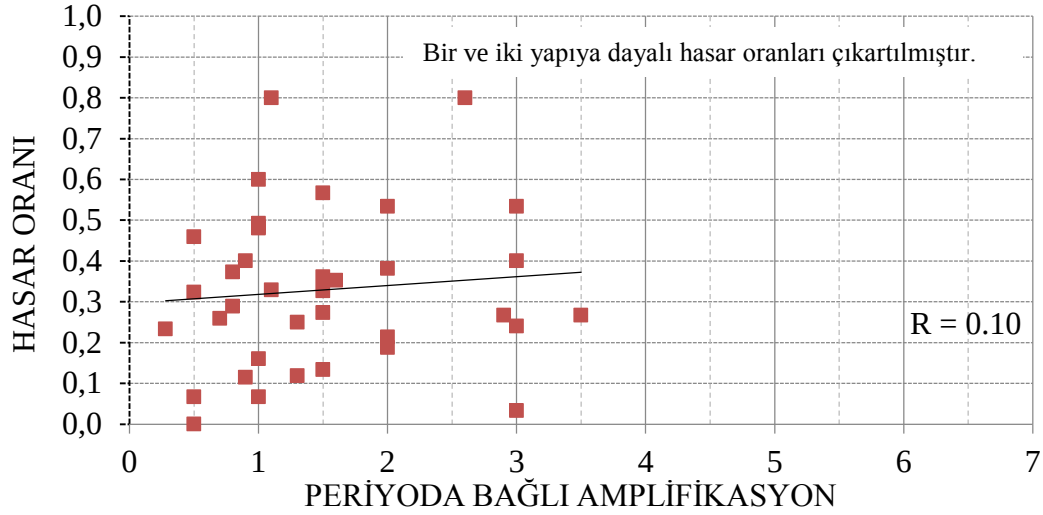
Şekil 5.24 : %20 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı spektral ivme değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.



(a)

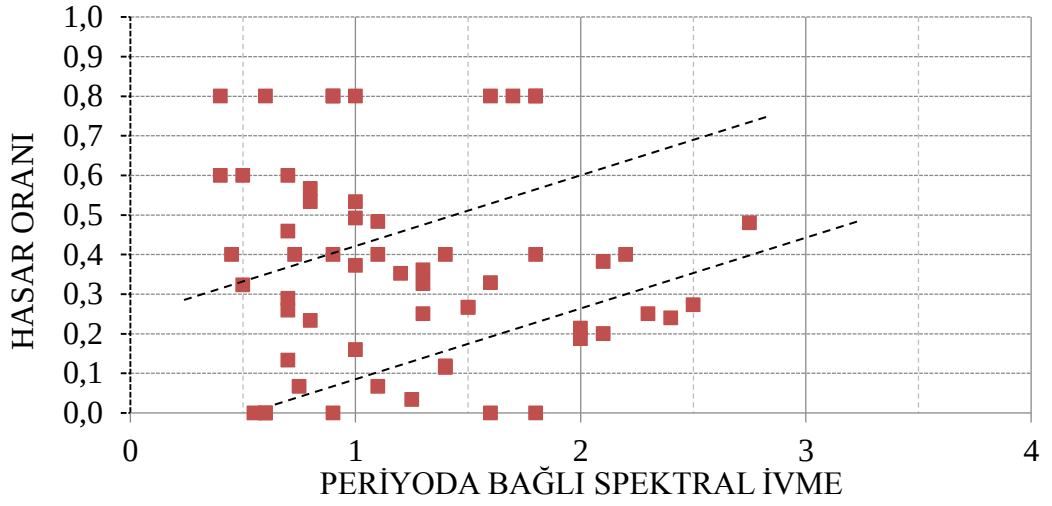


(b)

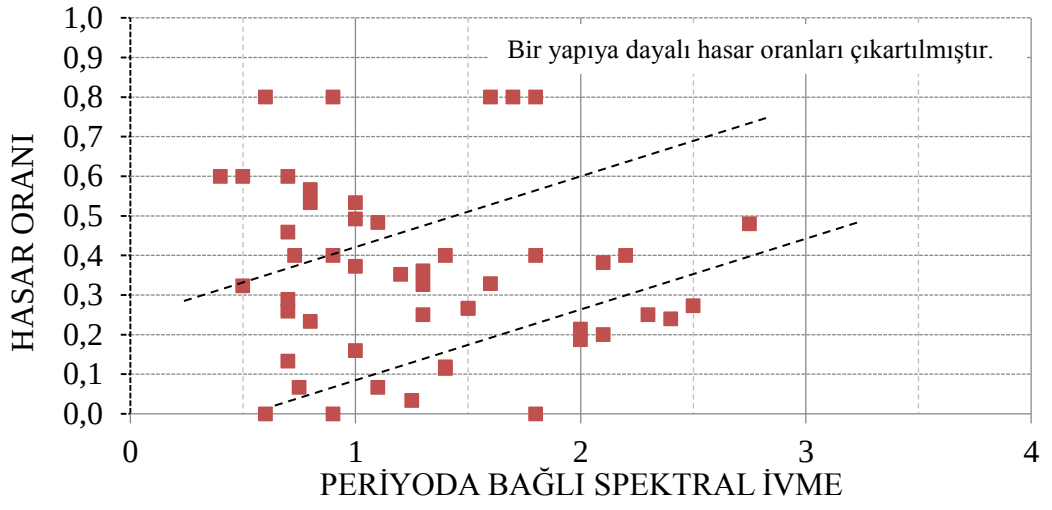


(c)

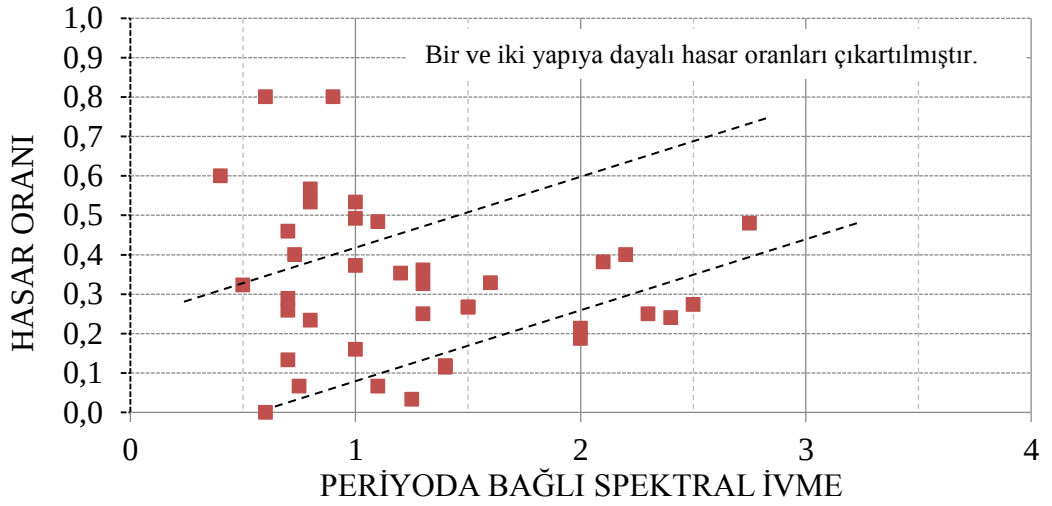
Şekil 5.25: %40 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.26 : %40 azaltılmış kayma dalgası hızları ile elde edilen periyoda bağlı spektral ivme değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki.

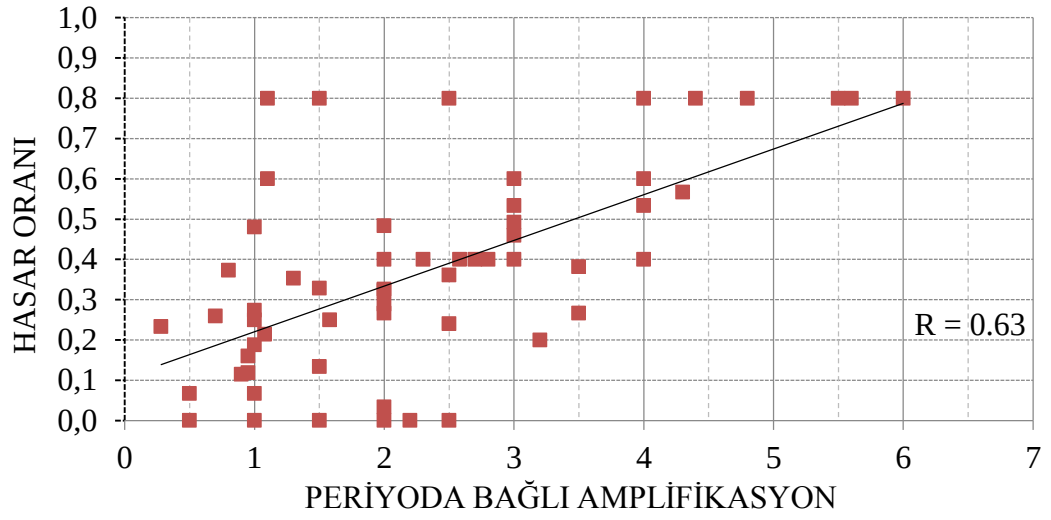
Görüldüğü üzere, azaltılmış kayma dalgası hızı ile hesaplanan korelasyon katsayıları, maksimum kayma dalgası hızı değerleri ile elde edilen katsayılarla göre iyileşme göstermemiş aksine, özellikle bir ve iki yapı gözlemine dayalı hasar oranlarının elenmesi ile, ilişki daha da kötüleşmiştir. Fakat, ilgili grafiklerin oluşturulması sırasında, bazı zemin profillerinin %20 azaltılmış kayma dalgası hızlarına göre ilişkiyi güçlendirecek yönde olumlu sonuçlar verdiği, bazı zemin profillerinin de %40 azaltılmış kayma dalgası hızları ile ilişkiyi güçlendirdiği, bazı profillerin ise maksimum kayma dalgası hızlarına göre ilişkiyi güçlendirdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, her bir sondajın birbirinden bağımsız, fakat kendi içerisinde aynı azaltma oranı kullanılacak şekilde kayma dalgası hızlarının belirlenmesinin, ilişkiyi güçlendirebileceğini akla getirmiştir.

Lav'ın (1994) belirttiği üzere, kuvvetli bir depremde yapı hakim periyotlarının da bir miktar uzayacağı ve plan geometrisine bağlı olarak farklı doğrultular için farklı olacağı gibi konular da dikkate alınmalıdır. Bu amaçla yapı periyodu için tek bir değer kullanılması yerine periyod değerine yakın aralıktaki (± 0.05 sn civarı) maksimum büyütme değeri de dikkate alınmıştır.

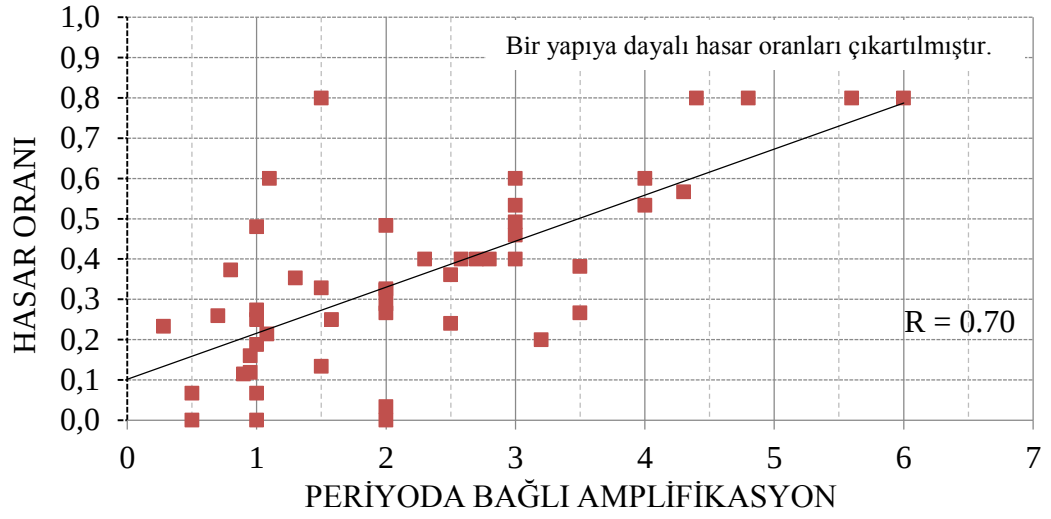
Her bir sondaj için farklı kayma dalgası hızı azaltma mertebelerine göre elde edilen periyoda bağlı amplifikasyon değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki Şekil 5.27'de sunulmuştur. Buna göre, periyoda bağlı amplifikasyon ile yapı hasar oranları arasındaki ilişki tüm hasar oranları dikkate alınarak, Şekil 5.27 (a), $R=0.63$ korelasyon değerine, bir yapı gözlemine dayalı hasar oranlarının çıkarılması ile, Şekil 5.27 (b), $R=0.70$ korelasyon değerine, bir ve iki yapı gözlemine dayalı hasar oranlarının çıkarılması ile ise, Şekil 5.27 (c), $R=0.80$ korelasyon değerine ulaşmıştır.

Periyoda bağlı spektral ivme değerleri ile yapı hasar oranları arasındaki ilişki ise, Şekil 5.28 (c), %78 oranında bulunarak, ilişkilerin güçlendiği belirlenmiştir.

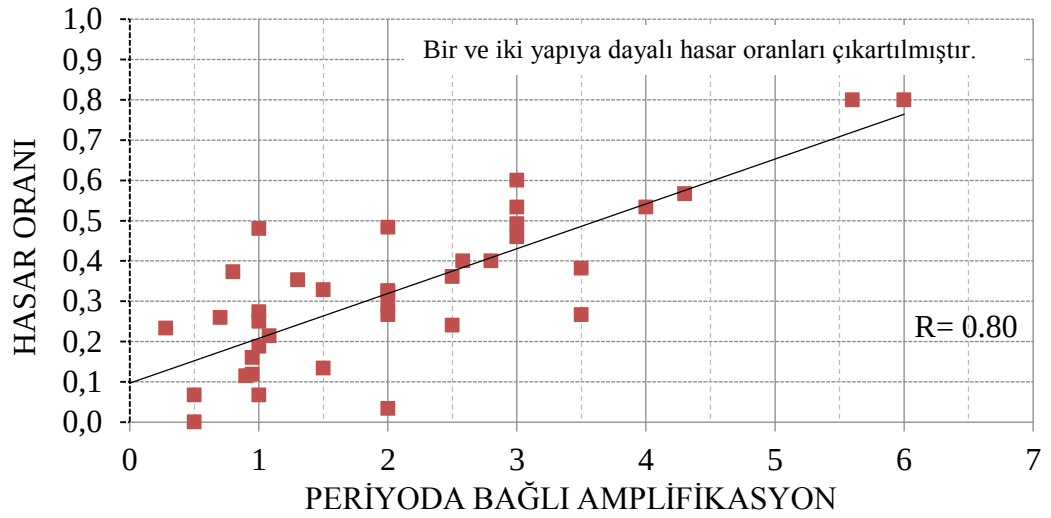
Bu ilişkilerin doğrusal ilişkiler olduğu varsayılmış olup, doğrusal olmayan ilişkilerin varlığı da araştırılabilir.



(a)

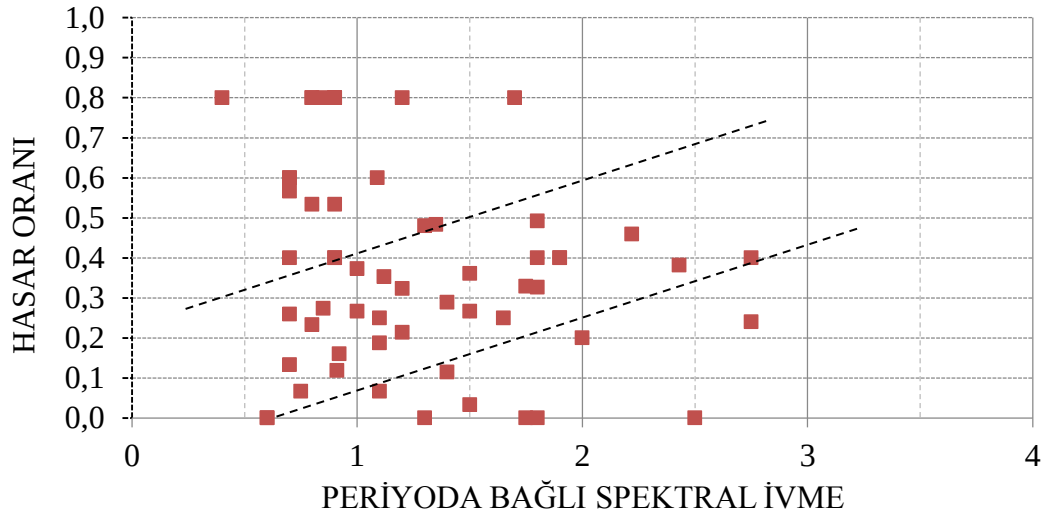


(b)

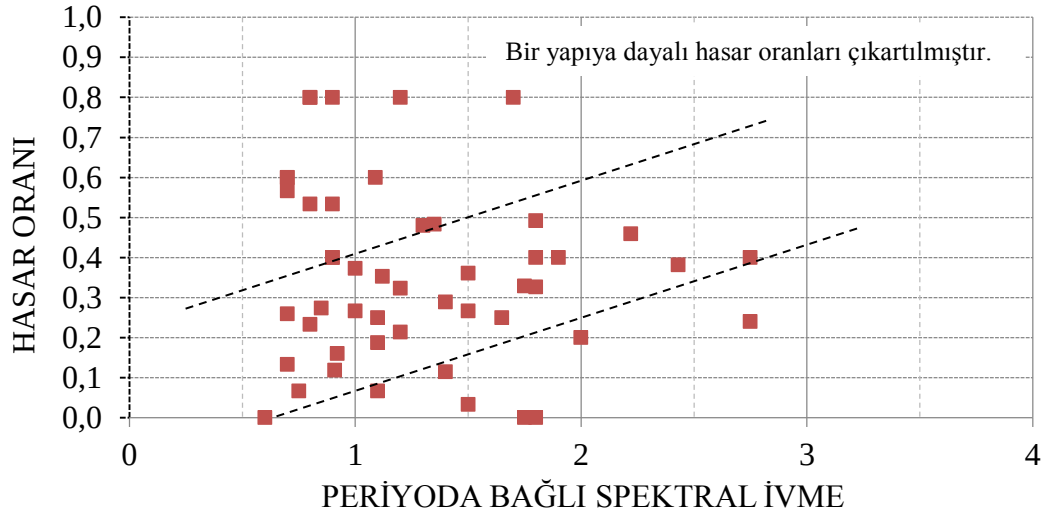


(c)

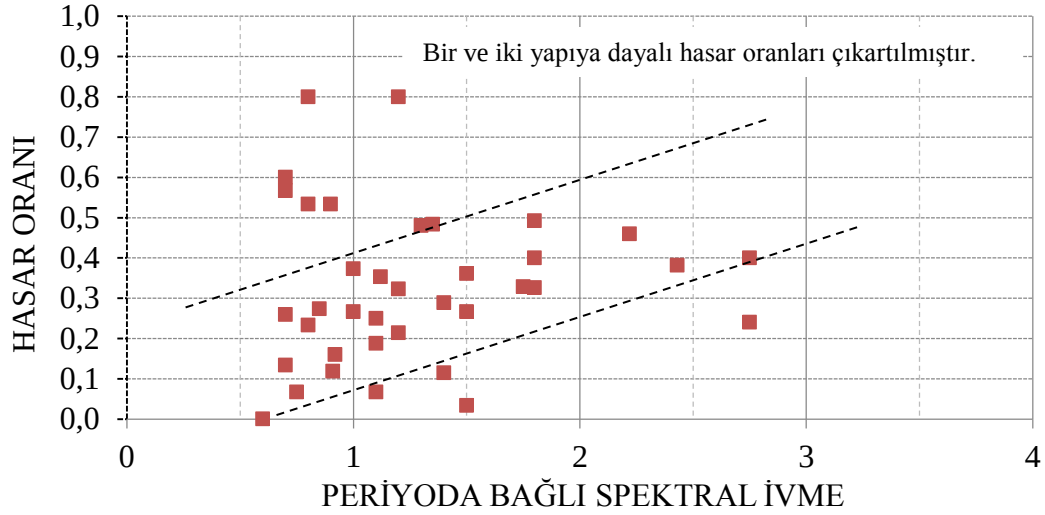
Şekil 5.27 : Hasar oranları ile periyoda bağlı amplifikasyon faktörleri arasındaki güçlendirilmiş ilişki.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.28 : Hasar oranları ile periyoda bağlı spektral ivme değerleri arasındaki güçlendirilmiş ilişki.

Yapılan bu çalışma neticesinde, Lav (1994) tarafından da elde edilen periyoda amplifikasyon ile yapı hasar oranları arasındaki korelasyon %65'ten %80'e yükseltilebilmiştir. Periyoda bağlı spektral ivme ile yapı hasar oranları arasındaki ilişki ise %70'ten %78'e yükseltilebilmiştir.

İTÜ tarafından yaptırılan sondajlarda, ilişkiyi güçlendiren kayma dalgası hızları genellikle maksimum (%0) ve %20 azaltılmış değerlere göre elde edilmiş iken, ODTÜ tarafından yaptırılan sondajlarda genellikle %20 ve %40 oranında azaltılmış değerlere göre ilişki kuvvetlenmiştir. Bu durum, sondajlardan elde edilen SPT-N değerlerinin düzeltme mertebelerinin yapılan her bir sondaj için farklılıklar gösterebileceğine işaret edebilir.

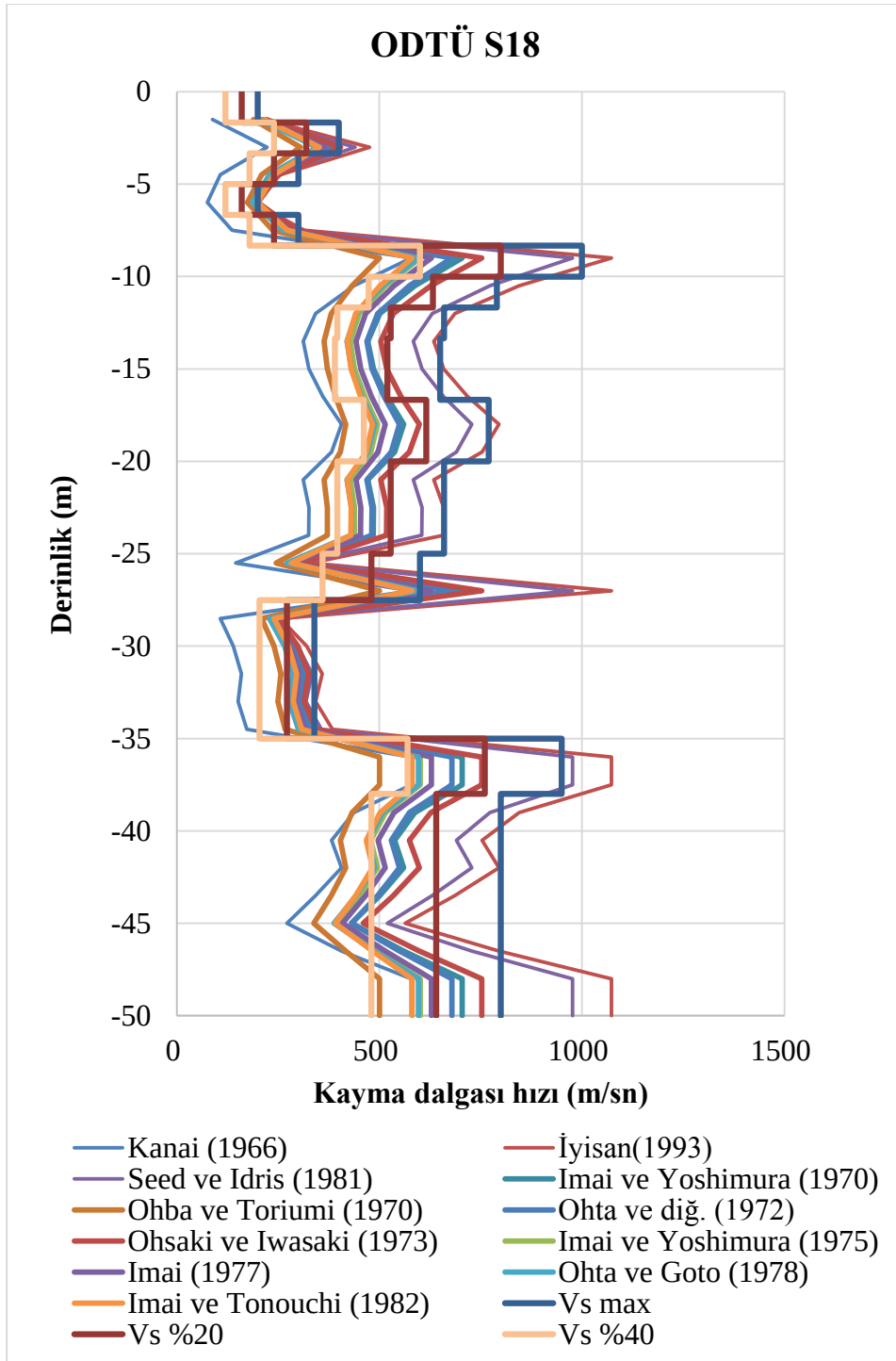
5.3.4 Azaltılan kayma dalgası hızlarına göre enerji düzeltmesi mertebesi

Kayma dalgası hızlarında yapılan %20 ve %40 oranlarındaki azalmanın karşılık geldiği temsili enerji düzeltmesi mertebesi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara örnek olması amacı ile, ODTÜ S18 sondajına ait SPT-N değerlerinden kayma dalgası hızlarına dönüşüm bağıntıları, bağıntılara göre idealleştirilmiş kayma dalgası hızı profili ve %20 ve %40 oranında azaltılmış kayma dalgası hızları Şekil5.29'da gösterilmiştir. Azaltılmış kayma dalgası hızlarından, dönüşüm bağıntıları dikkate alınarak SPT-N değerlerine geçilmiş ve enerji düzeltmesi oranları aşağıdaki denklemden yararlanılarak belirlenmiştir;

$$SPT-N_{60}=SPT-N_{ar}*CE \quad (5.5)$$

Burada, SPT-N₆₀; teorik serbest düşme tokmak enerjisinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı, SPT-N_{ar}; arazide ölçülen darbe sayısı, CE; enerji düzeltme katsayısıdır. Buna göre, kayma dalgası hızlarında %20 azalım, enerji düzeltmesi CE değeri olarak 0.63'e denk gelmektedir. Kayma dalgası hızlarının %40 azaltılması ile SPT-N_{ar} değerleri üzerindeki enerji düzeltmesi CE katsayısı 0.40'a denk gelmektedir.

Buradan yola çıkarak, İTÜ (1992) tarafından yaptırılan sondajlarda enerji düzeltmesinin, genellikle 1.0 - 0.63 değerlerine denk geldiği, ODTÜ (1992) tarafından yaptırılan sondajlarda ise enerji düzeltmesinin, genellikle 0.63 – 0.40 değerlerine denk geldiği görülmektedir.



Şekil 5.29 : ODTÜ S18 sondajı kayma dalgası hızı profili

6. SONUÇLAR

13 Mart 1992 Erzincan depreminde meydana gelmiş hasarlar üzerinde yerel zemin koşullarının etkilerinin araştırılmasını ve yapı hasar oranları ile zemin özellikleri arasında güçlendirilmiş bir ilişki elde edilmesini amaçlayan bu çalışma ile aşağıda belirtilen sonuçlara varılabilmektedir.

Erzincan'da 13 Mart 1992 tarihli depremde meydana gelen hasarlar, önemli ölçüde deprem özellikleri ve yapısal kusurlar etkisinde kalsa da, bu etkilerin olabildiğince azaltılması sonucu, yapı hasarları ile yerel zemin şartları arasında ilişki önemli mertebelerde elde edilebilmiştir.

Yapılan analizler sonucu, periyoda bağlı amplifikasyon ve hasar oranı ile periyoda bağlı spektral ivme ve hasar oranı arasındaki ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkilerin gücünü etkileyen faktörlerden biri de SPT-N sayılarından dönüştürülen kayma dalgası hızları üzerinde enerji düzeltmelerinin azaltıcı etkisinin temsil edilmemesidir. Yerel zemin koşulları ile hasar oranları arasındaki ilişkinin güçlendirilmesi amacıyla, kayma dalgası hızlarının doğrudan %0, %20 ve %40 azaltılmış değerleri için periyoda bağlı amplifikasyon ve hasar oranı ile periyoda bağlı spektral ivme ve hasar oranı arasındaki ilişkiler elde edilmiştir.

Kayma dalgası hızlarının her bir zemin profilinde aynı oranda azaltılmasıyla, yerel zemin büyütme özellikleri ile yapı hasar oranları arasındaki ilişkinin güçlenmediği, aksine ilişkiyi önemli derecede (%10 mertebelerine kadar) azalttığı görülmüştür. Bu durum, kayma dalgası hızlarının her bir sondaj için farklı mertebede azaltılması ile ilişkinin güçlenebileceğini akla getirmiştir.

Her bir sondaj için farklı kayma dalgası hızı azaltma mertebelerine göre elde edilen periyoda bağlı amplifikasyon değerleri ile hasar oranları arasındaki ilişki, tüm hasar oranları dikkate alınarak %63 değerine, bir yapı gözlemine dayalı hasar oranlarının çıkarılması ile %70 değerine, bir ve iki yapı gözlemine dayalı hasar oranlarının çıkarılması ile ise %80 değerine ulaşmıştır.

Dolayısıyla, yapı hasar oranları ile periyoda bağı amplifikasyon değerleri arasındaki korelasyon %65'ten %80'e yükseltilebilmiştir.

Periyoda bağı spektral ivme ile yapı hasar oranları arasındaki ilişki ise %70'ten %78'e yükseltilebilmiştir.

Yapı hasar oranları ile zemin özellikleri arasındaki ilişkinin güçlenmesinde, İTÜ tarafından yaptırılan sondajlarda, genellikle maksimum (%0 azalım) ve %20 azaltılmış kayma dalgası hızları ilişkiyi güçlendirecek yönde olumlu sonuçlar vermiş olup, enerji düzeltmesi mertebesi olarak 1.0 - 0.63 değerlerine tekabül etmektedir. ODTÜ tarafından yaptırılan sondajlar ise %20 ve %40 oranında azaltılmış kayma dalgası hızları ile ilişki güçlenebilmiş olup, enerji düzeltmesi mertebesi olarak 0.63 - 0.40 değerlerine tekabül etmektedir. Bu durum, sondajlardan elde edilen SPT-N değerlerinin düzeltme mertebelerinin yapılan her bir sondaj için farklılıklar gösterebileceğine işaret edebilir.

KAYNAKLAR

- Ansal, A., Şengezer, B. S., İyisan, R., Gencoğlu, S.** (1992). The damage distribution in March 13, 1992 Erzincan Earthquake and effect of geotechnical factors, *Proc. of Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering Seminar*, Lisbon, Balkema, Rotterdam.
- Akyıldırım, A. K.** (1993). *Mühendislik jeolojisi açısından Erzincan şehir alanının yerleşime uygunluğunun araştırılması* (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslan, H. Ve Siyahi, B.** (2006). A comparative study on linear and nonlinear site response analysis, *Environmental Geology*, doi:10.1007/s00254-006-0291-4.
- Bakır, B. S., Özkan, M. Y., Cılız, S.** (2002). Effects of basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, s.335-345.
- Borcherdt, R.D., Gibbs, J. F.** (1976). Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, s.467-500.
- Çakmak, B.** (2009). *Kayseri İli depremselliği ve özel mikrobölgeleme çalışması* (yüksek lisans tezi), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Demir, G.** (2011). *Kuzey Anadolu fayı üzerinde Niksar-Suşehri arasındaki alanın CBS tabanlı heyelan duyarlılık analizi* (doktora tezi), K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Duman, E. S.** (2013). *Erzincan ile ve çevresindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi* (yüksek lisans tezi), K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erdik, M., Yüzügüllü, O., Karakoç, C.** (1994). March 13, 1992 Erzincan (Turkey) earthquake, *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*, Balkema, Rotterdam, s. 7045-7051.
- Erzincan Valiliği Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü** (2011). Erzincan il çevre durum raporu, s.5-7.
- Finn W. D. L.** (1982). Dynamic response analysis of saturated sand layers, *Soil mechanics, transient and cyclic loads, constitutive relations and numerical treatment*, Editors Pande, G.N., Zienkiewicz, O.C., Swansea, John Willey and Sons.
- Finn W. D. L.** (1988). Dynamic analysis in geotechnical engineering, *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II, Proc. of the Speciality Conf.*, ASCE, Park City, Utah, s.27-30.
- Finn W. D. L.** (1993). Characterization of site effects and soil-structure interaction for seismic design codes, *Seismic Structure Interaction Seminar*, Vancouver, British Columbia.

- Gençoğlu, S., İnan, E., Güler, H.** (1990). *Türkiye'nin deprem tehlikesi*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Gürbüz, C., Pınar, A., Barış, Ş., Işı kara, A. M.** (1993). 13 Mart 1992 Erzincan depremi ve artçı sarsıntıları, *İkinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 292-299.
- Hayfavi, K. ve Gülkan, P.** (1995). Bina hasarı ile yerel zemin yapısı arasındaki korelasyon: Erzincan olayı değerlendirmesi, *Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 615-624.
- Idriss I. M., Seed, H. B.** (1968). An analysis of ground motions during the 1957 San Francisco earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.58, No.6, s.2013-2032.
- Ishihara, K. ve Ansal, A.** (1982). *Dynamic behaviour of soils, soil amplification and soil structure iteration*, Final Report, UNDP Project, RER/79/014.
- İyisan, R., Ansal, A.** (1993). Erzincan'da dinamik zemin özelliklerinin kuyu içi sismik yöntemlerle belirlenmesi, *İkinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- İyisan, R., Haşal, M. E.** (2011). Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi, *İTÜ Dergisi D: Mühendislik*, Cilt:10, Sayı:4, s.47-56.
- Kaptan, K. ve Tezcan, S.** (2012). Deprem dalgalarının zemin büyütmesi üzerine örnekler, *TUBAV Bilim Dergisi*, Cilt 5, Sayı 4, s. 17-32.
- Kramer, S. L.**, (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6.
- Kurtuluş, C.** (1993). 13 Mart 1992 Erzincan depremi ve sonuçları, *İkinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 300-309.
- Lav, A., Erken, A., İyisan, R., Ansal, A.** (1993). Erzincan'da yerel zemin koşulları ve bunun yapısal hasarlar üzerindeki etkisi, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi*, Ankara, s.1-24.
- Lav, A.** (1994). *İstanbul ve Erzincan şehirlerinde zemin büyütme etkilerine göre mikrobölgeleme* (doktora tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- MacMurdo, J.** (1824). Papers relating to earthquake which occurred in India in 1819, *Philosophical Magazine*, Vol.63, s.105-177.
- Mallet, R.** (1862). *Great Neapolitan Earthquake of 1857*, Londra, 2 vols.
- Midorikawa, S.** (1987). Prediction of isoseismal map in the Kanto Plain due to hypothetical earthquake, *Journal of Structural Engineering*, 33B, s. 43-48.
- Okur, V., Altun, S., Ansal, A.** (2007). İnce daneli zeminlerde çevrimsel şekil değiştirme, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 199-208.
- Okur, V., Ansal, A.** (2009). Tekrarlı yük etkisinde kil zeminlerin lineer olmayan elastik davranışı, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: XXII, Sayı:1, s.

- Öztaş, T.** (1993). Erzincan şehri dolayının mühendislik jeolojisi özellikleri, *İkinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 271-280.
- Proshake User's Manual**, Ground Response Analysis Program, EduPro Civil Systems, Inc. Redmond, Washington.
- Reid, H. F.** (1910). The California Earthquake of April, 18, 1906, Publication 87, Vol.21, Carnegie Institute of Washington, Washington, D.C.
- Roeset J. M.** (1977). *Soil amplification in earthquakes, Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, C.S. Desai and J.T. Christian, eds, McGraw Hill, New York, 19, s.639-682, ISBN:0-07-016542-4.
- Schnabel, P. B., Lysmer, J., Seed, H. B.** (1972). *SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*, Report No. UCB/EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Shima, E.** (1978). Seismic Microzoning Map of Tokyo, *Proceedings of the Second International Conference on Microzonation*, 1, s.433-443.
- Stain, S., Wyssession, M.** (2003). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*, Blackwell Publishing, ISBN-13: 978-0-86542-078-6.
- Stone W. C., Yokel, F. Y., Celebi, M., Hanks, T., Leyendecker, E.V.** (1987). Engineering aspects of the September 19, 1985 Mexico earthquake, *NBS Building Science Series 165*, National Bureau of Standards, Washington, D.C. s.207.
- Şafak, E.** (2001). Local site effects and dynamic soil behaviour, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, s.453-458.
- Şaylan, F. S.** (2006). Erzincan ovasının kayma dalgası hızına bağlı potansiyel sıvılaşma analizi (yüksek lisans tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şengezer, B. S.** (1999). 13 Mart 1992 Erzincan depremi hasar analizi ve Türkiye’de deprem sorunu, Yıldız Teknik Üniversitesi basım yayın merkezi, Yayın No: YTÜ.MF.YK-99.0496.
- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE** (1999). *Manual for zonation on seismic geotechnical hazards* (revised version), The Japanese Geotechnical Society, Tokyo, Japan, ISBN: (TC4 of ISSMFE, 1993).
- Thaker, T. P., Rao, K. S.** (2011). Development of statistical correlations between shear wave velocity and penetration resistance using MASW technique, *Pan-Am CGS Geotechnical Conference*, Kanada.
- Tüysüz, O.** (1993). Erzincan çevresinin jeolojisi ve tektonik evrimi, *İkinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 259-270.
- Vucetic, M., Dobry, R.** (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.117, No.1, s.89-107.
- Wood, H.O.** (1908). Distribution of apparent intensity in San Francisco, in the California earthquake of April, 18, 1906, *Report of the State Earthquake Investigation Commission*, Carnegie Institute of Washington, Washington, D.C, Vol.1, s.220-245.

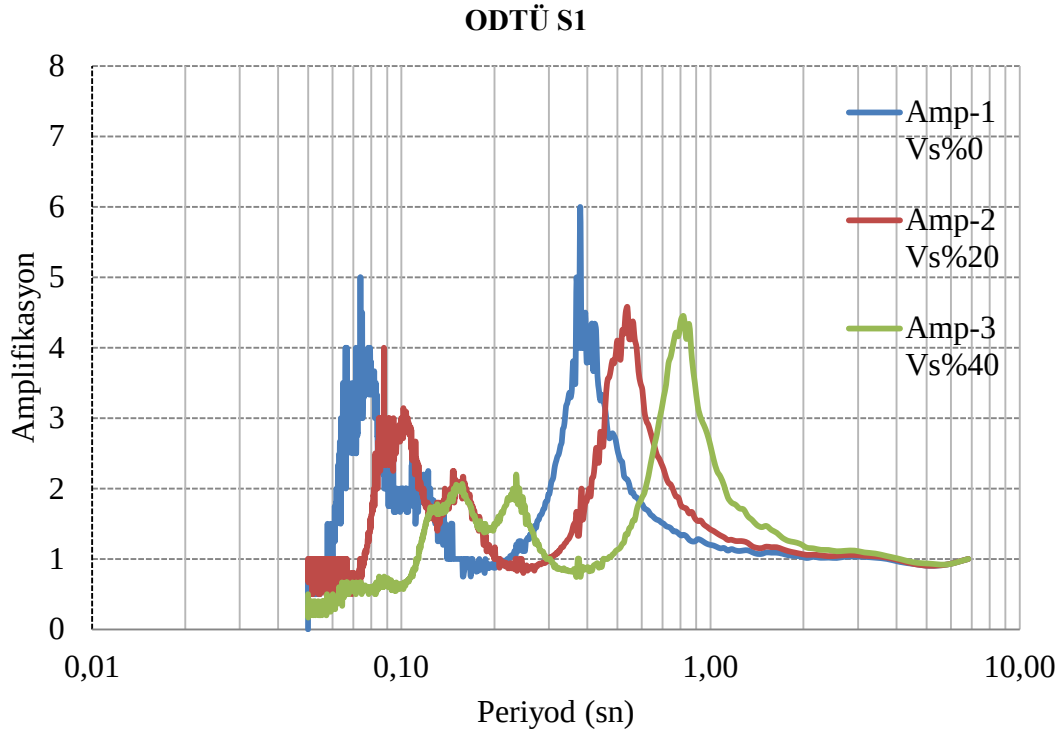
- Yalçınkaya, E.** (2004). Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 17, S. 1, s. 47-56.
- Yalçınkaya, E.** (2010). Zemin büyütmesi neden bu kadar önemli, *Jeofizik Bülteni*, Sayı: 63, ISSN 1300-140X.
- Yılmaz, R., İravul, R.** (1993). Erzincan ve çevresinin sismisitesi, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- Yoshida, N., Iai, S.** (1998). Nonlinear site response and its evaluation and prediction, *Proceedings of Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Vol. 1, pp. 71-90.
- Url-1** <<https://www.afad.gov.tr/tr/HbIcerikDetay.aspx?ID=23&IcerikID=676>>, alındığı tarih: 08.04.2015.
- Url-2** <<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>>, alındığı tarih: 08.04.2015.
- Url-3** <<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/depbolge/erzincan.gif>>, alındığı tarih: 08.04.2015.
- Url-4** <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/kilic_172785ebc715ad3f799d8512cdc2007.pdf>, alındığı tarih: 10.04.2015.

EKLER

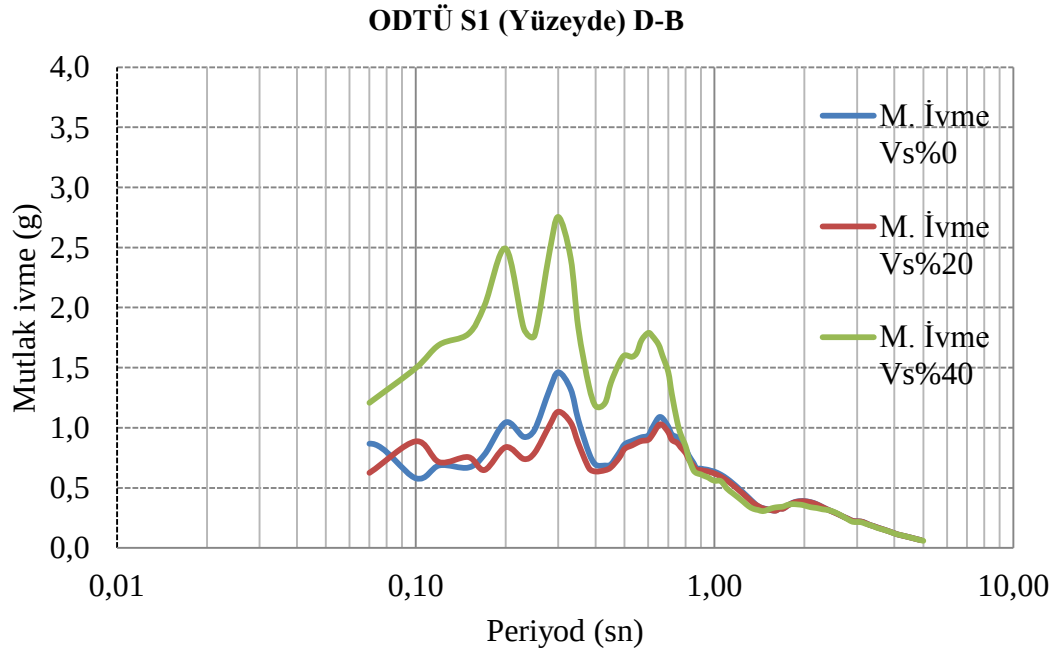
EK A: Zemin Profilleri Dinamik Davranış Özellikleri

(13 Mart 1992 Erzincan Depremi Doğu-Batı bileşeni kaydından dekonvolüsyon sonucu hesaplanan kaya yüzey kaydı kullanılarak SHAKE ile üretilmiştir.)

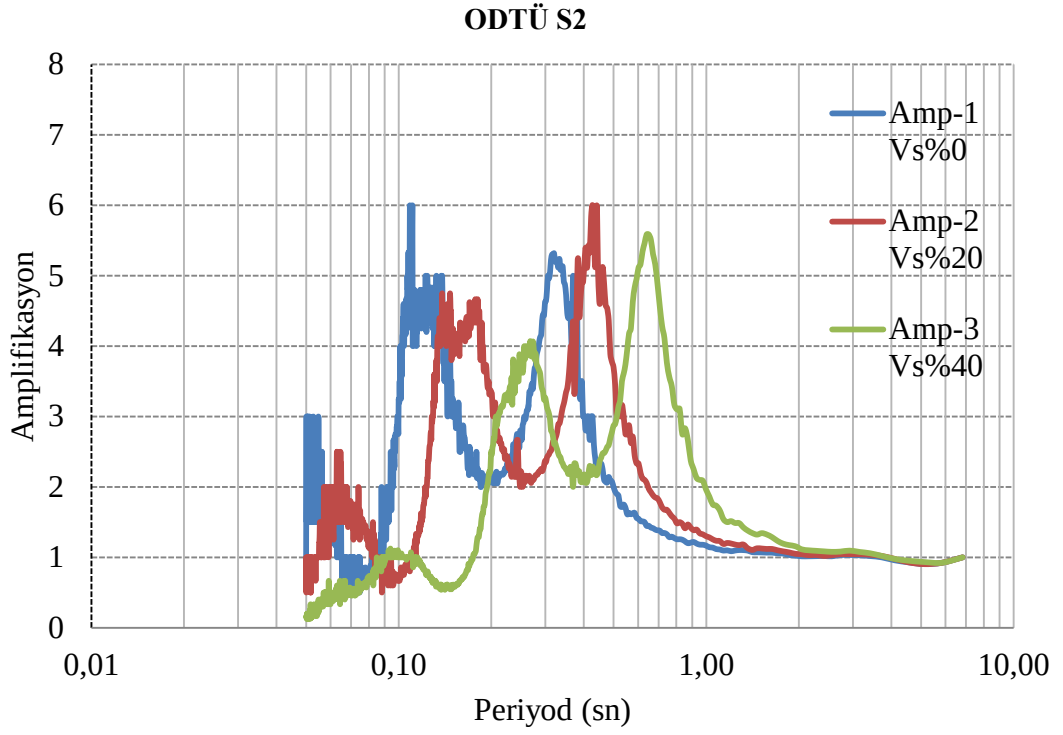
EK A



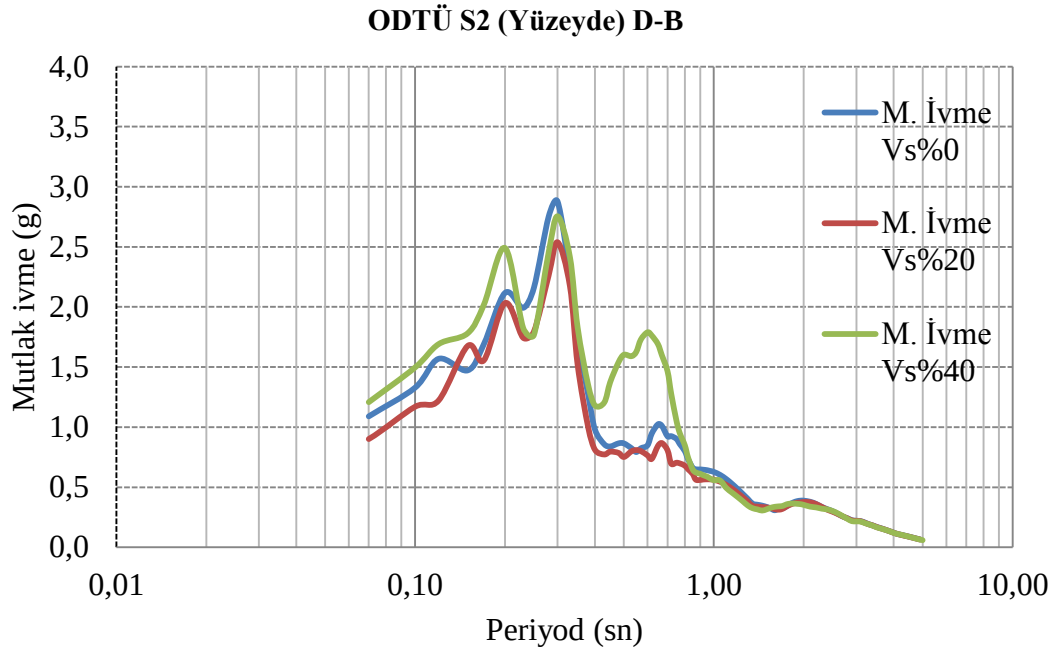
Şekil A.1 : ODTÜ S1 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



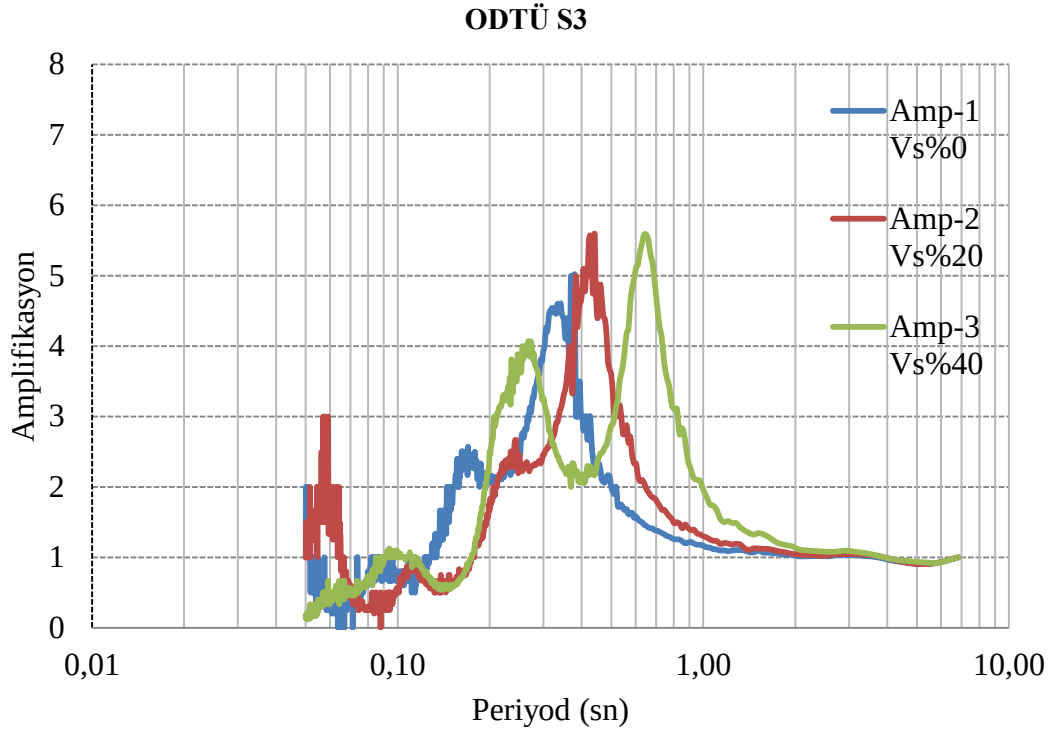
Şekil A.2 : ODTÜ S1 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



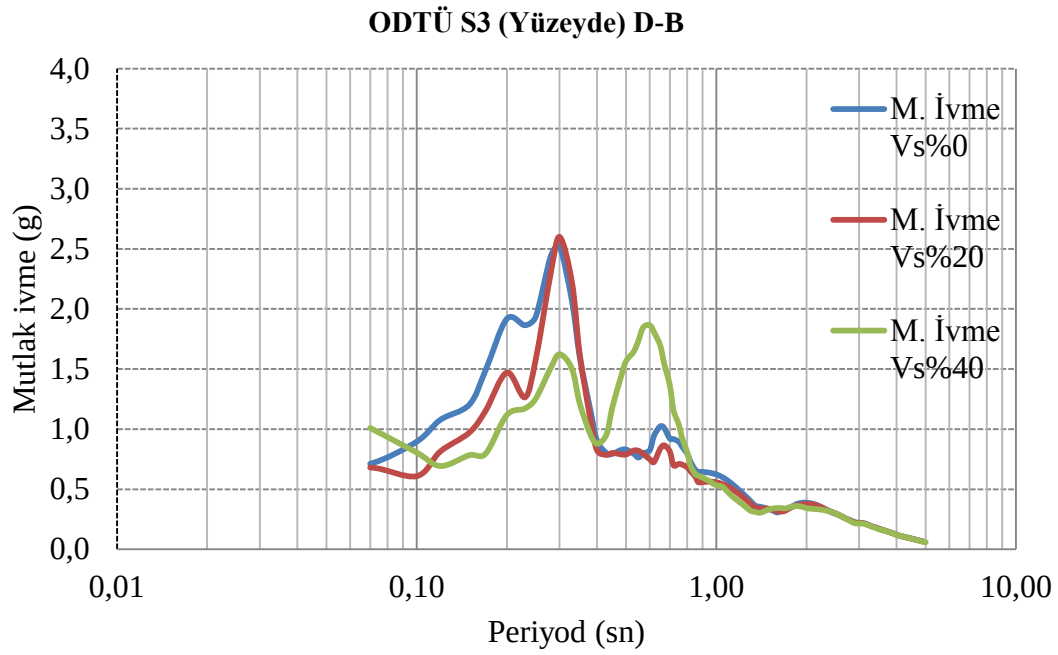
Şekil A.3 : ODTÜ S2 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



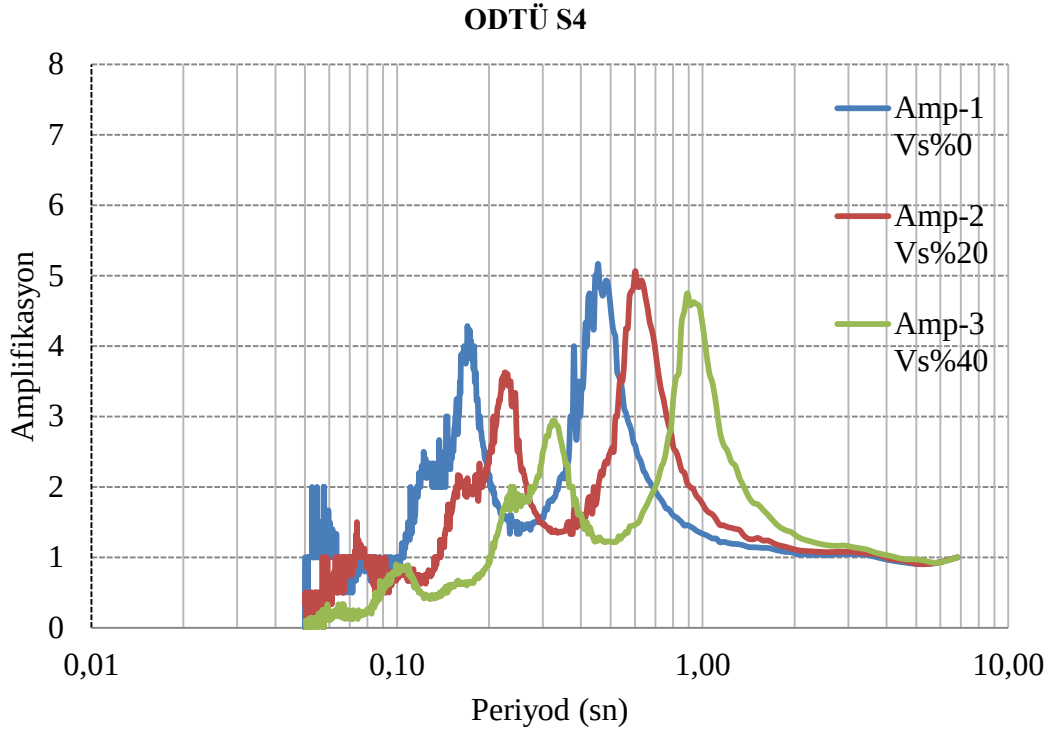
Şekil A.4 : ODTÜ S2 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



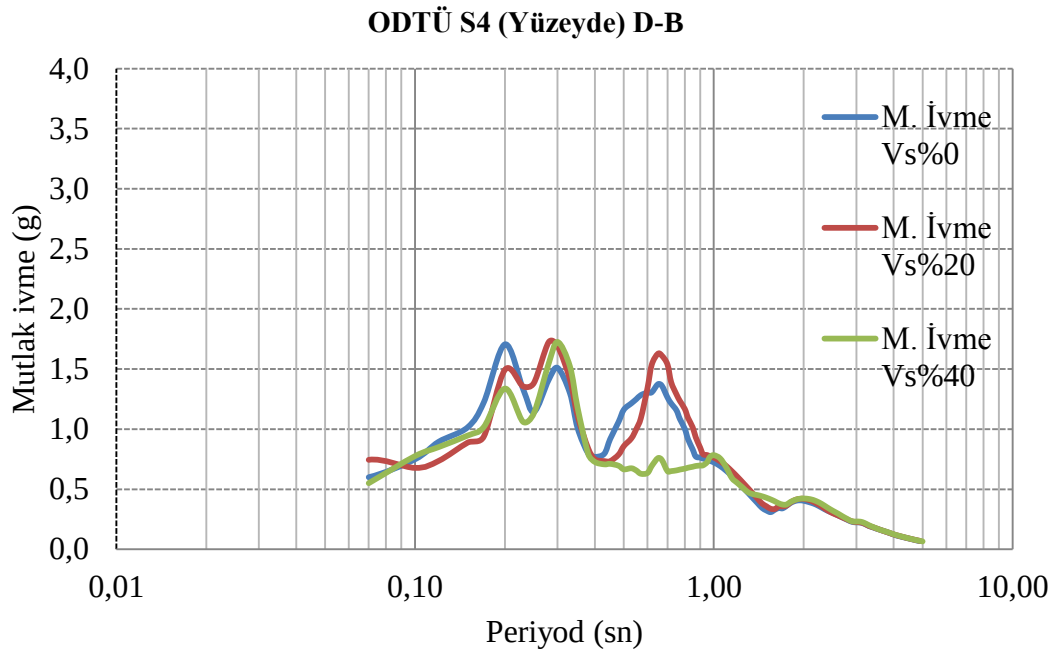
Şekil A.5 : ODTÜ S3 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



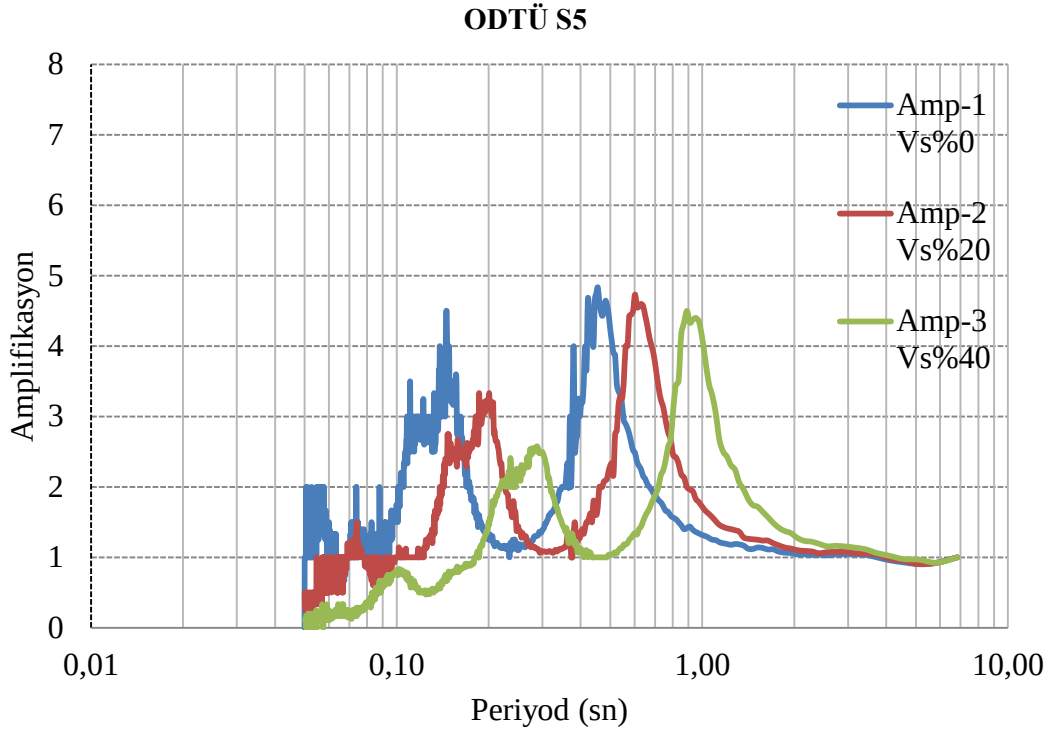
Şekil A.6 : ODTÜ S3 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



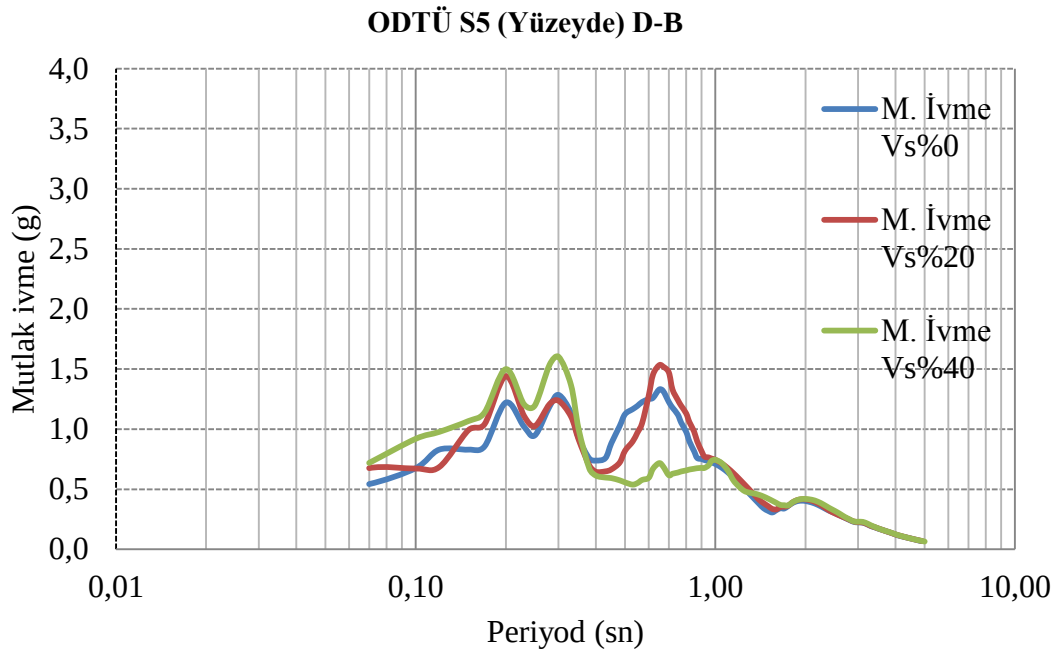
Şekil A.7 : ODTÜ S4 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



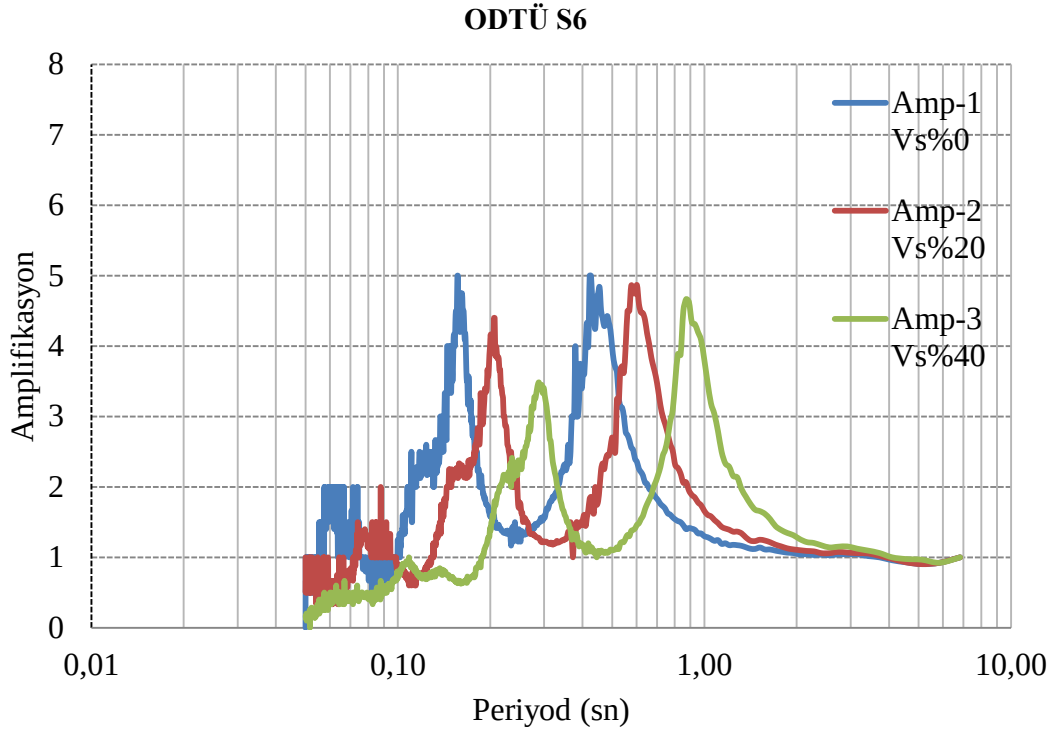
Şekil A.8 : ODTÜ S4 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



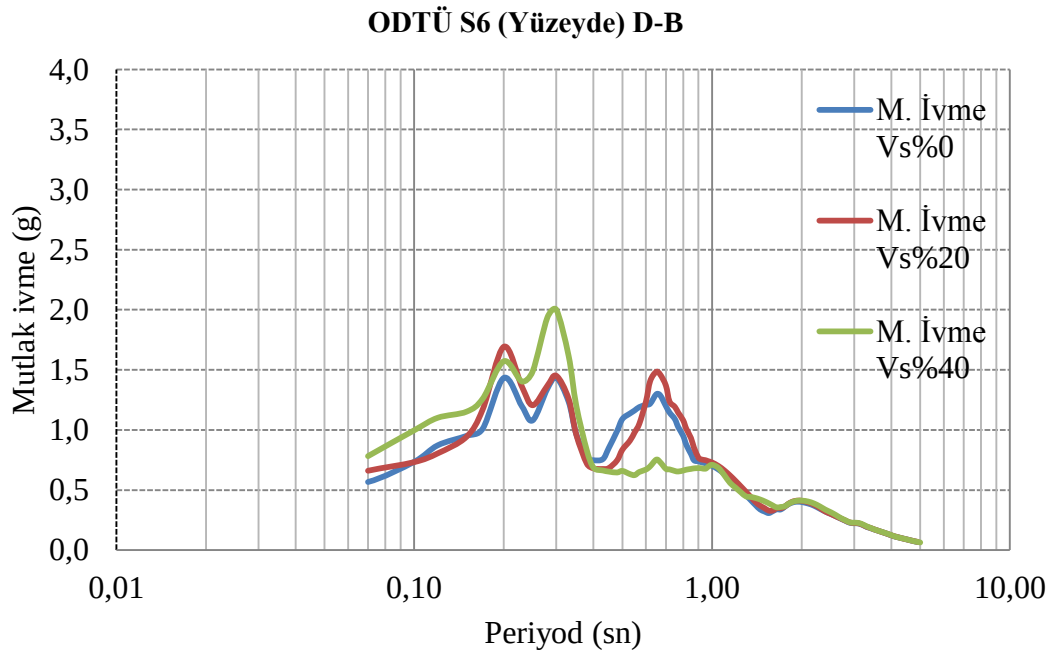
Şekil A.9 : ODTÜ S5 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



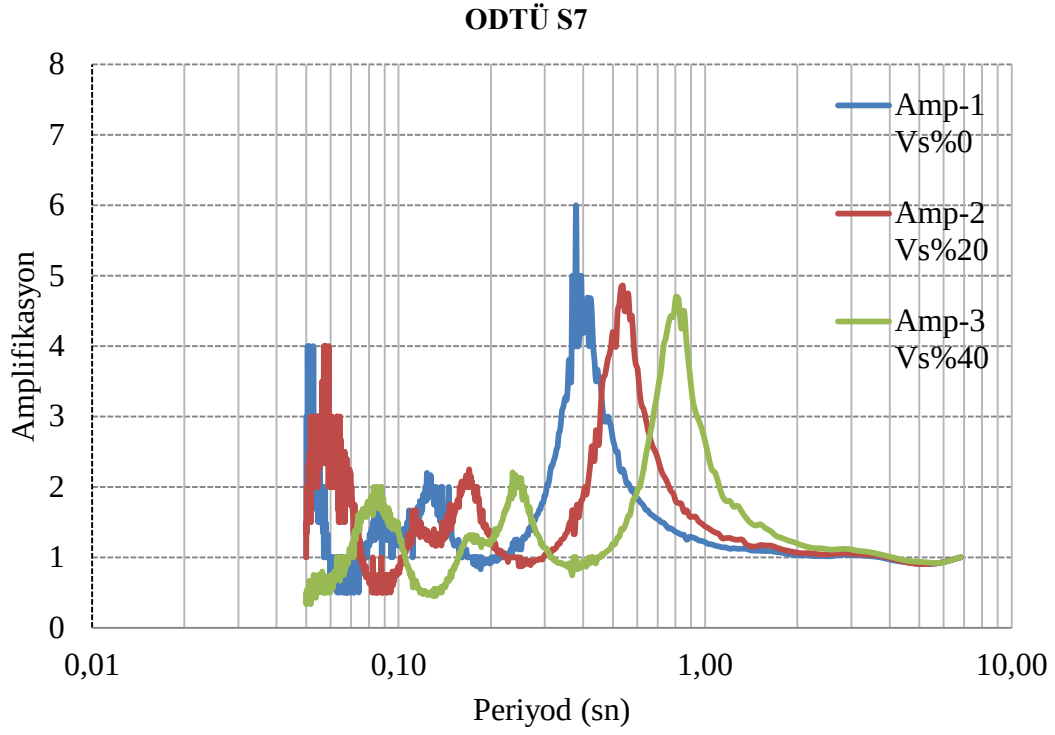
Şekil A.10 : ODTÜ S5 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



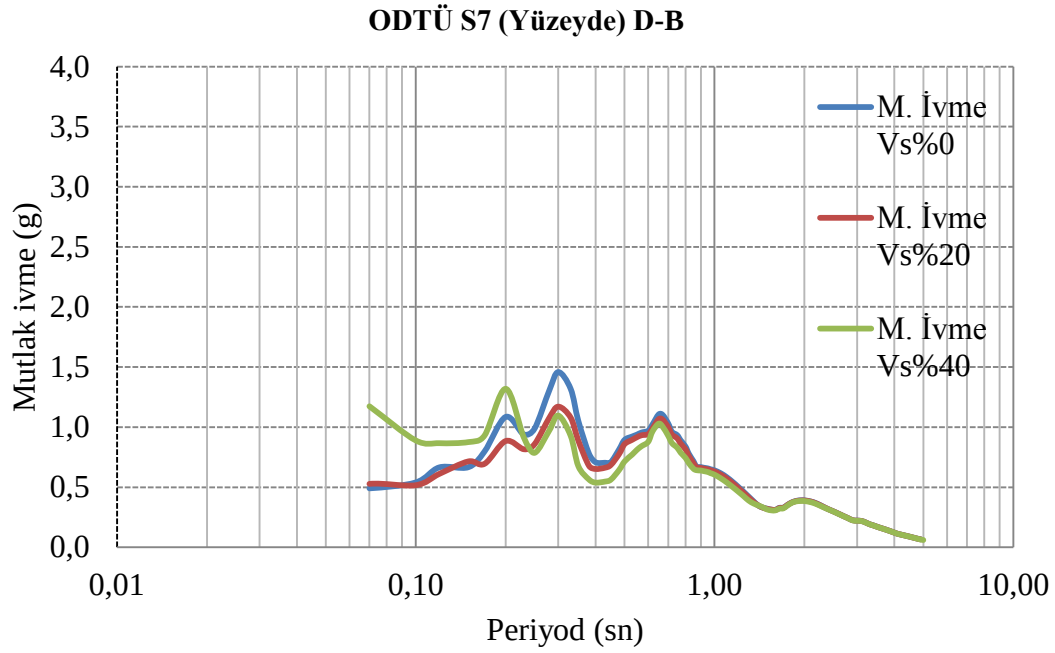
Şekil A.11 : ODTÜ S6 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



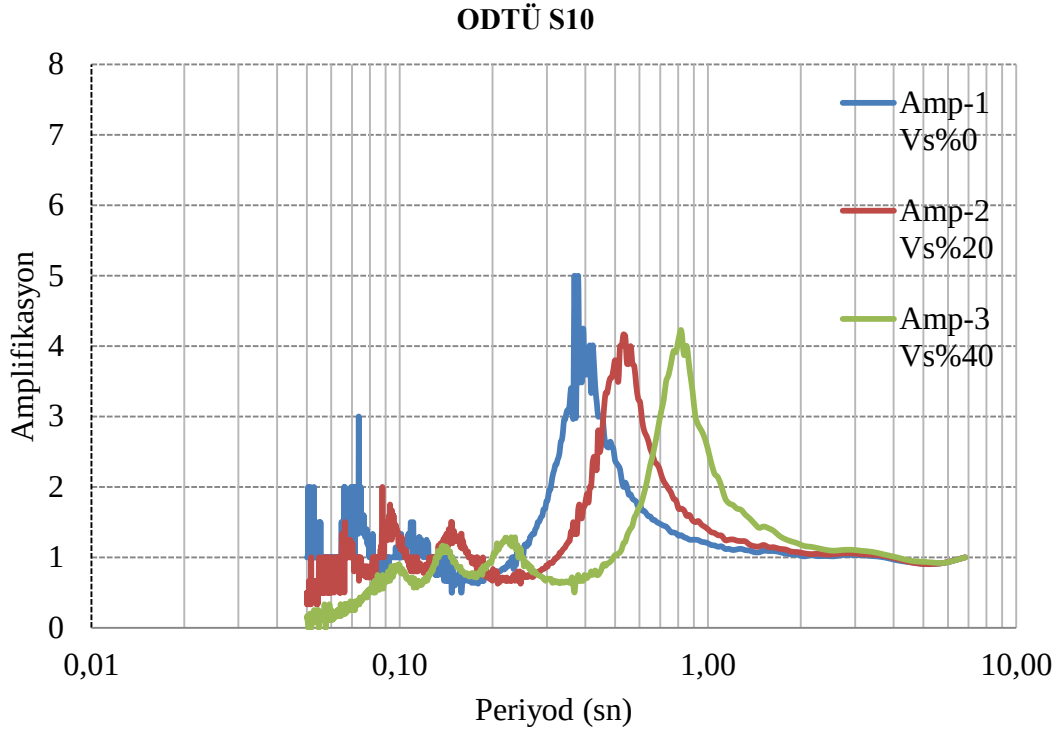
Şekil A.12 : ODTÜ S6 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



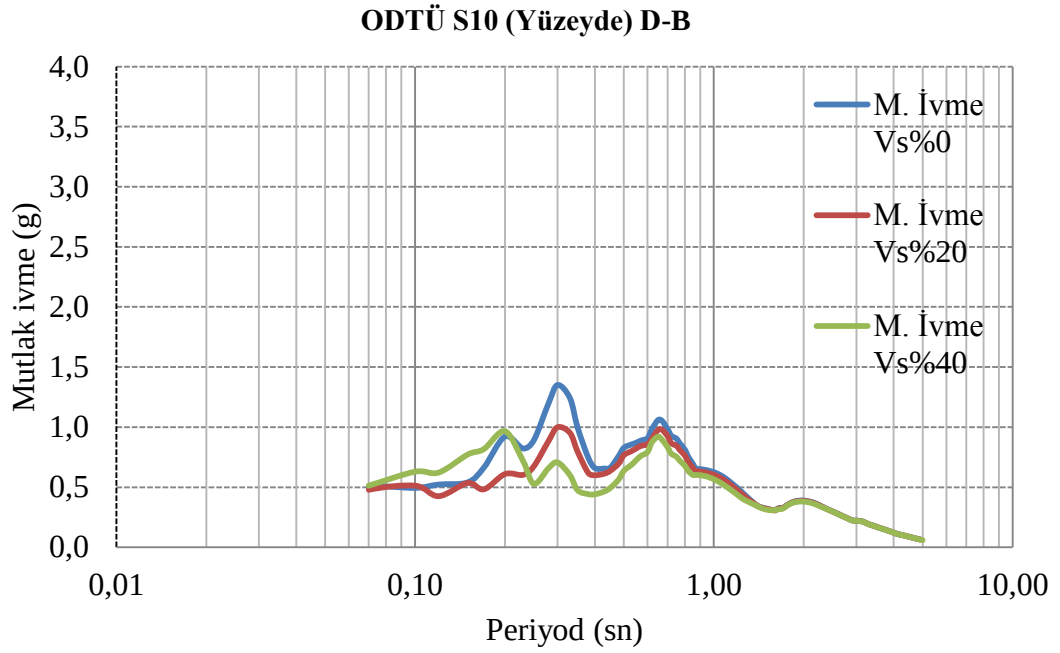
Şekil A.13 : ODTÜ S7 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



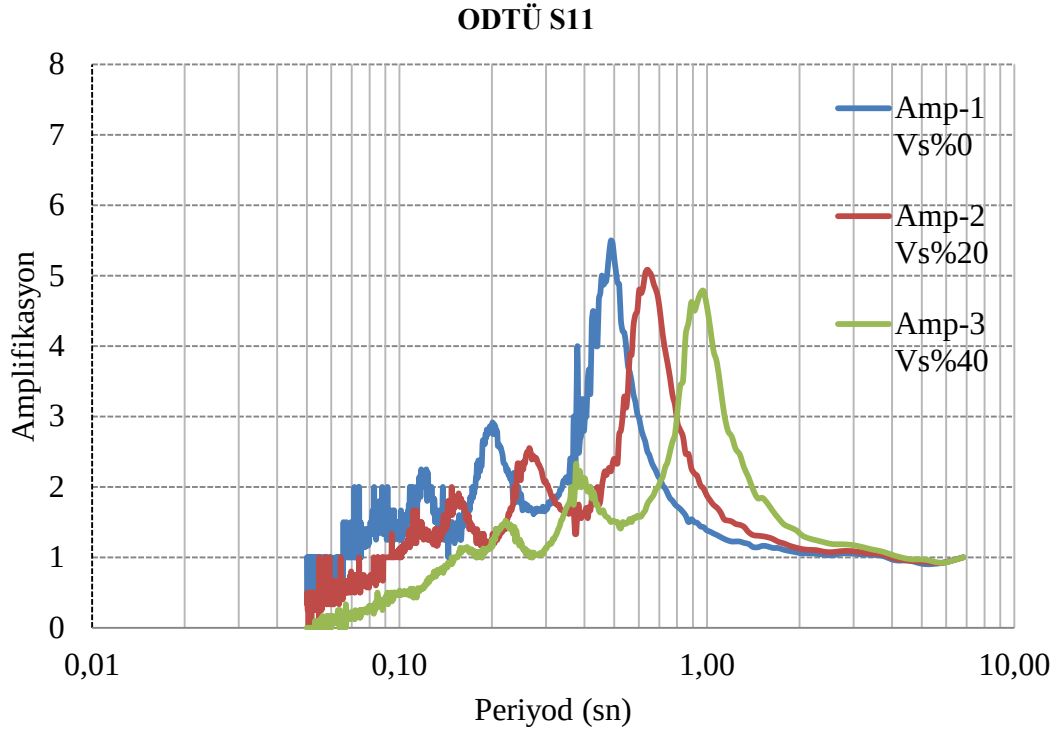
Şekil A.14 : ODTÜ S7 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



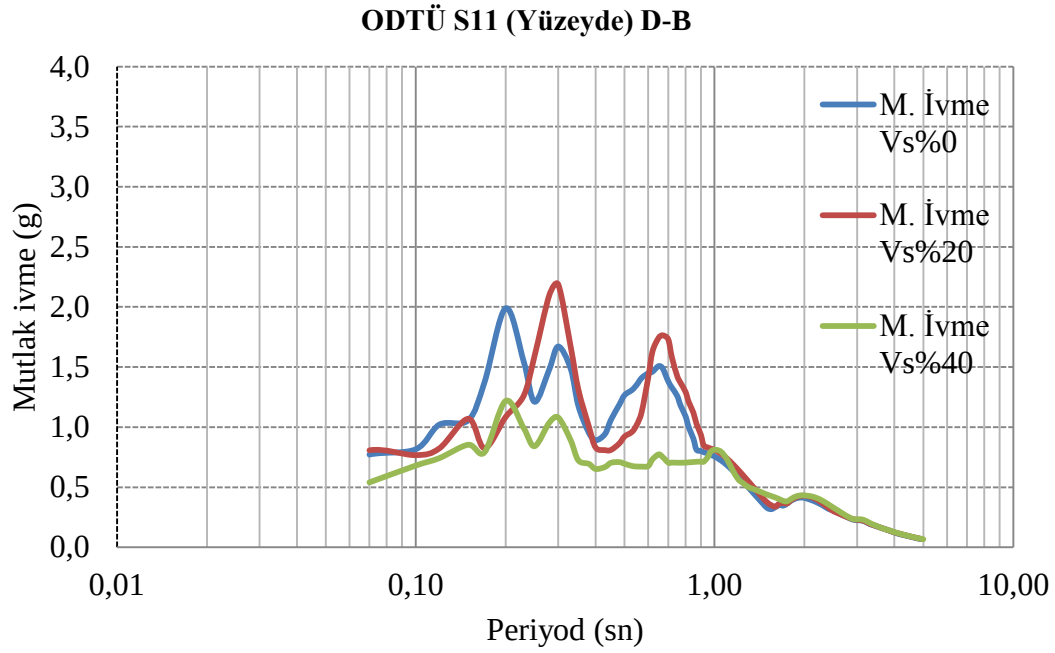
Şekil A.15 : ODTÜ S10 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



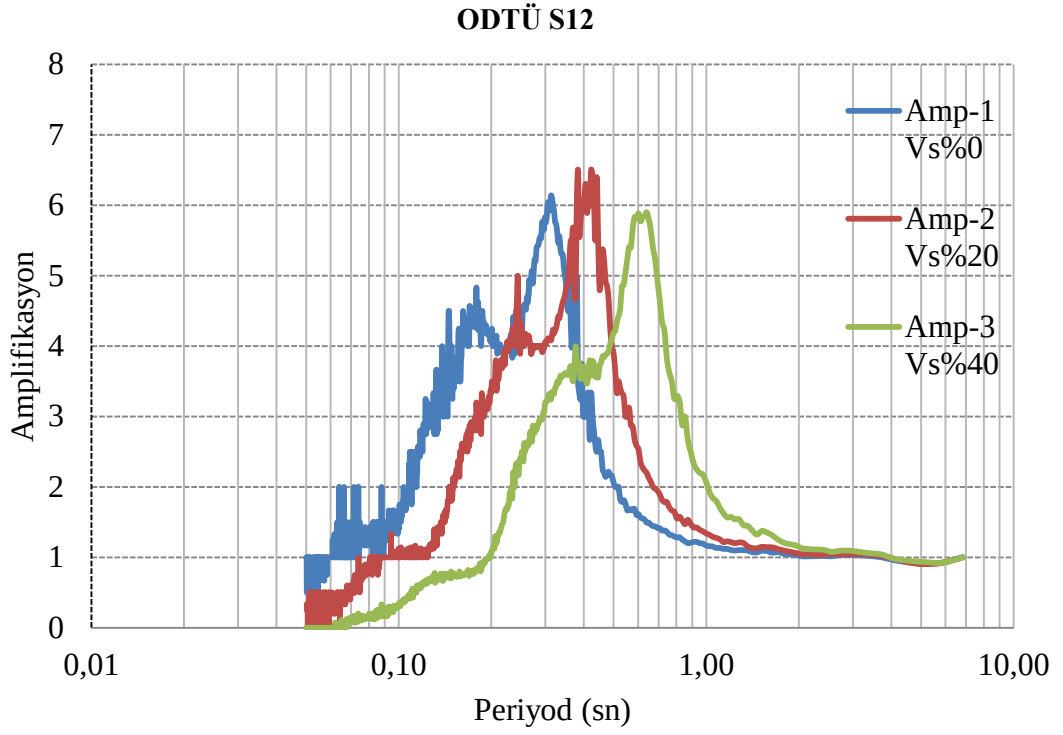
Şekil A.16 : ODTÜ S10 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



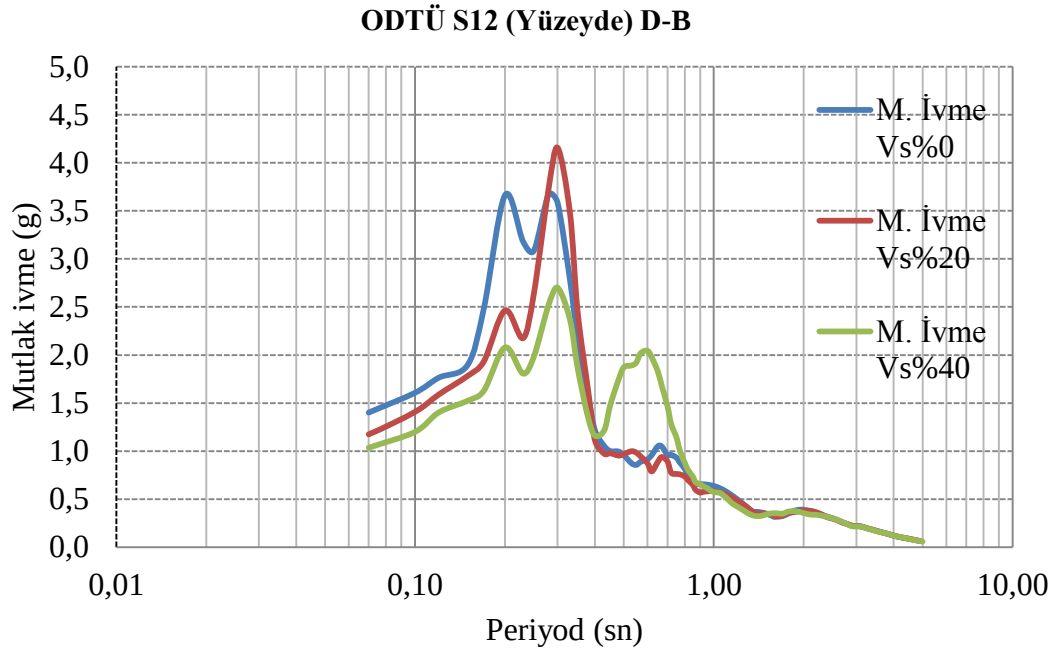
Şekil A.17 : ODTÜ S11 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



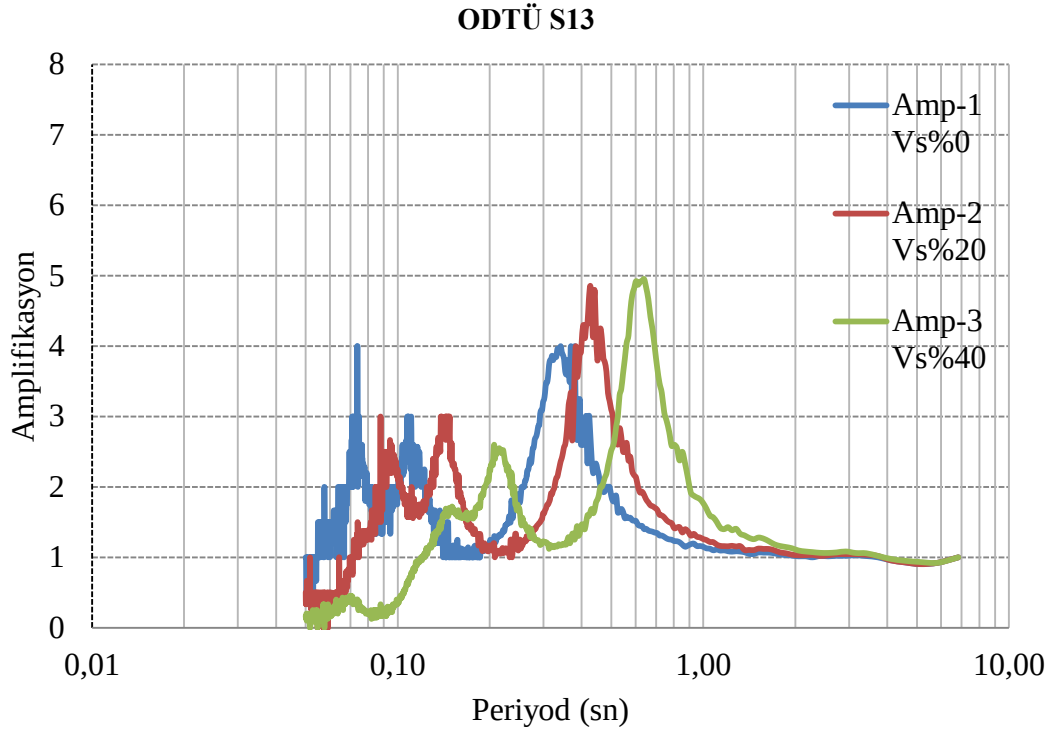
Şekil A.18 : ODTÜ S11 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



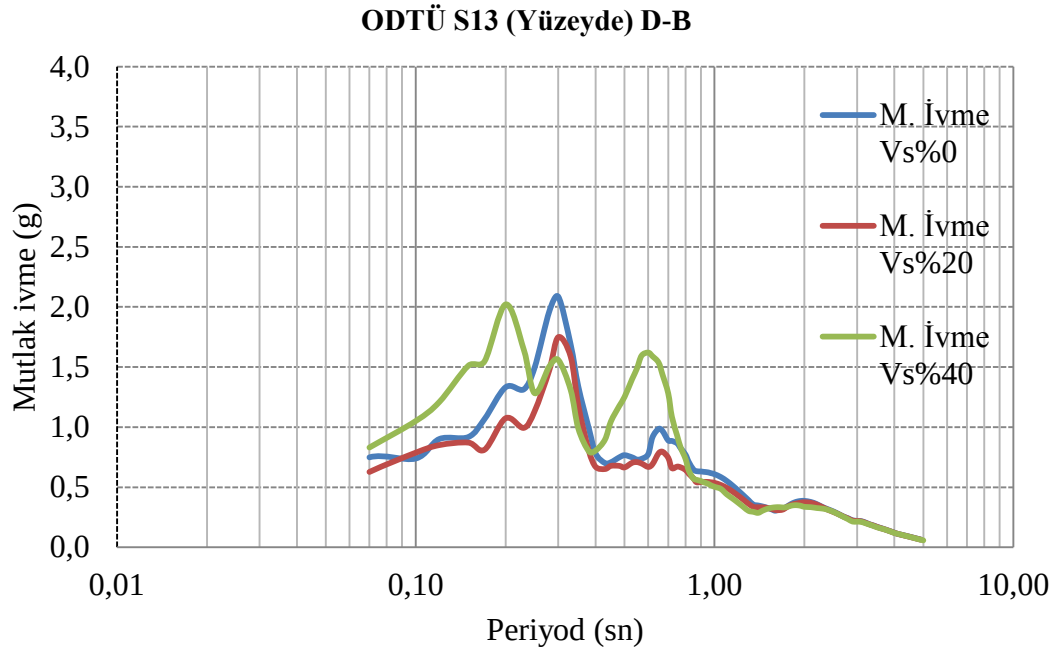
Şekil A.19 : ODTÜ S12 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



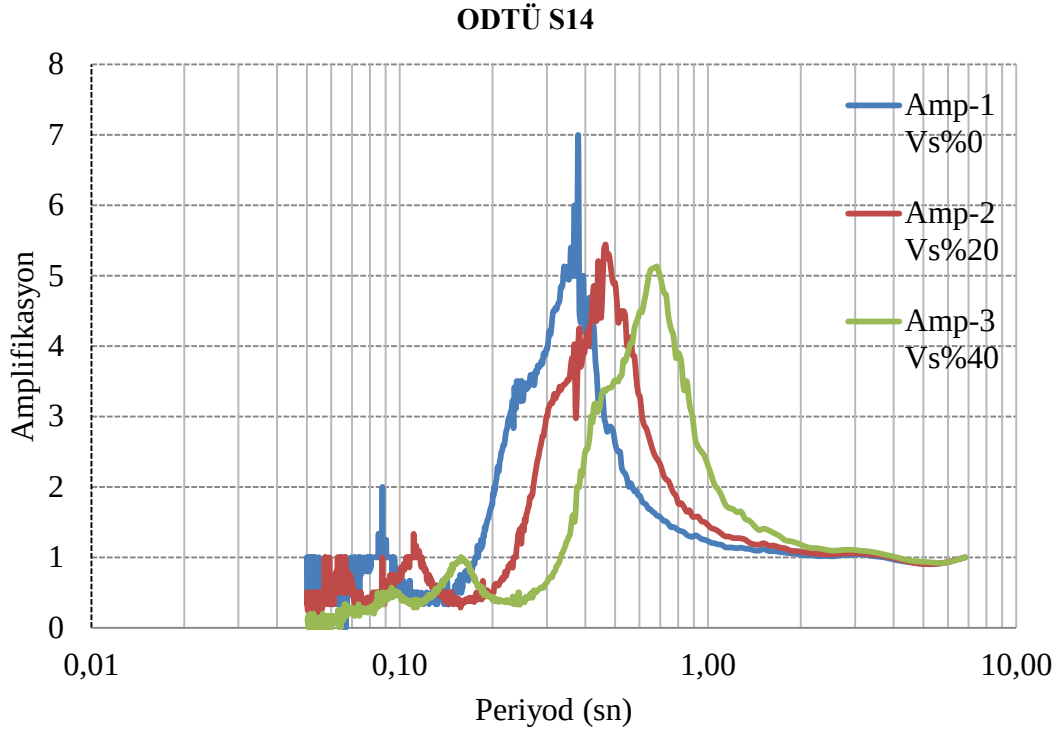
Şekil A.20 : ODTÜ S12 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



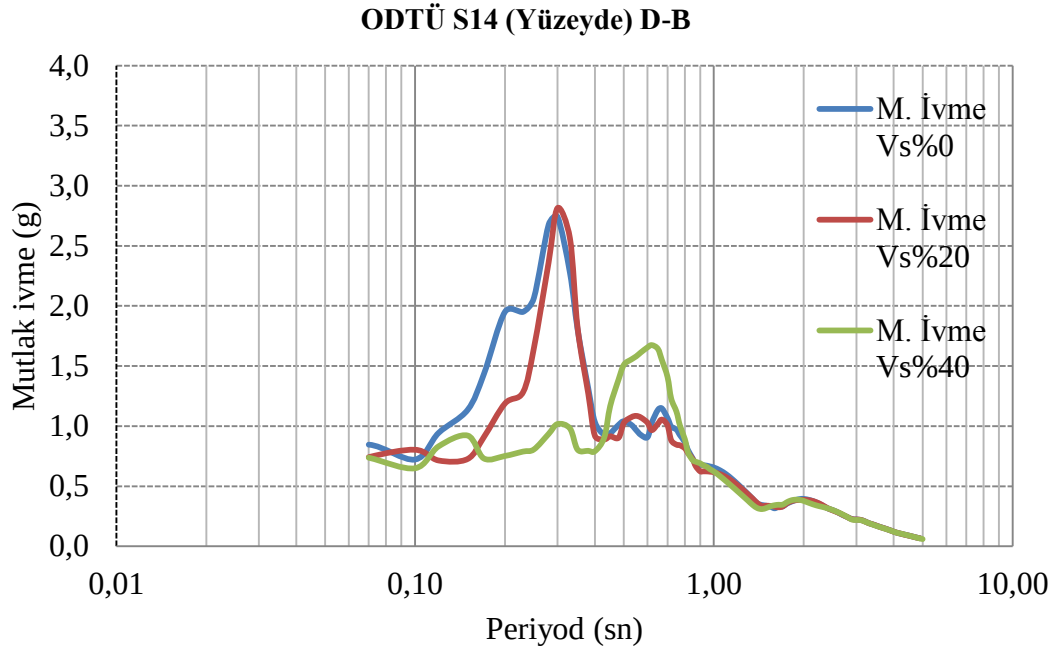
Şekil A.21 : ODTÜ S13 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



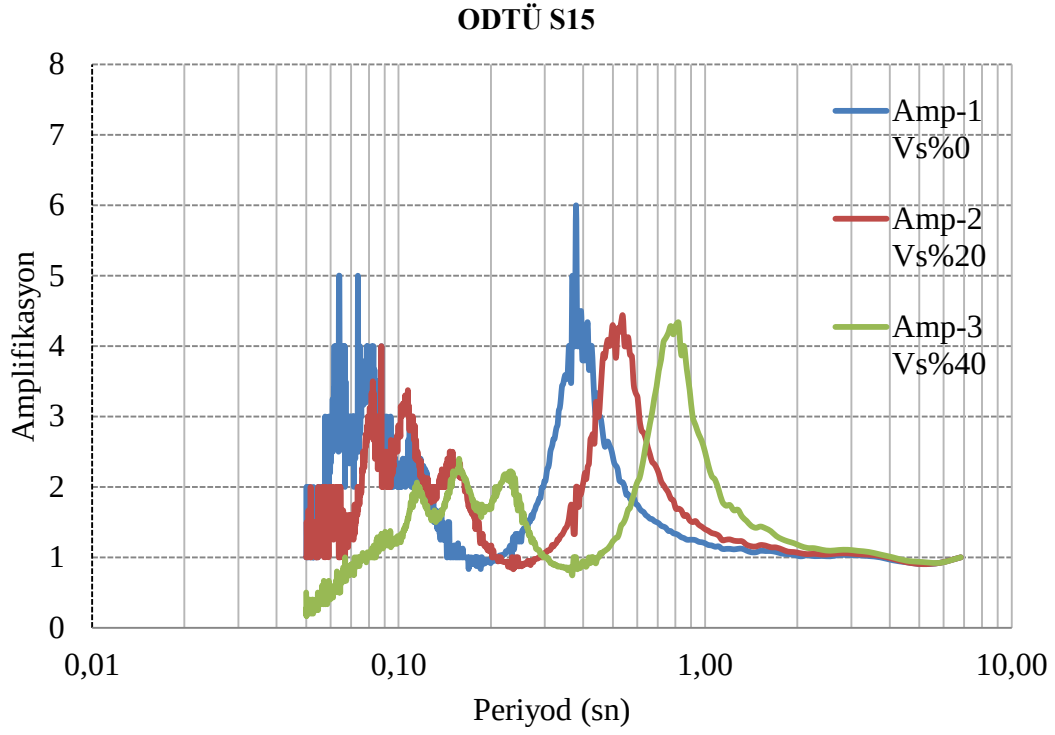
Şekil A.22 : ODTÜ S13 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



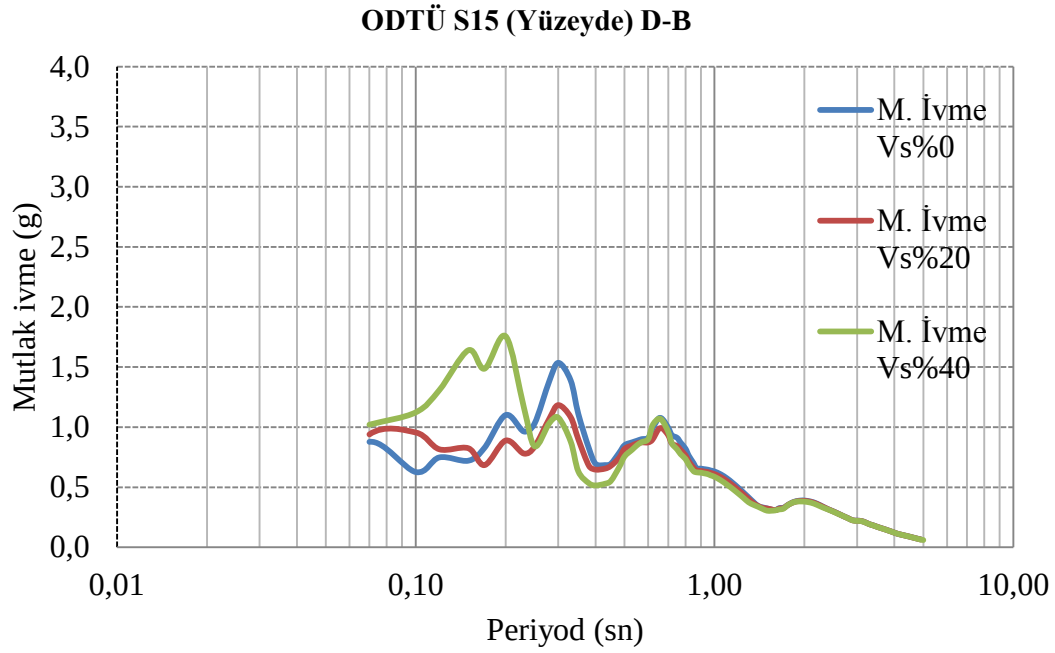
Şekil A.23 : ODTÜ S14 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



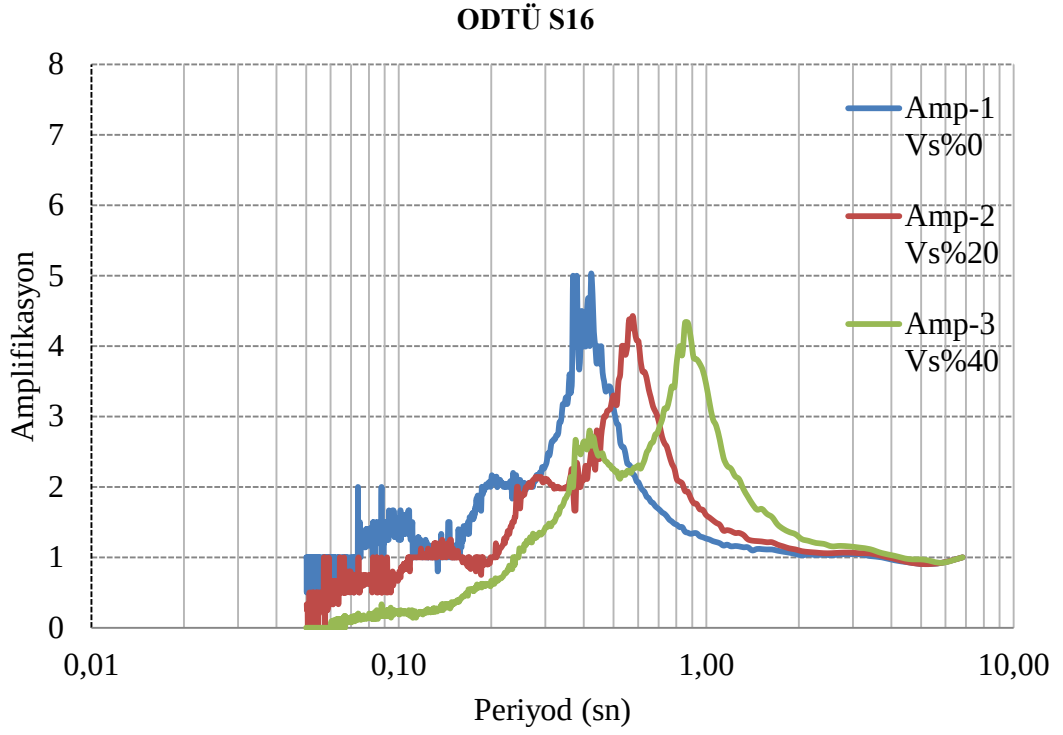
Şekil A.24 : ODTÜ S14 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



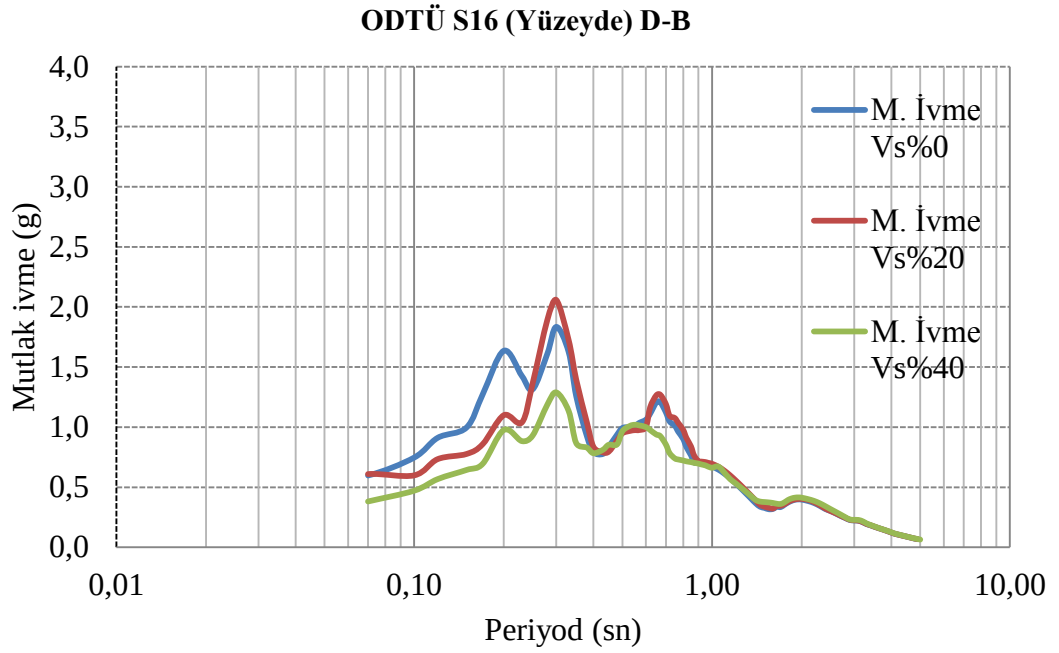
Şekil A.25 : ODTÜ S15 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



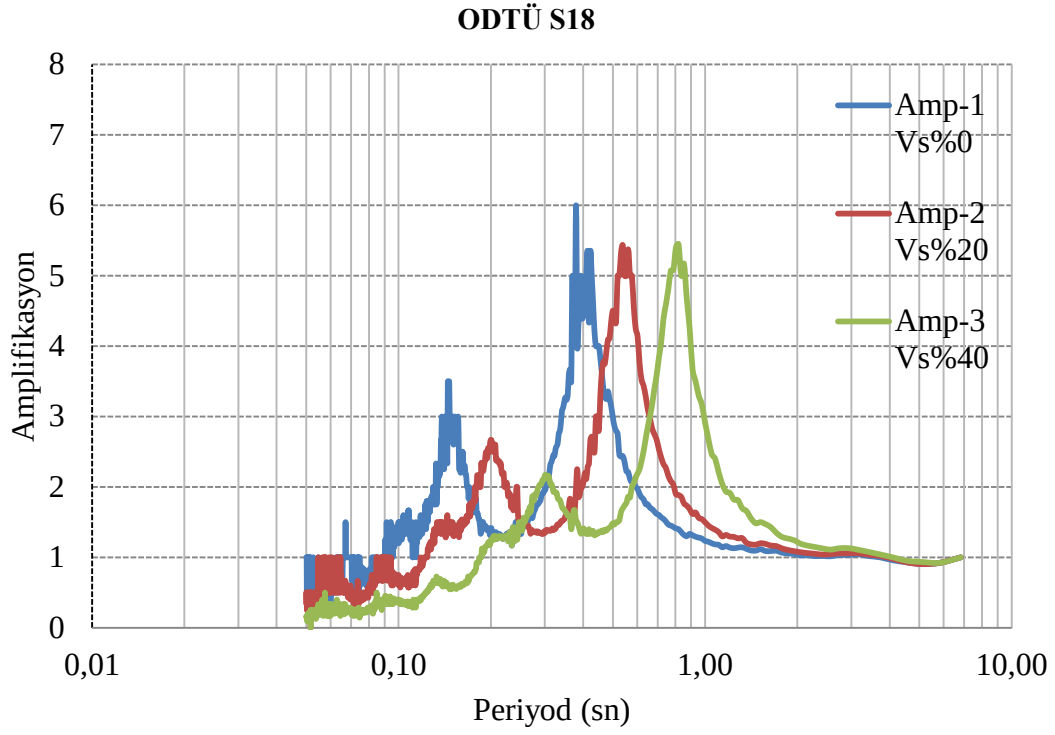
Şekil A.26 : ODTÜ S15 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



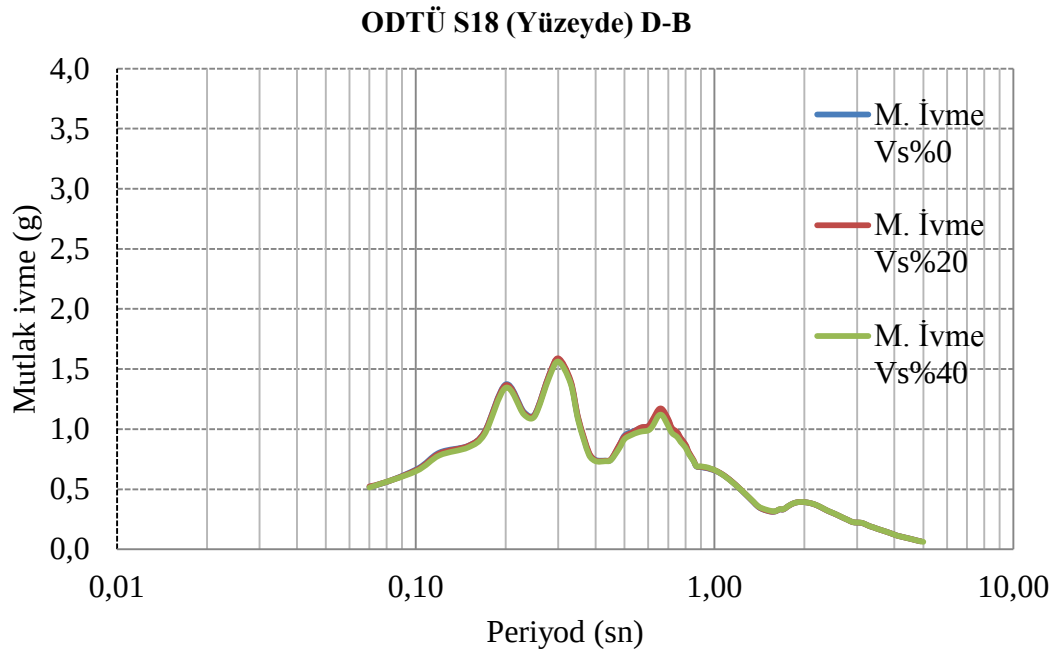
Şekil A.27 : ODTÜ S16 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



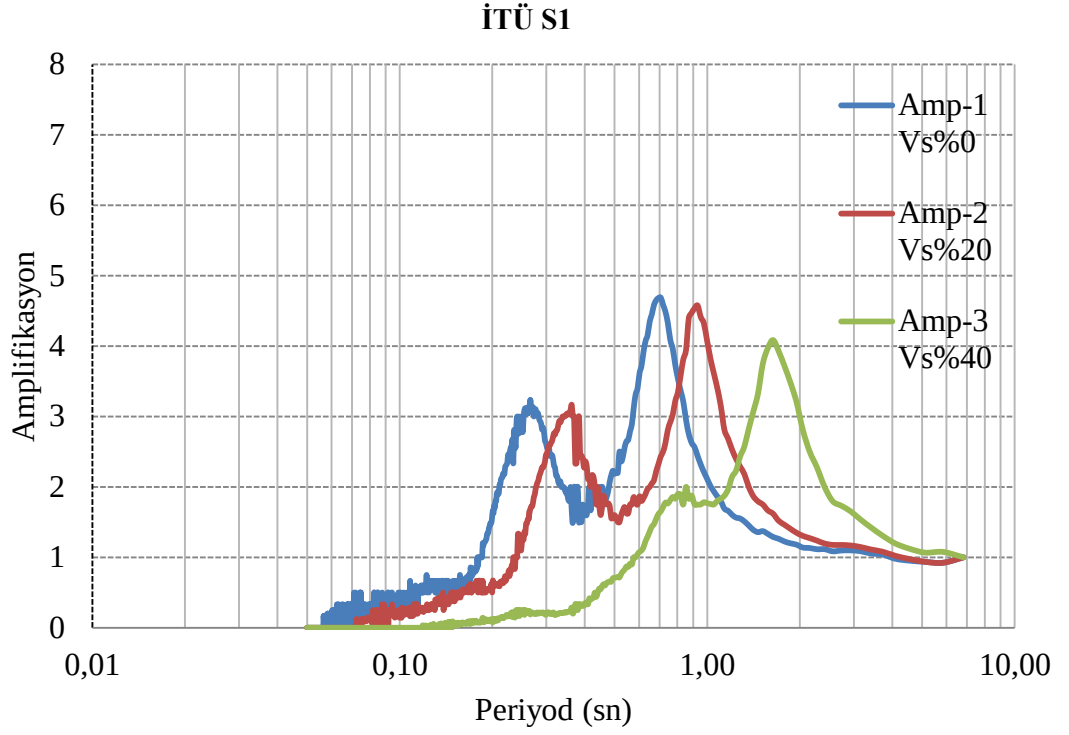
Şekil A.28 : ODTÜ S16 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



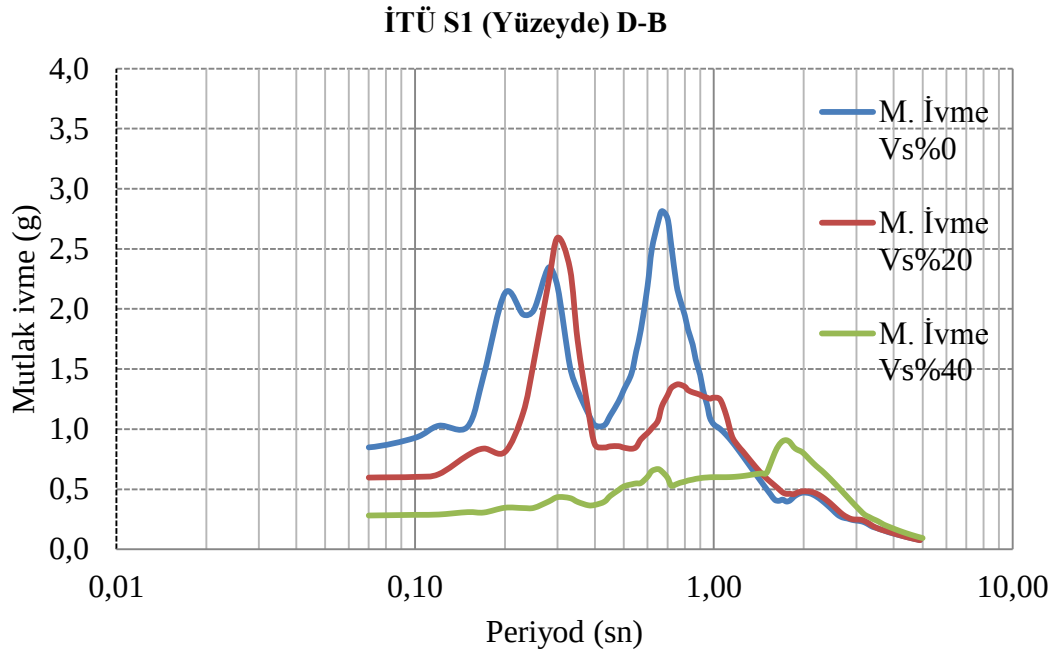
Şekil A.29 : ODTÜ S18 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



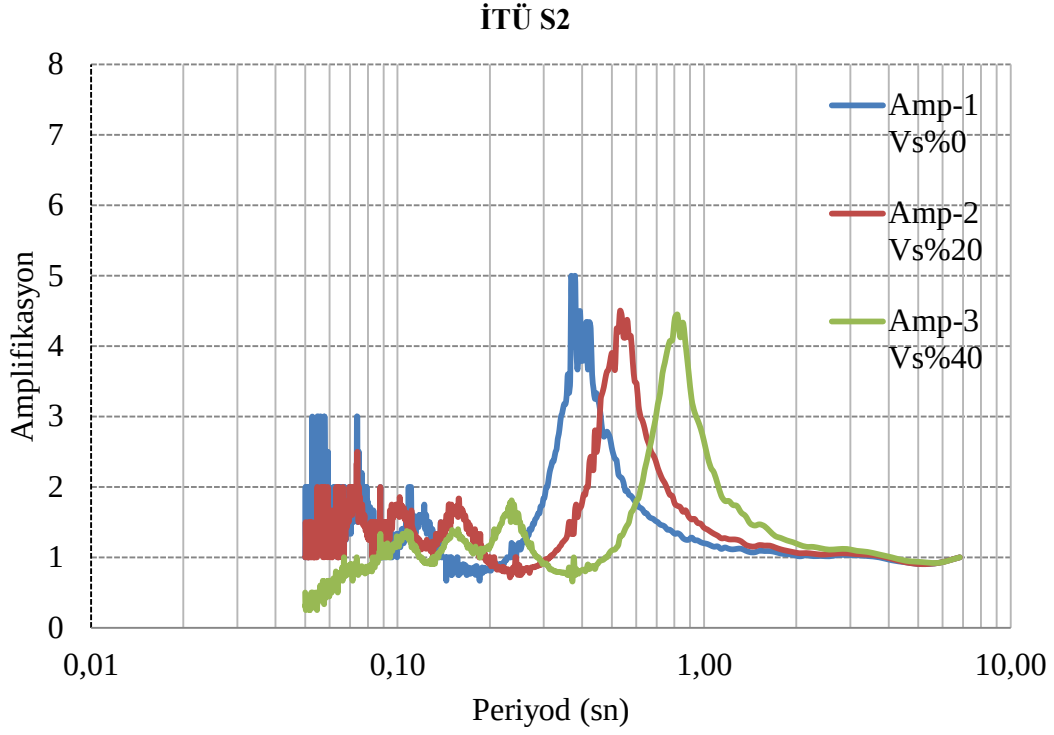
Şekil A.30 : ODTÜ S18 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



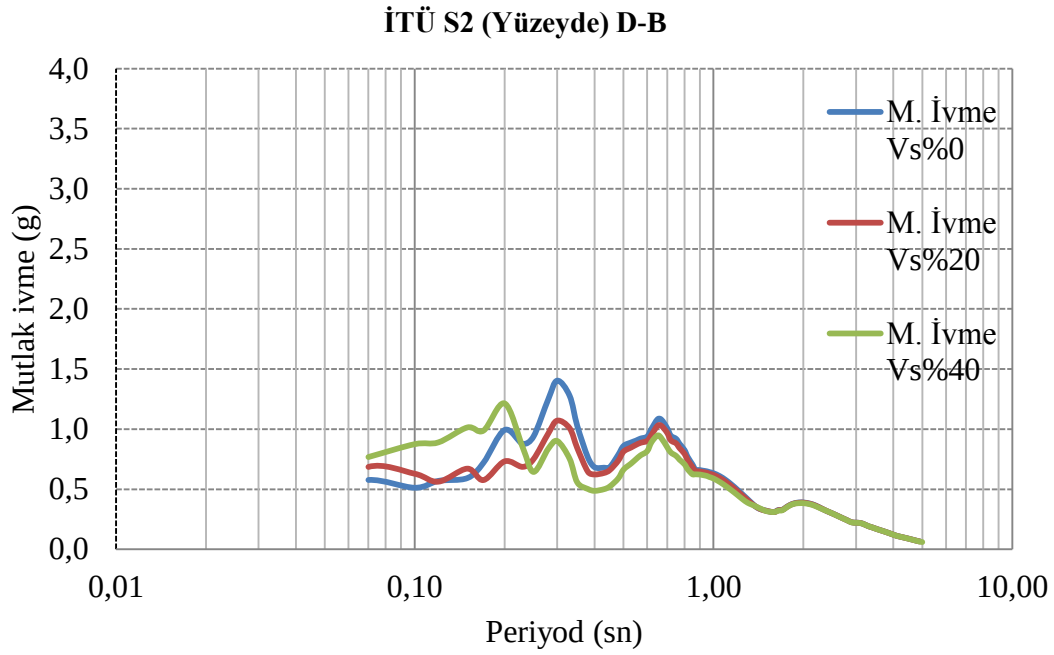
Şekil A.31 : İTÜ S1 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



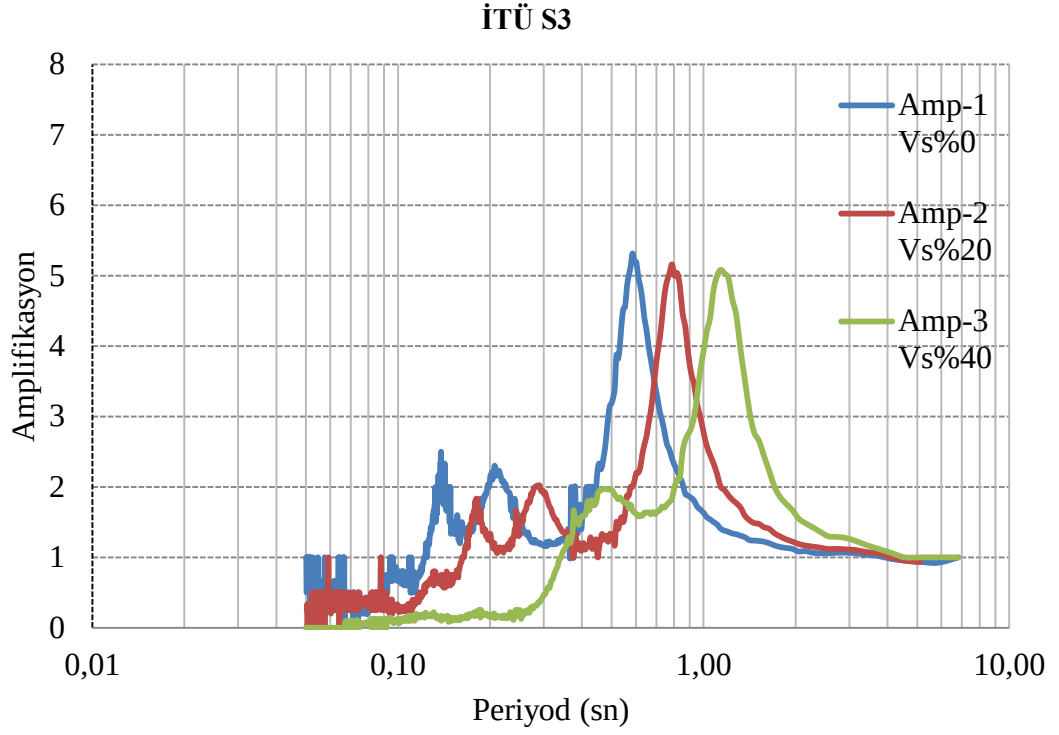
Şekil A.32 : İTÜ S1 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



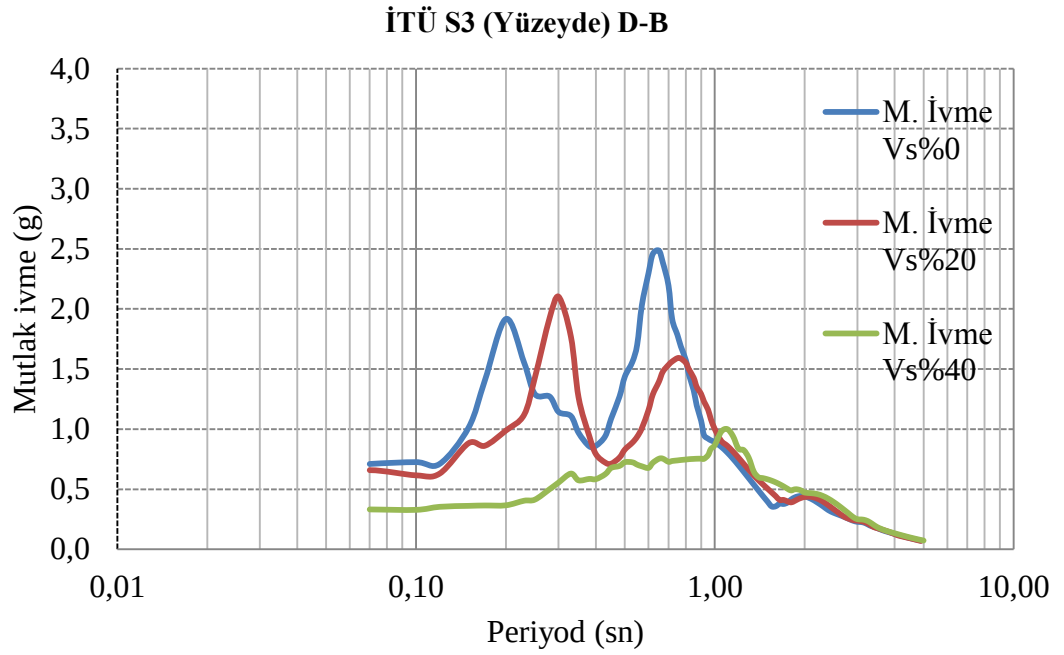
Şekil A.33 : İTÜ S2 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



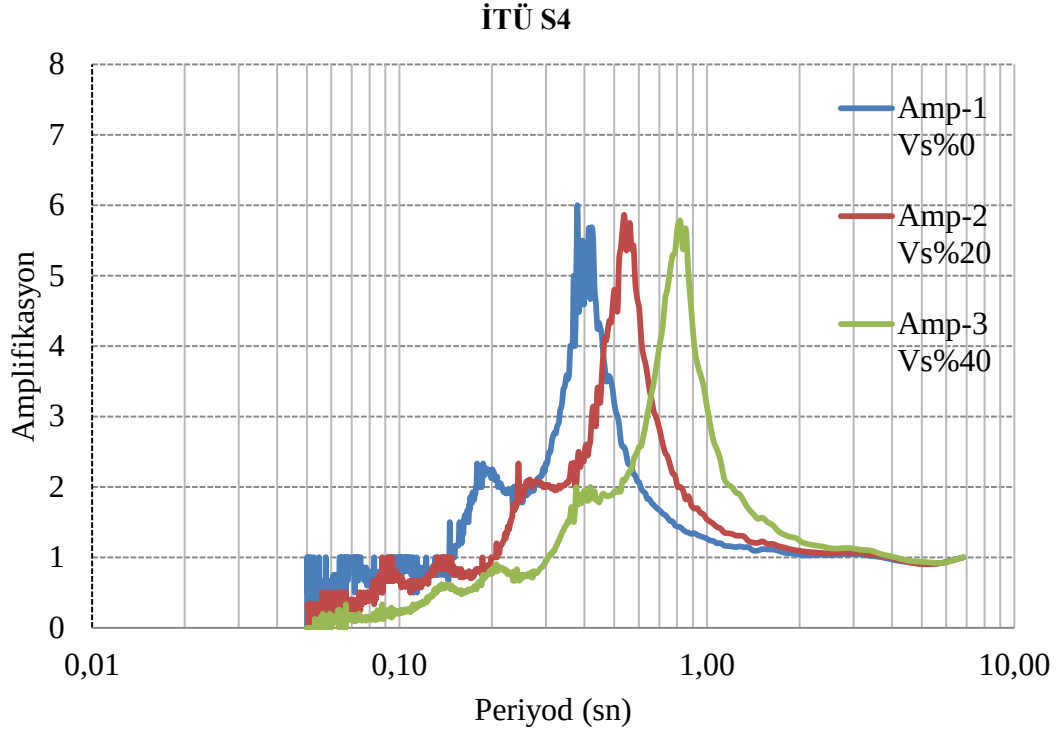
Şekil A.34 : İTÜ S2 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



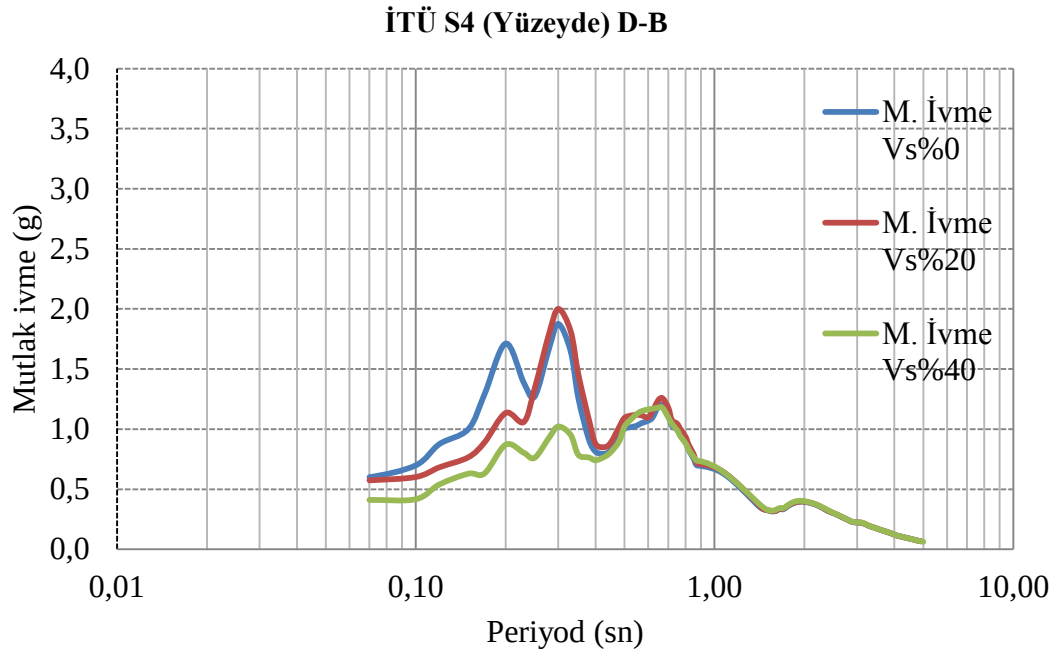
Şekil A.35 : İTÜ S3 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



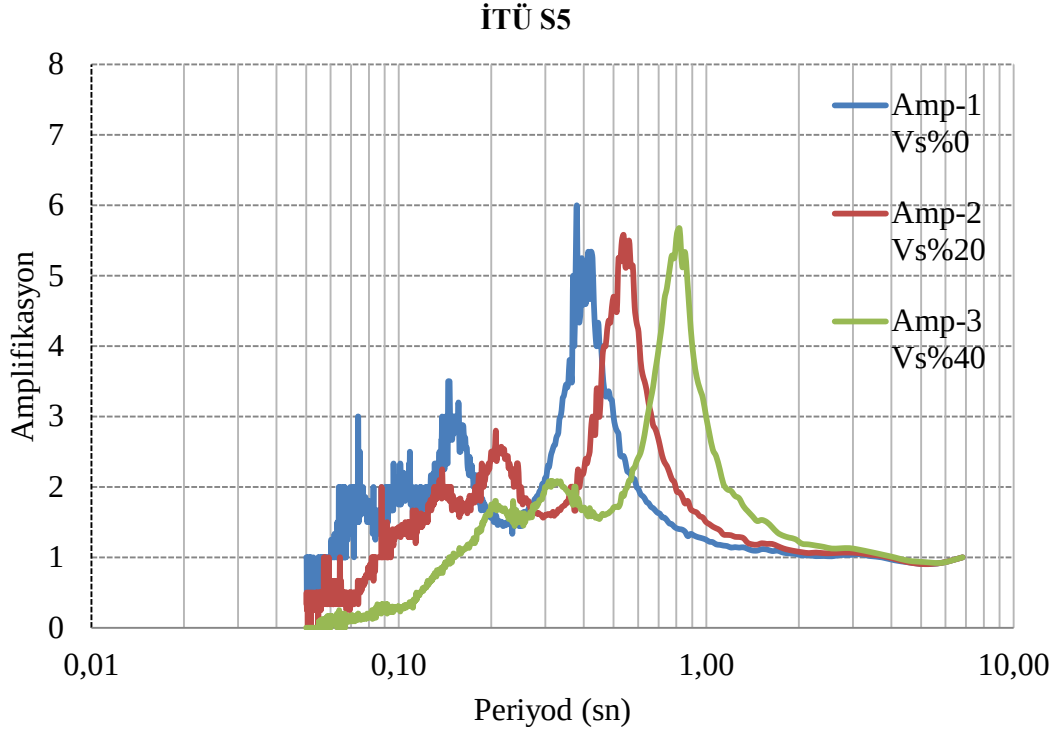
Şekil A.36 : İTÜ S3 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



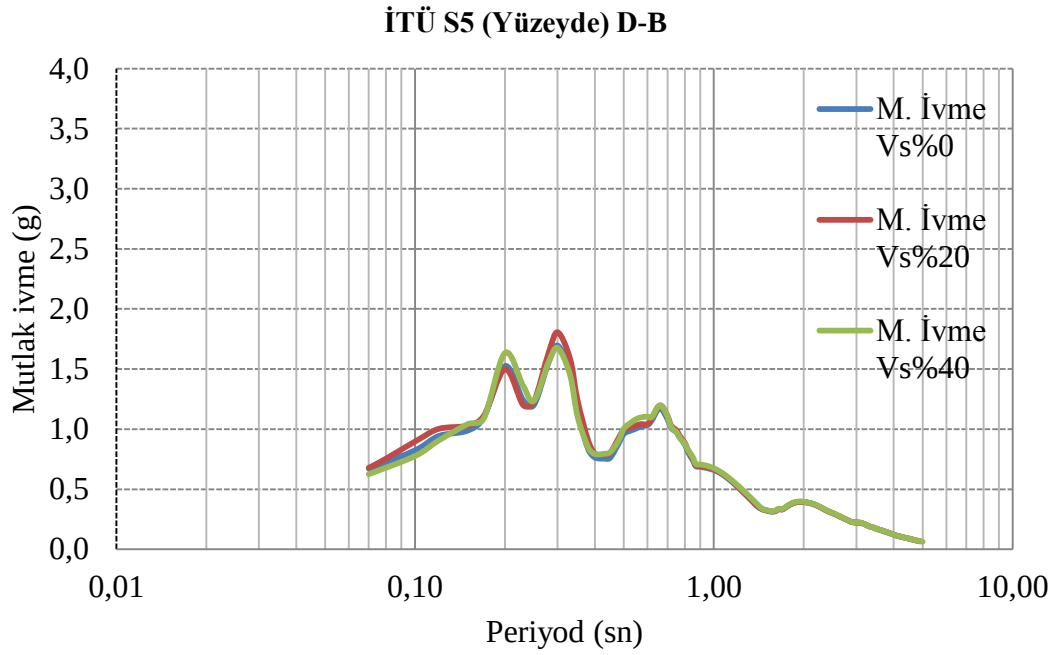
Şekil A.37 : İTÜ S4 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



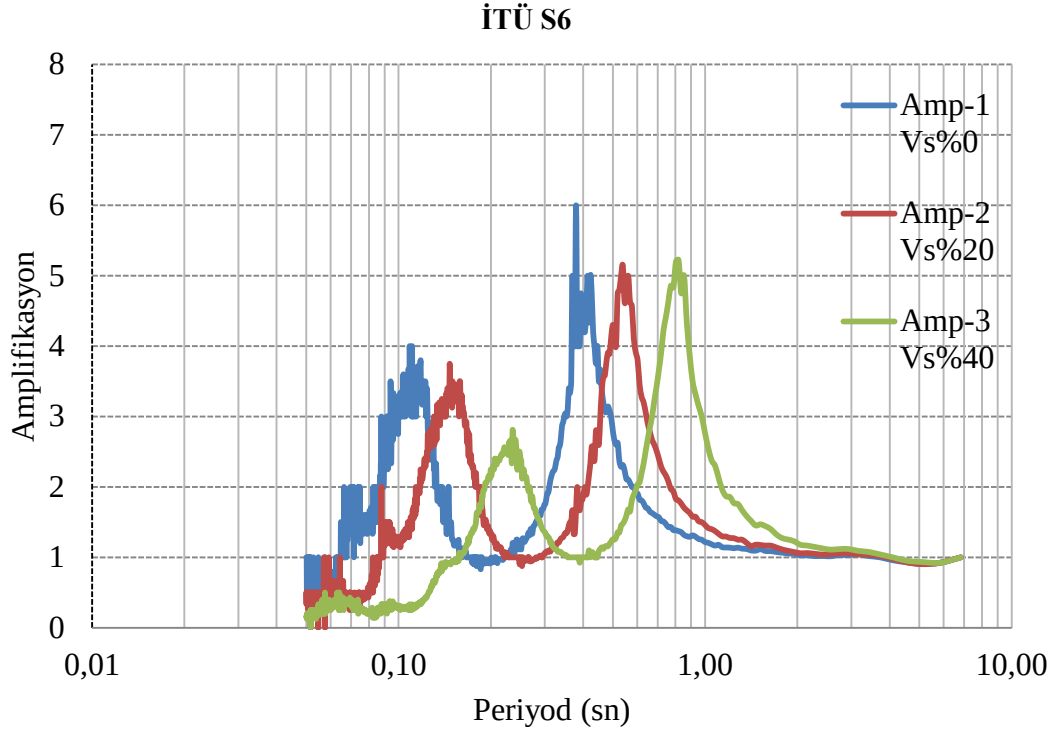
Şekil A.38 : İTÜ S4 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



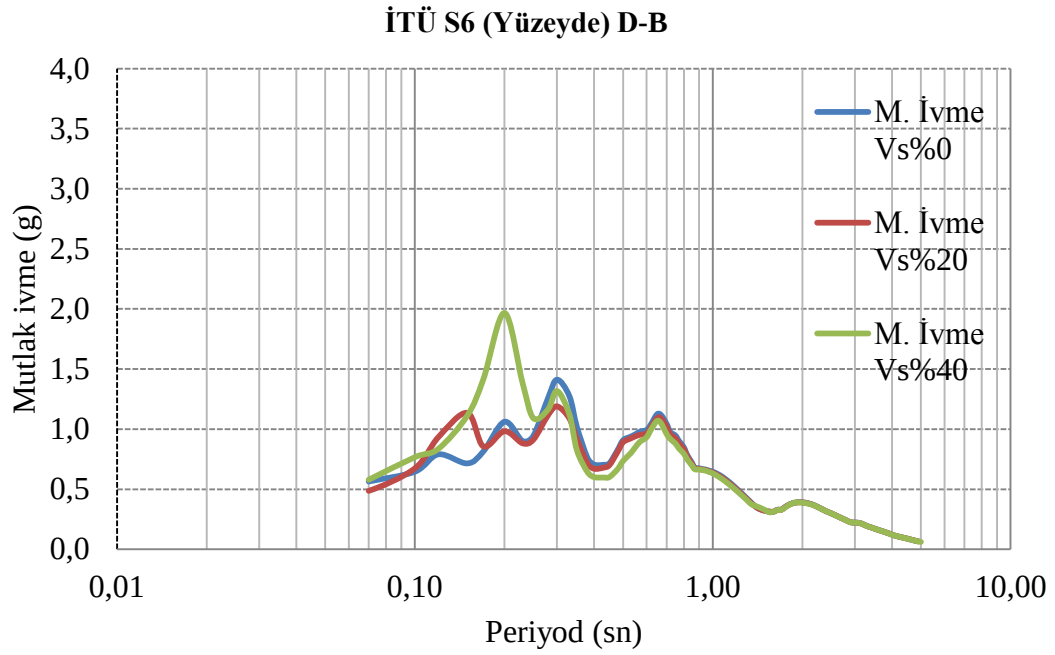
Şekil A.39 : İTÜ S5 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



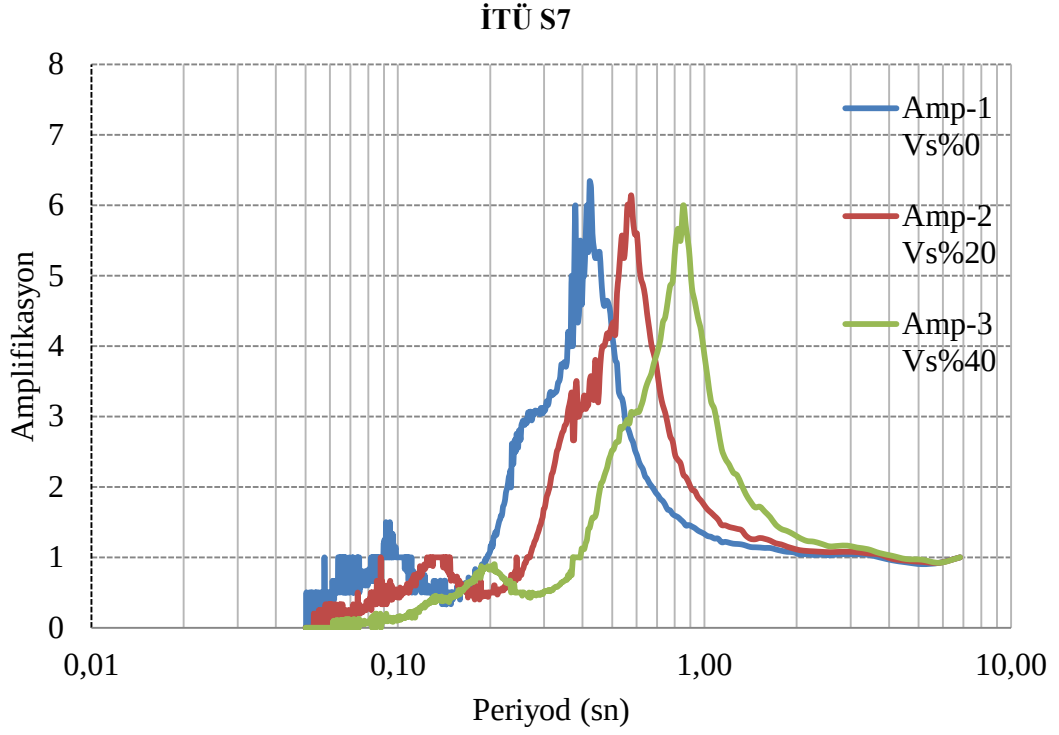
Şekil A.40 : İTÜ S5 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



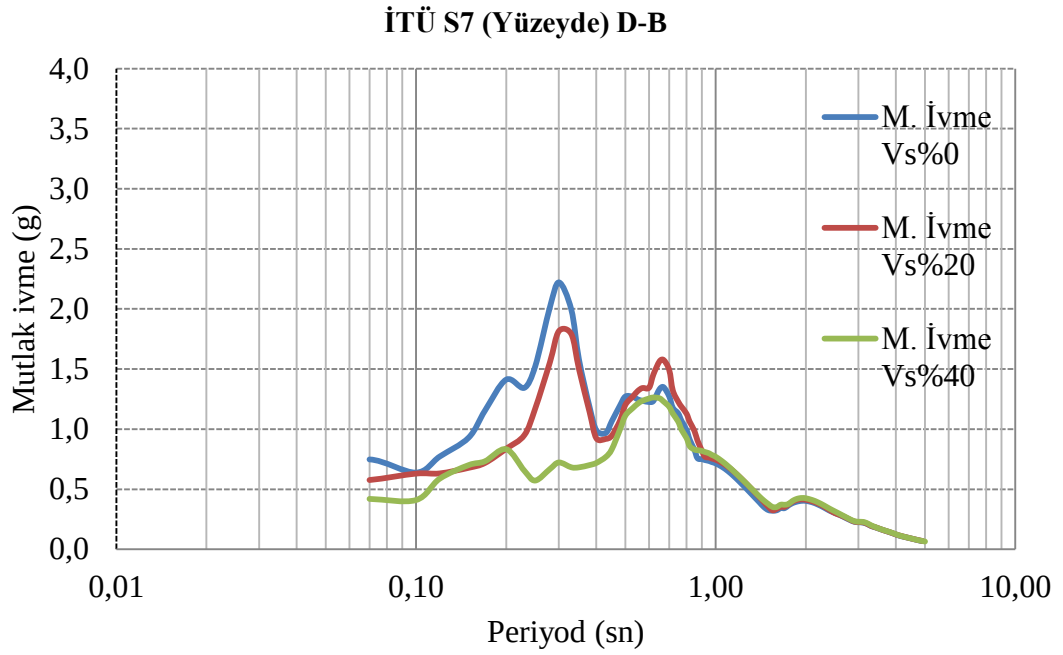
Şekil A.41 : İTÜ S6 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



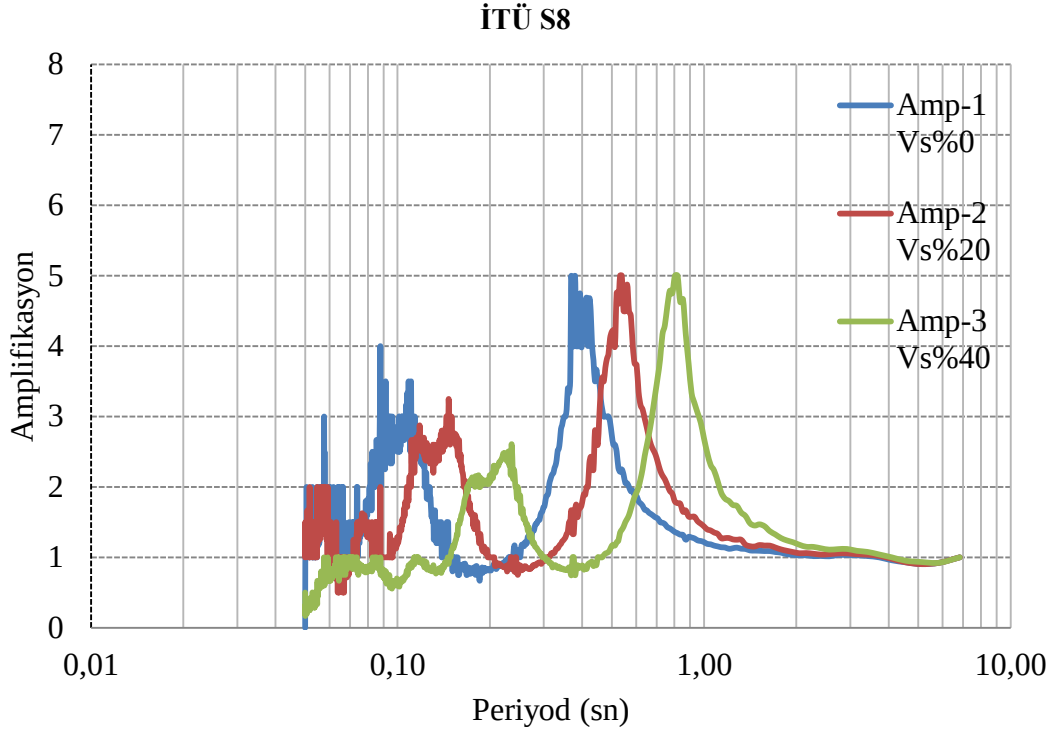
Şekil A.42 : İTÜ S6 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



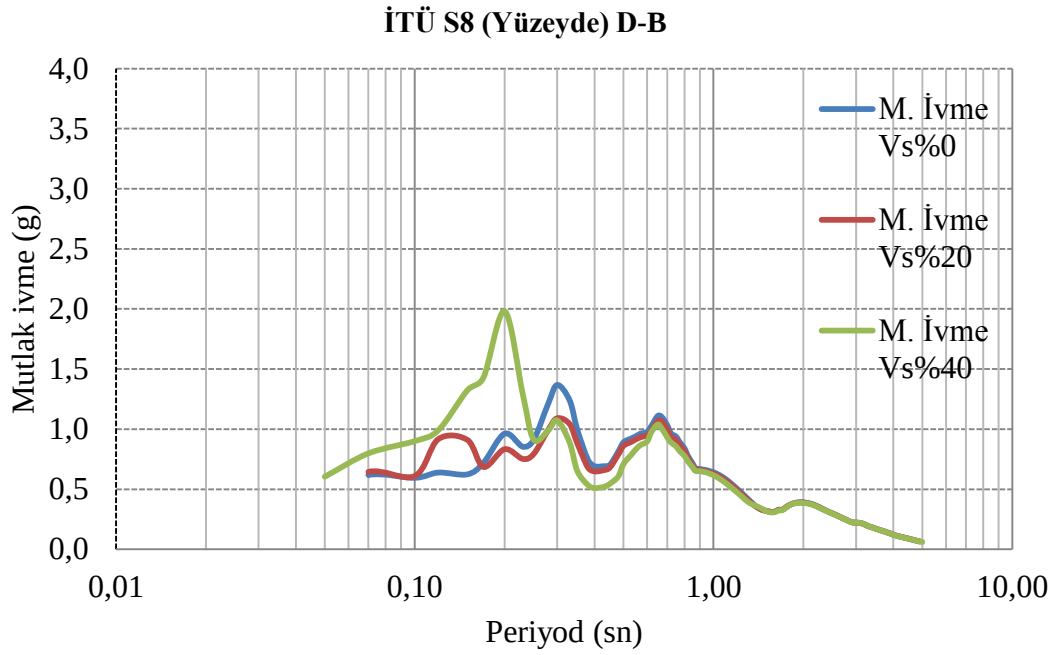
Şekil A.43 : İTÜ S7 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



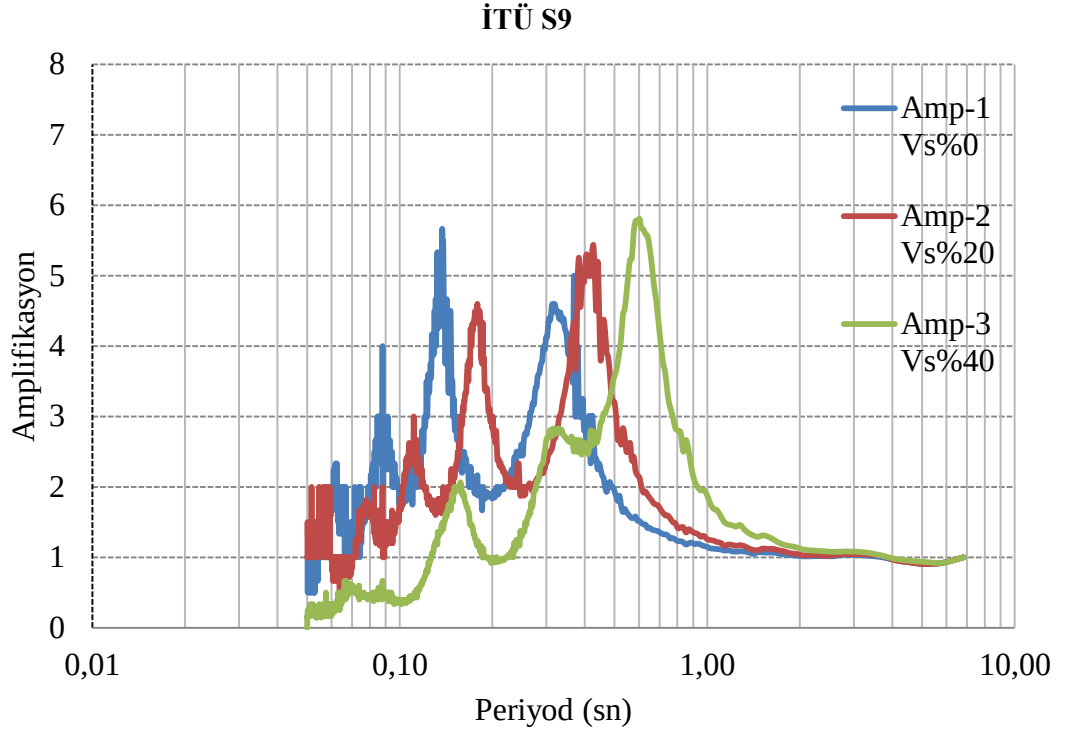
Şekil A.44 : İTÜ S7 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



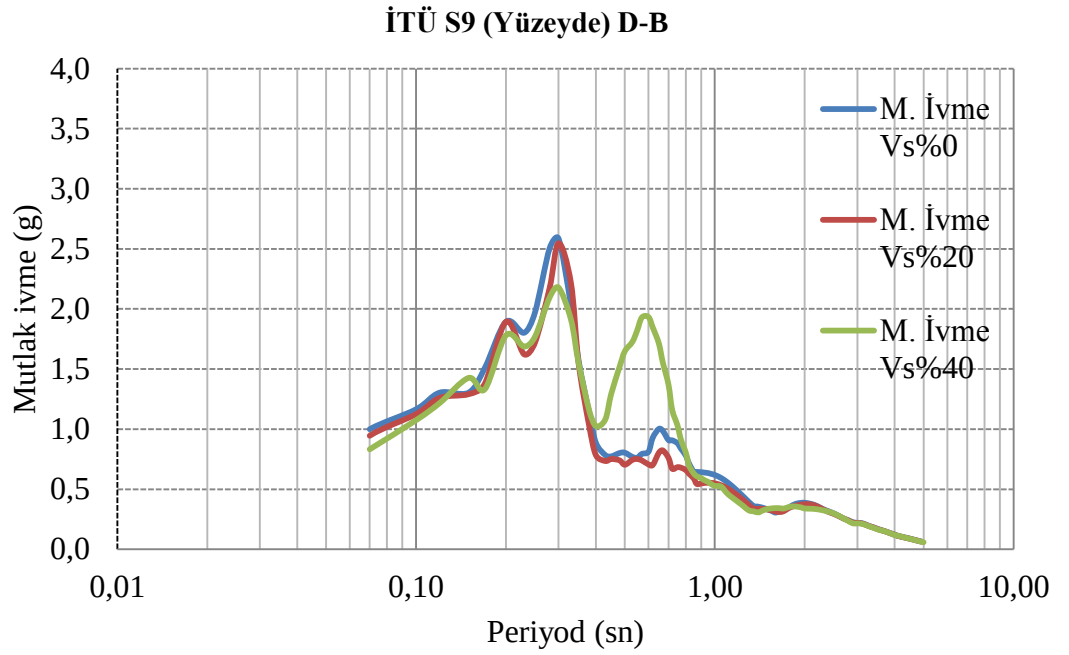
Şekil A.45 : İTÜ S8 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



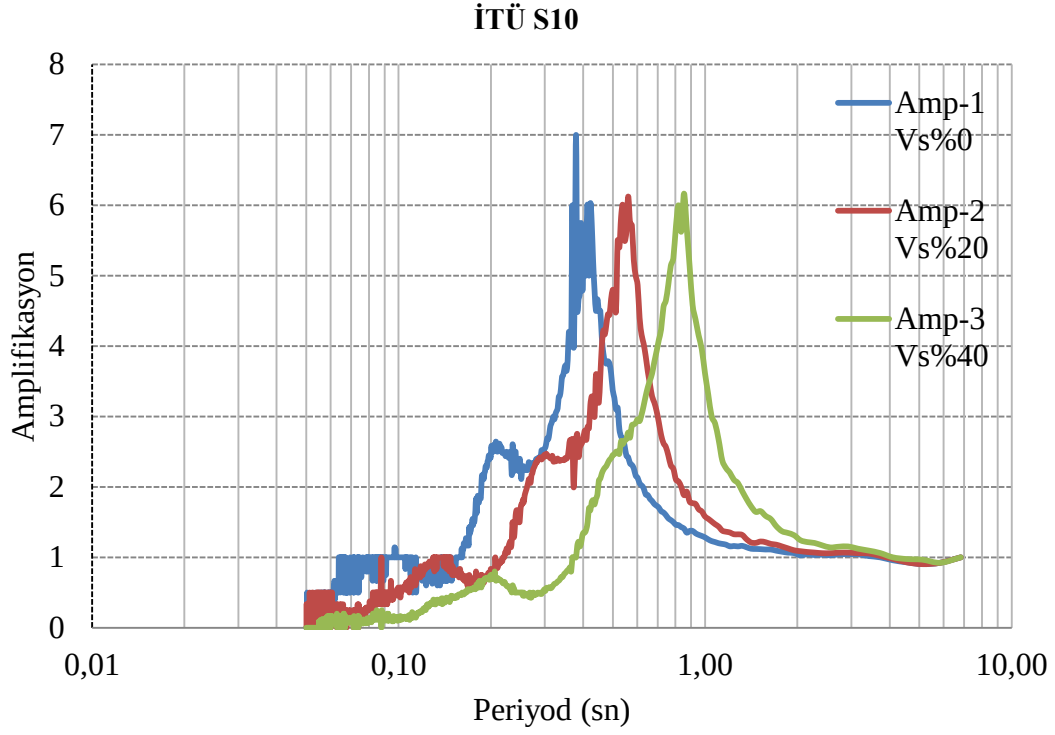
Şekil A.46 : İTÜ S8 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



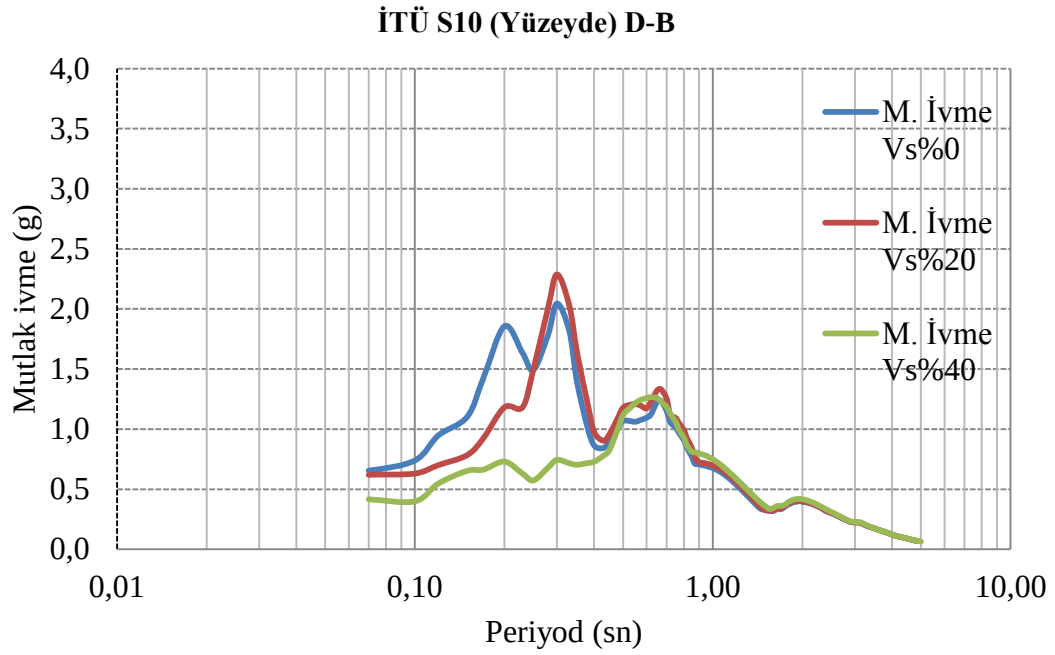
Şekil A.47 : İTÜ S9 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



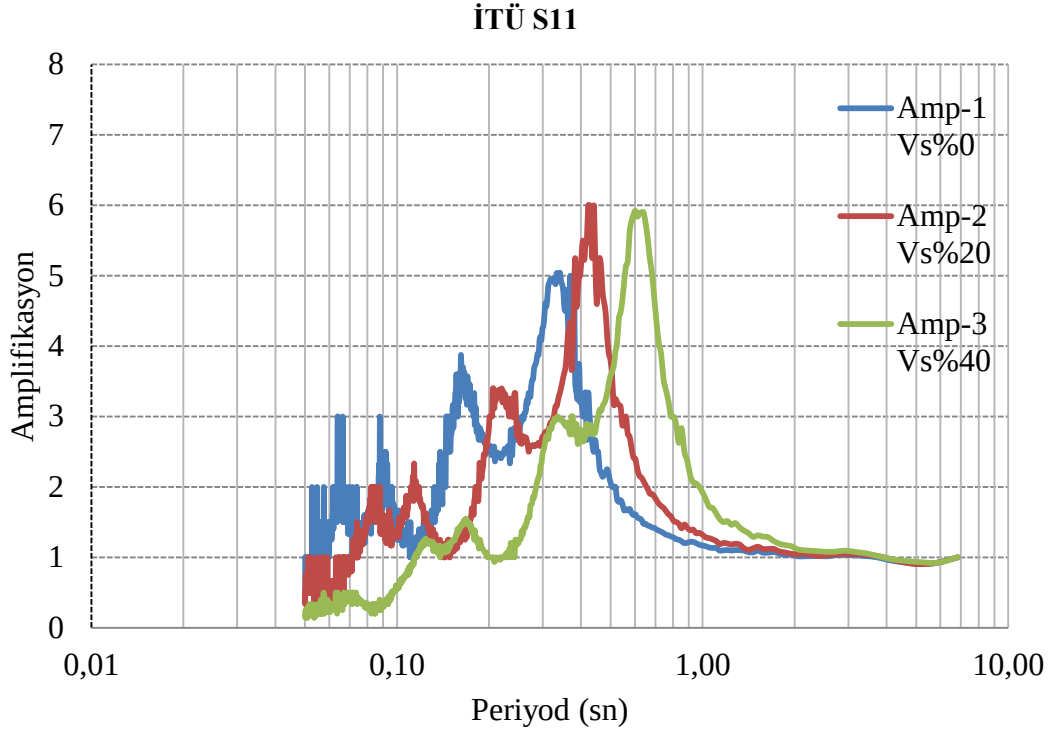
Şekil A.48 : İTÜ S9 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



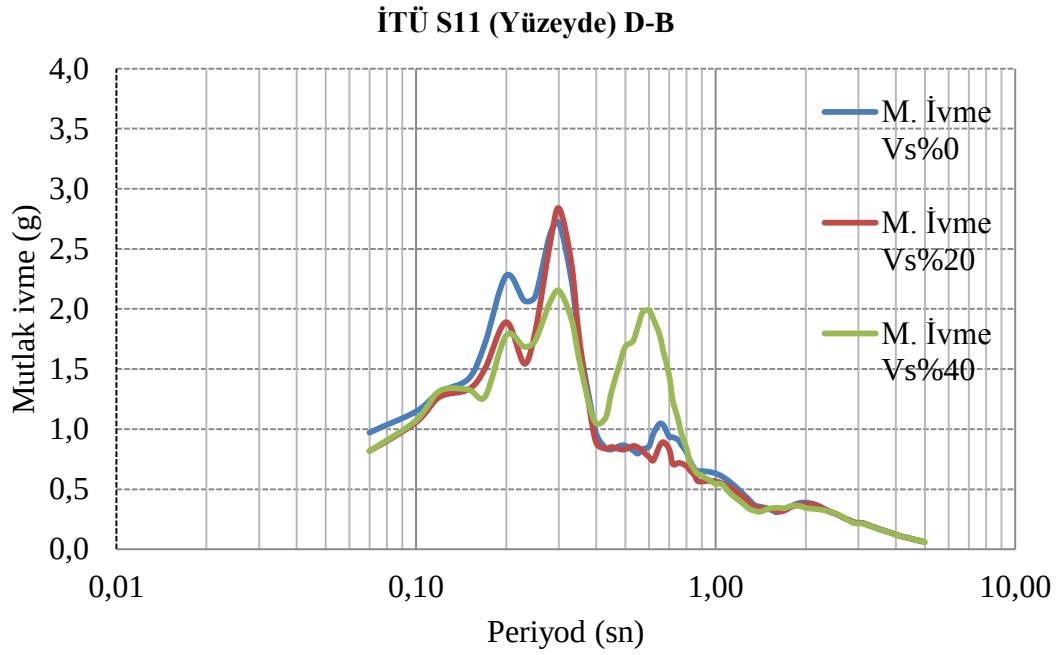
Şekil A.49 : İTÜ S10 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



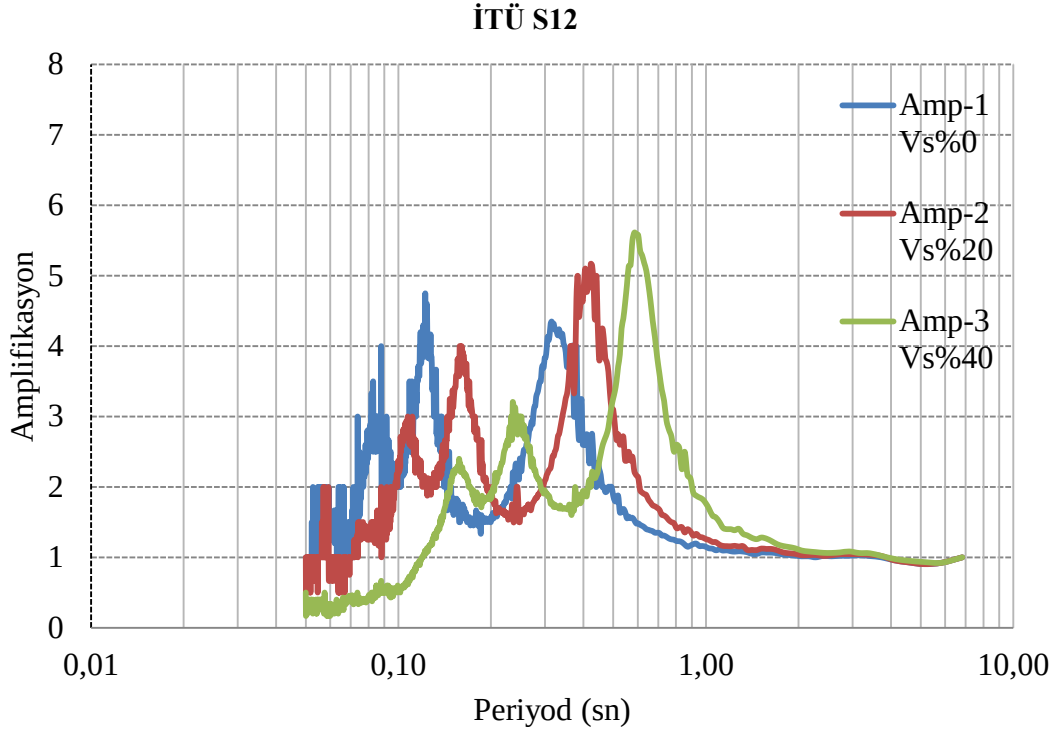
Şekil A.50 : İTÜ S10 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



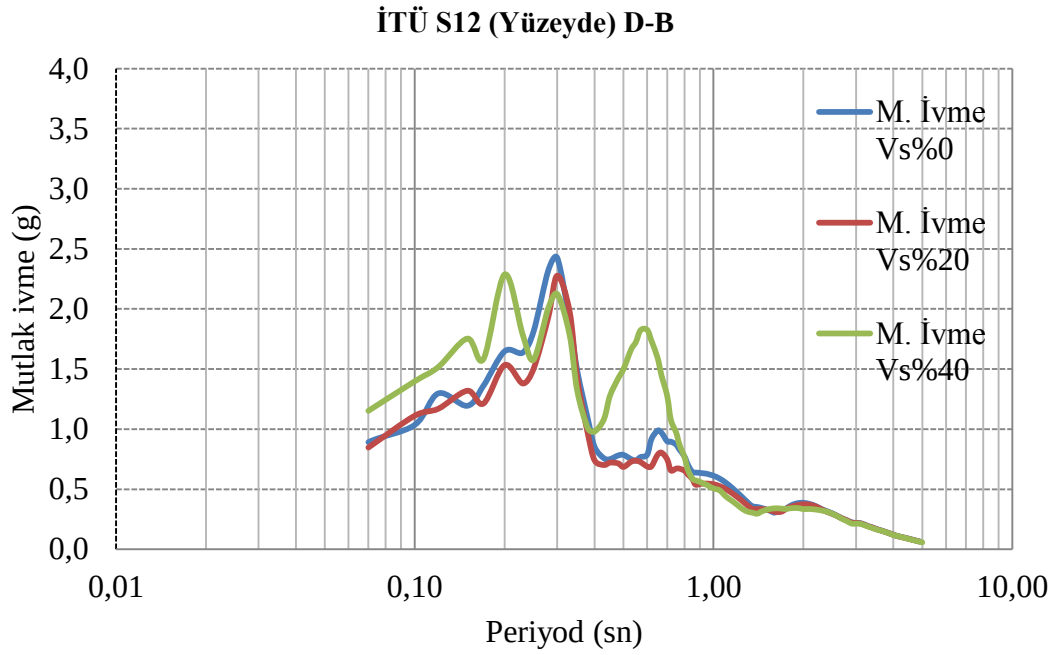
Şekil A.51 : İTÜ S11 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



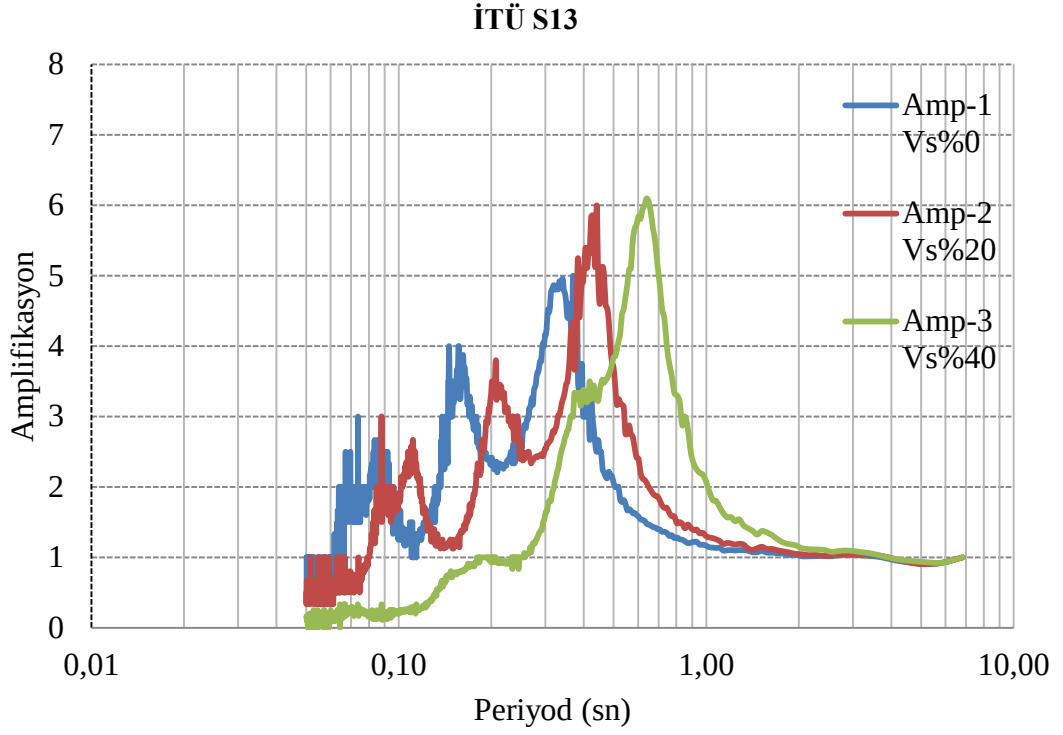
Şekil A.52 : İTÜ S11 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



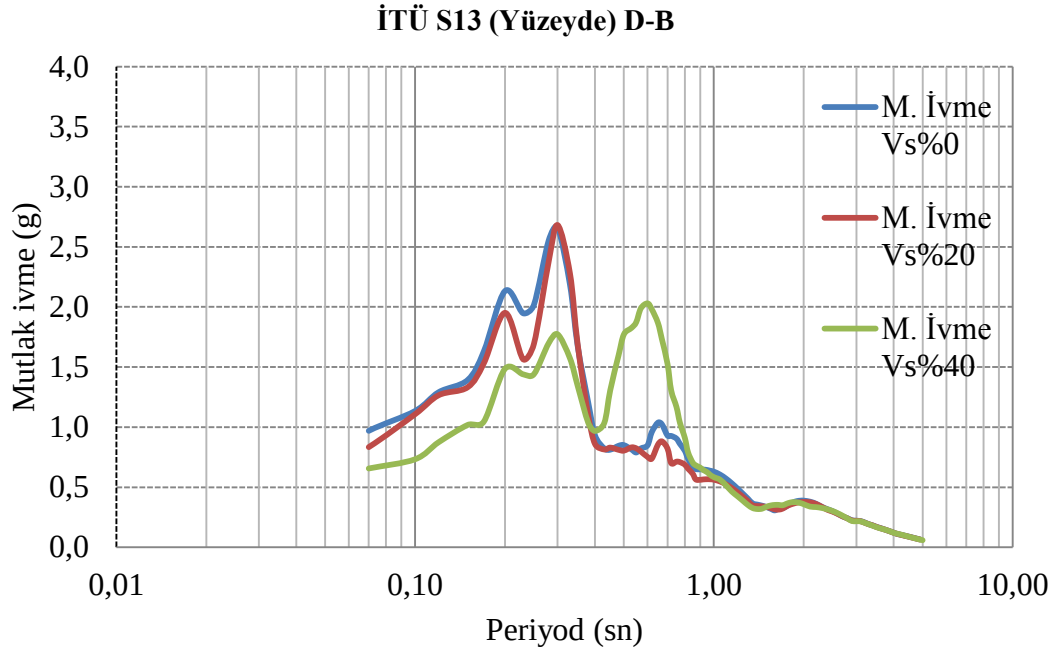
Şekil A.53 : İTÜ S12 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



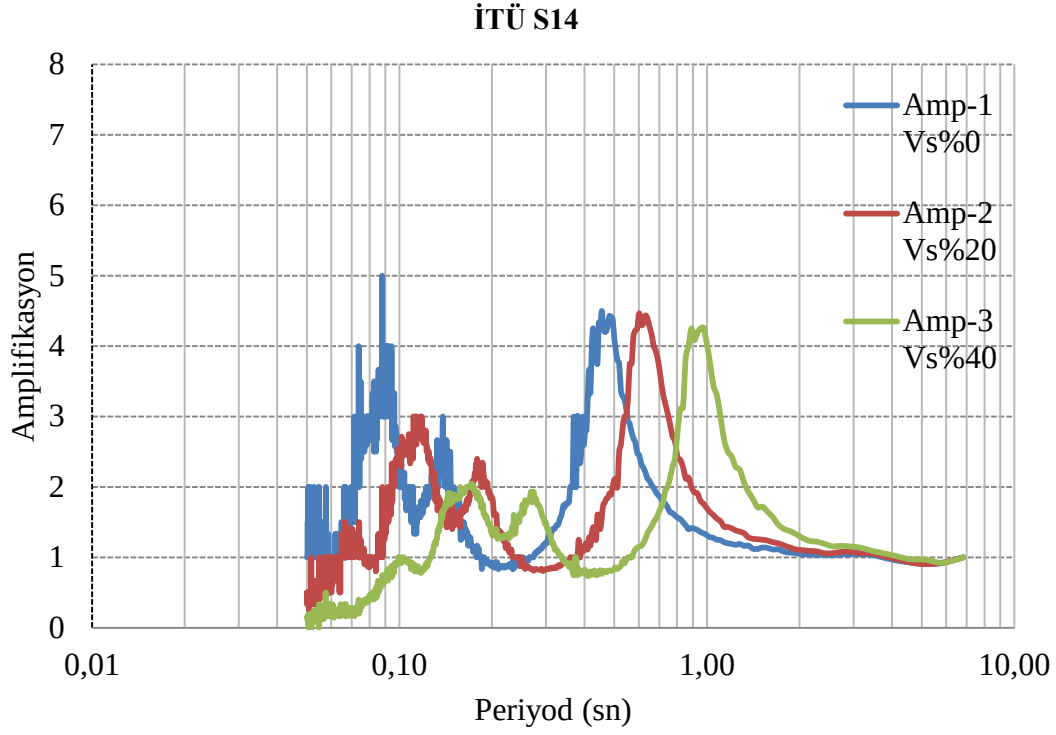
Şekil A.54 : İTÜ S12 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



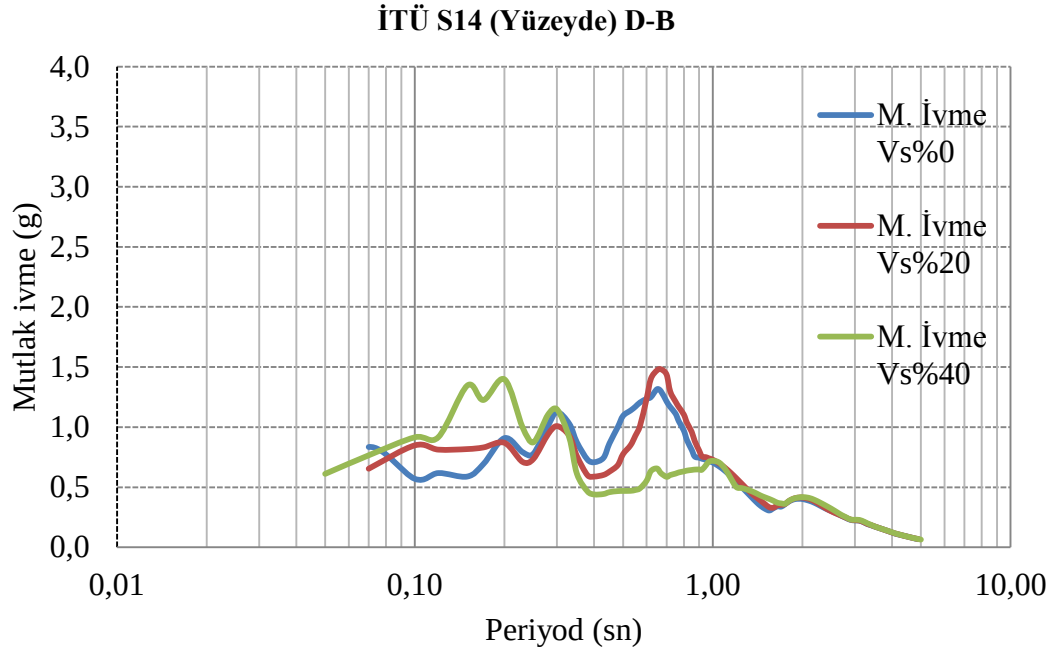
Şekil A.55 : İTÜ S13 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



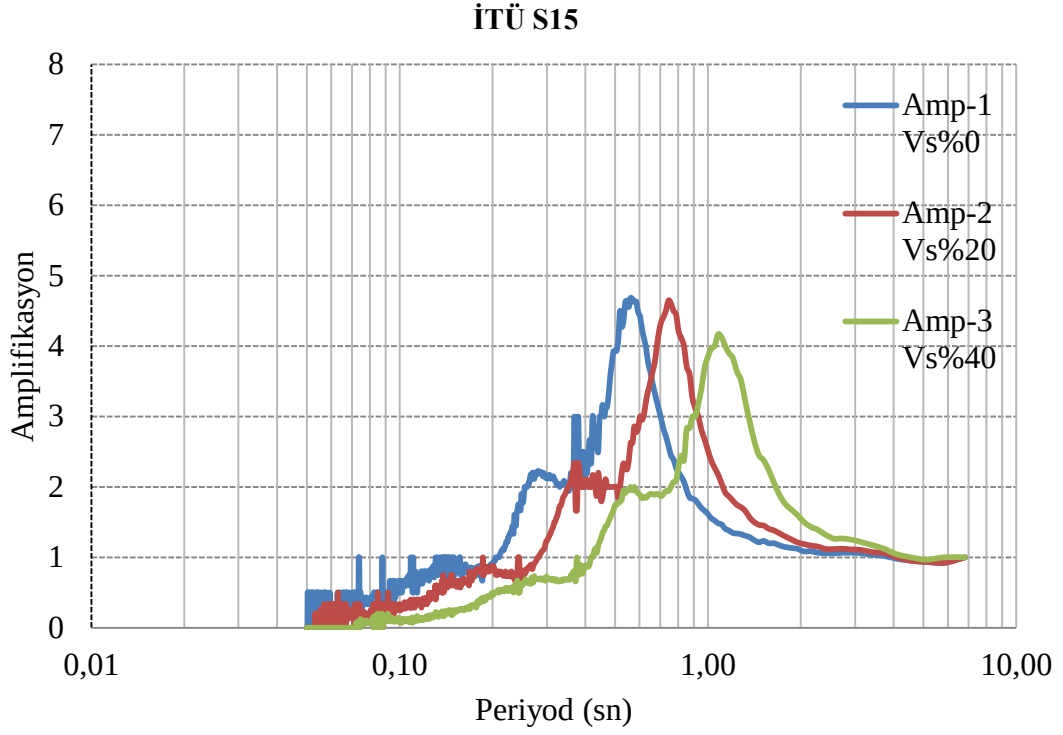
Şekil A.56 : İTÜ S13 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



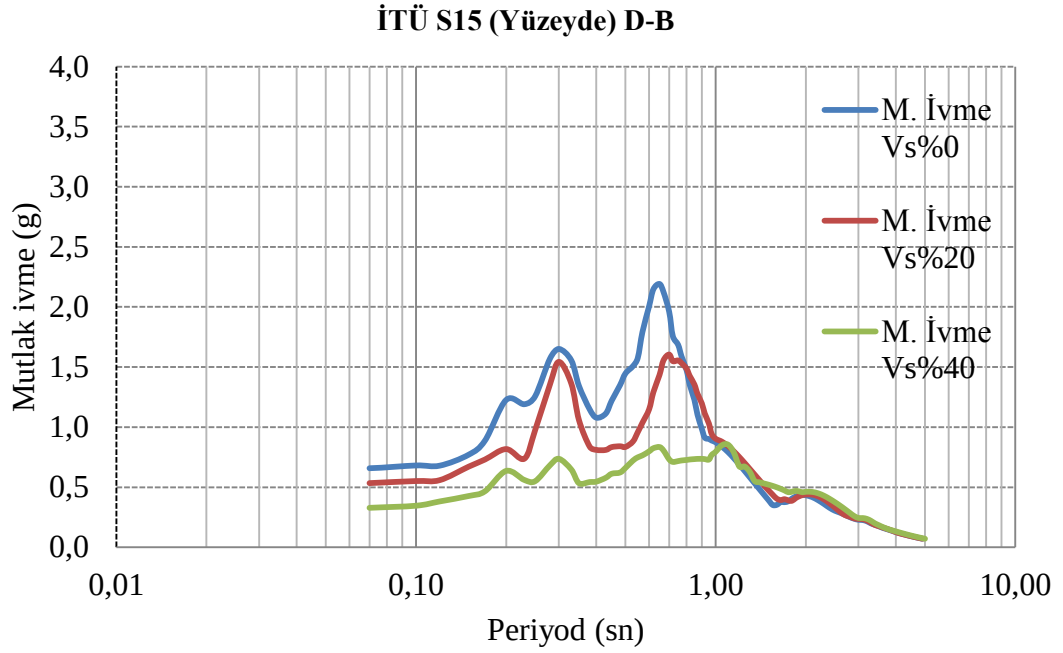
Şekil A.57 : İTÜ S14 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



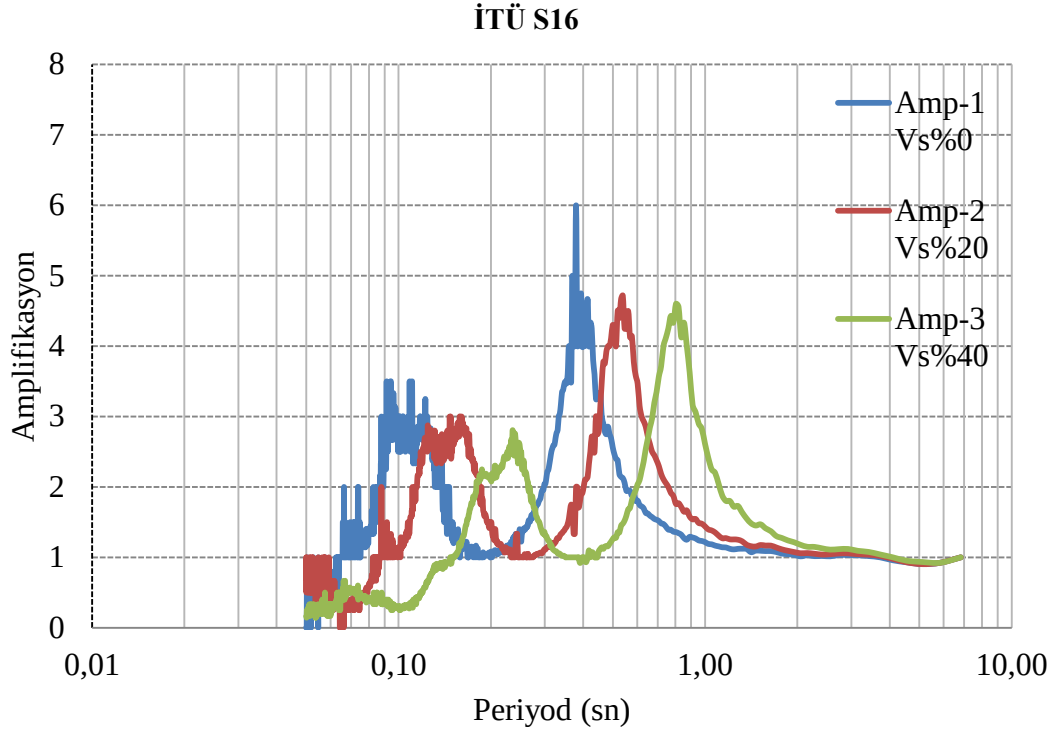
Şekil A.58 : İTÜ S14 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



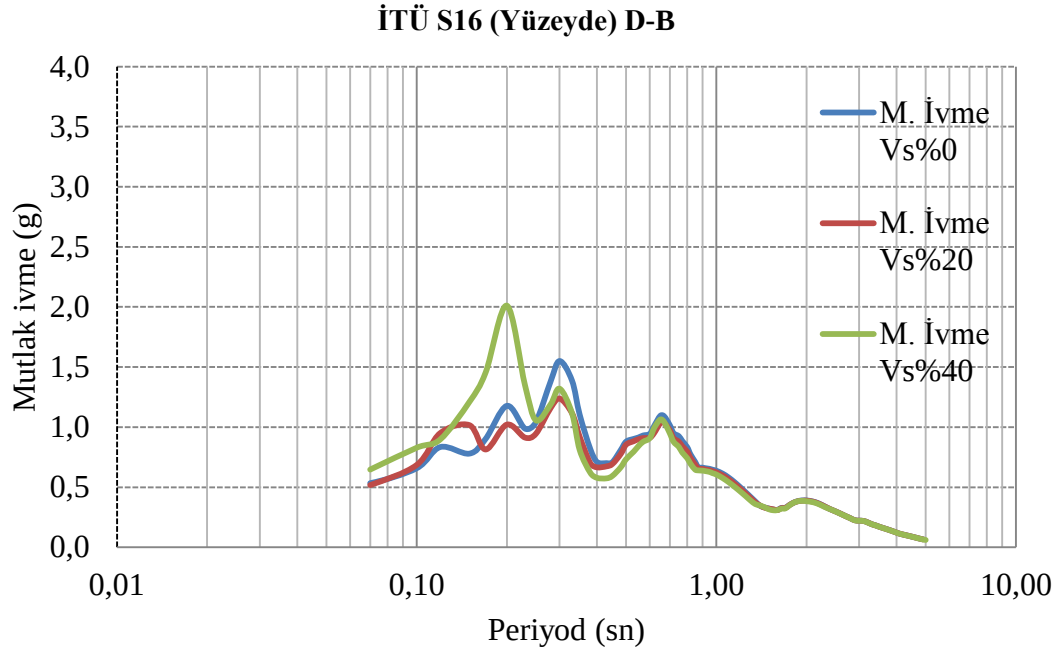
Şekil A.59 : İTÜ S15 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



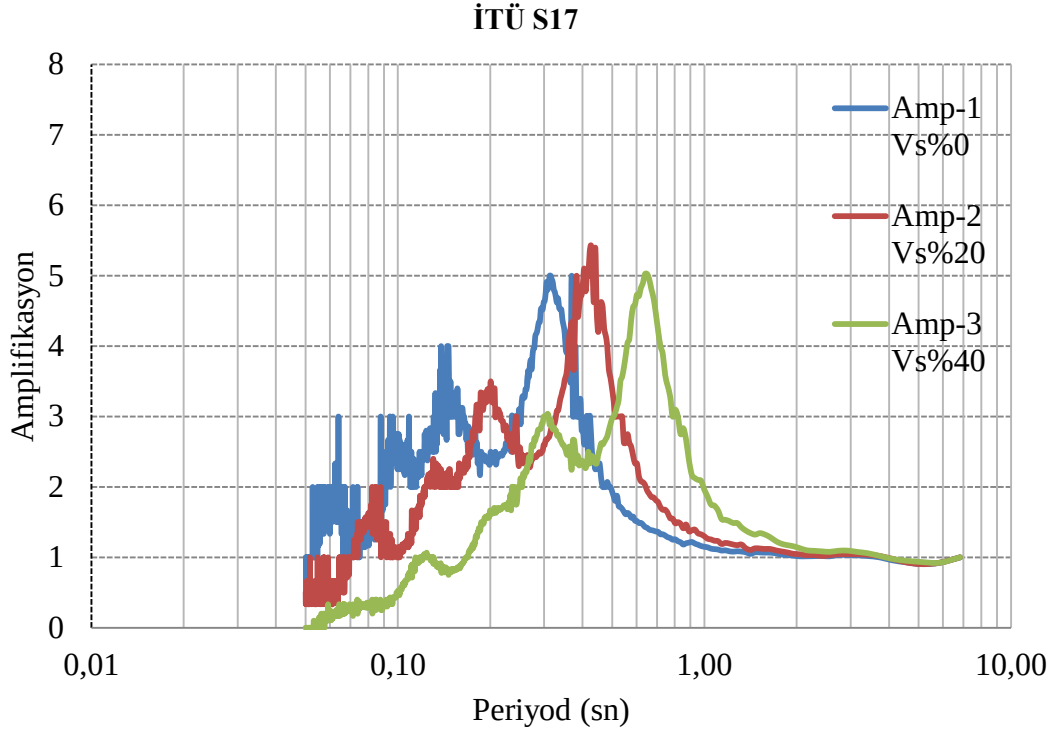
Şekil A.60 : İTÜ S15 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



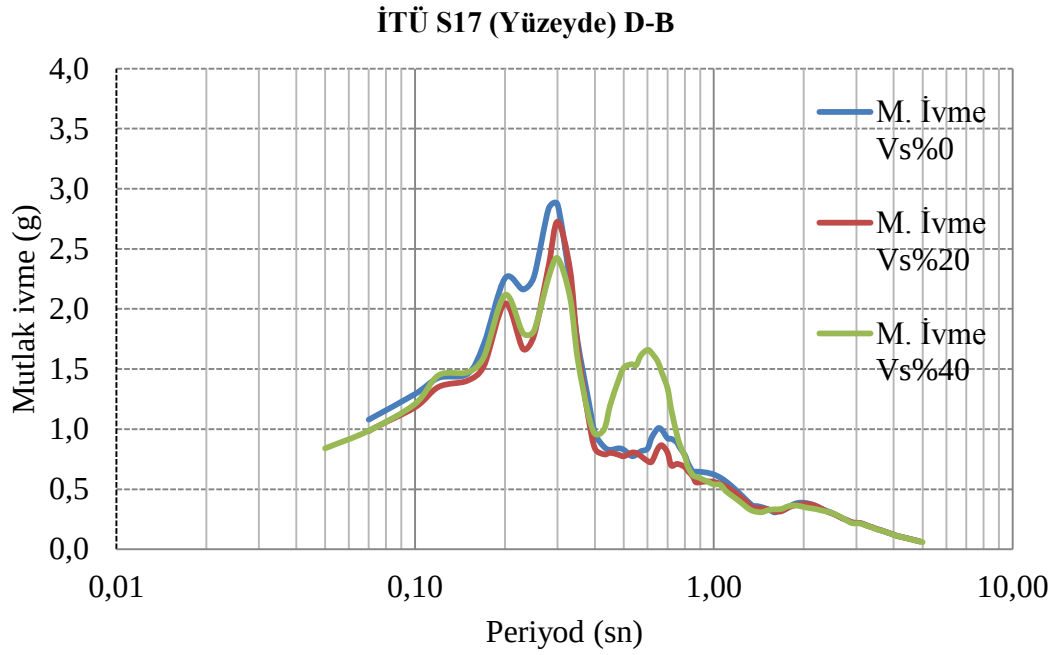
Şekil A.61 : İTÜ S16 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



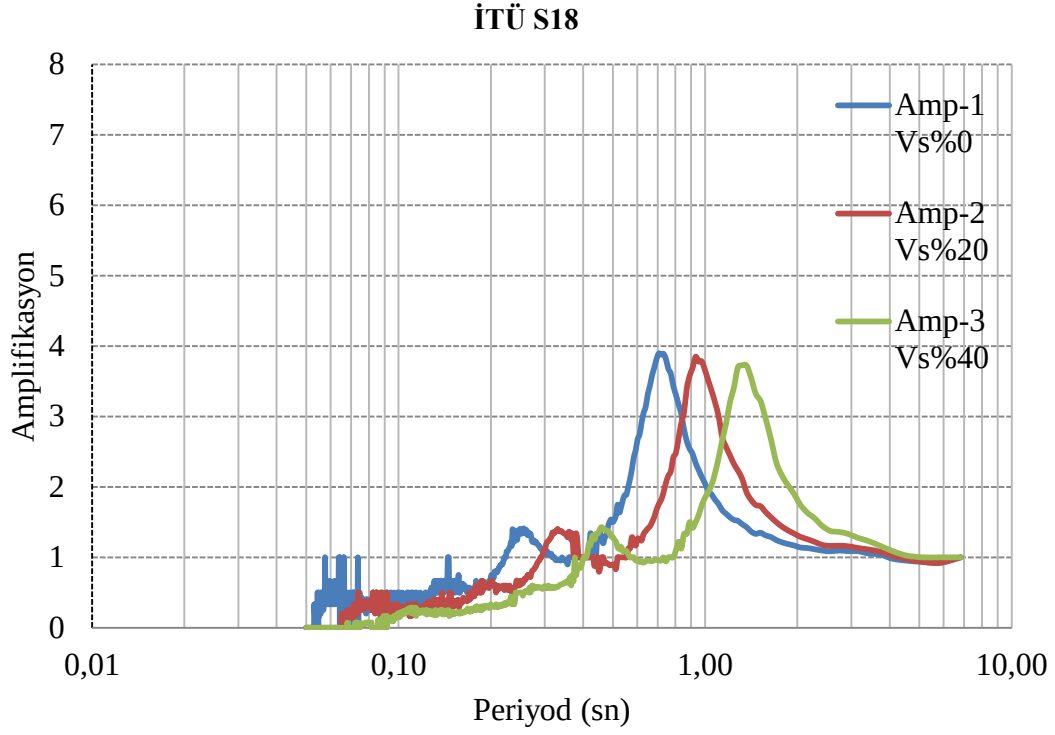
Şekil A.62 : İTÜ S16 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



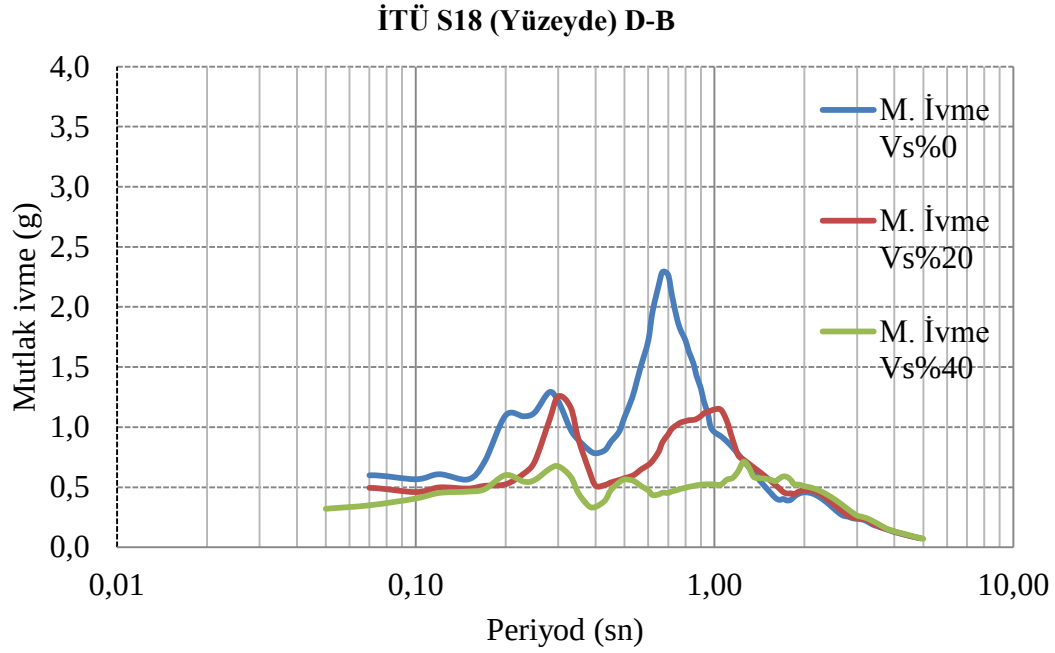
Şekil A.63 : İTÜ S17 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



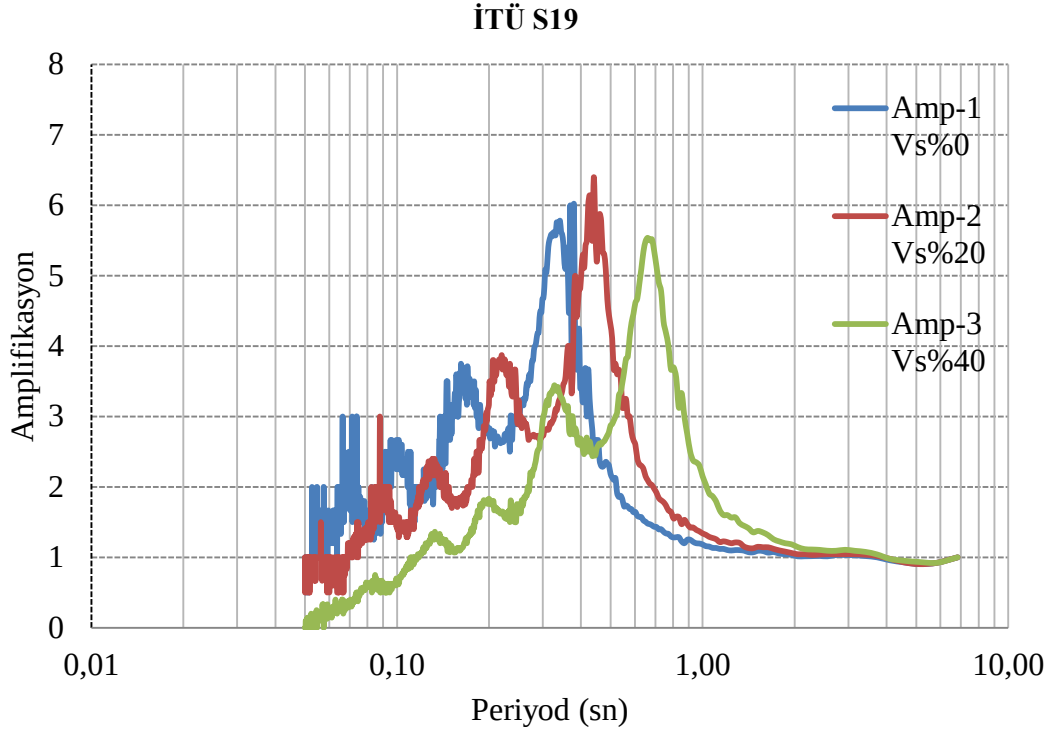
Şekil A.64 : İTÜ S17 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



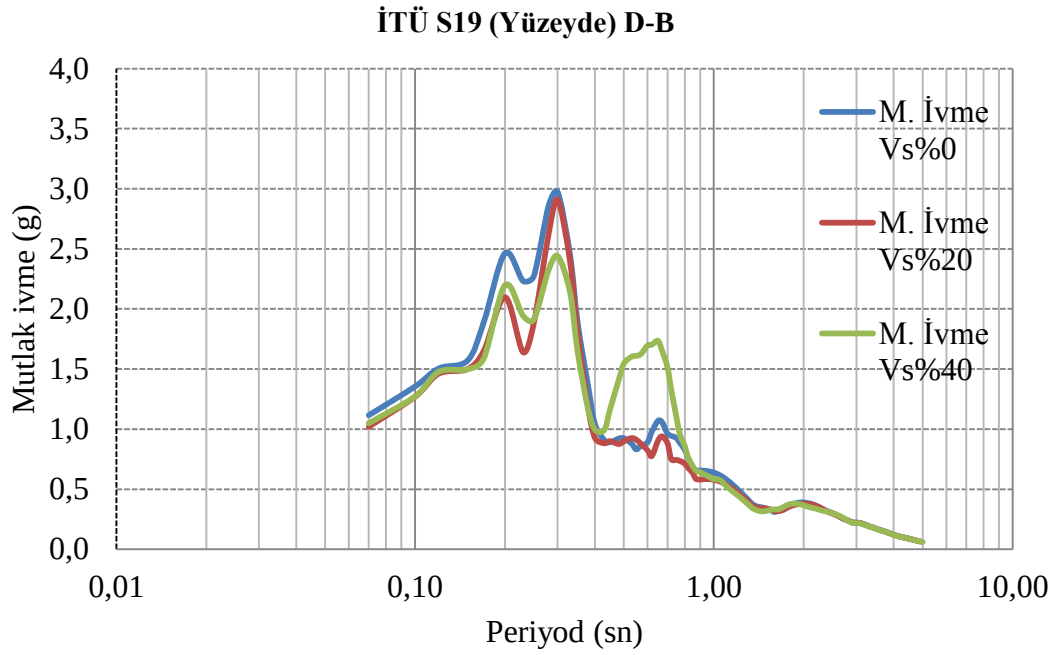
Şekil A.65 : İTÜ S18 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



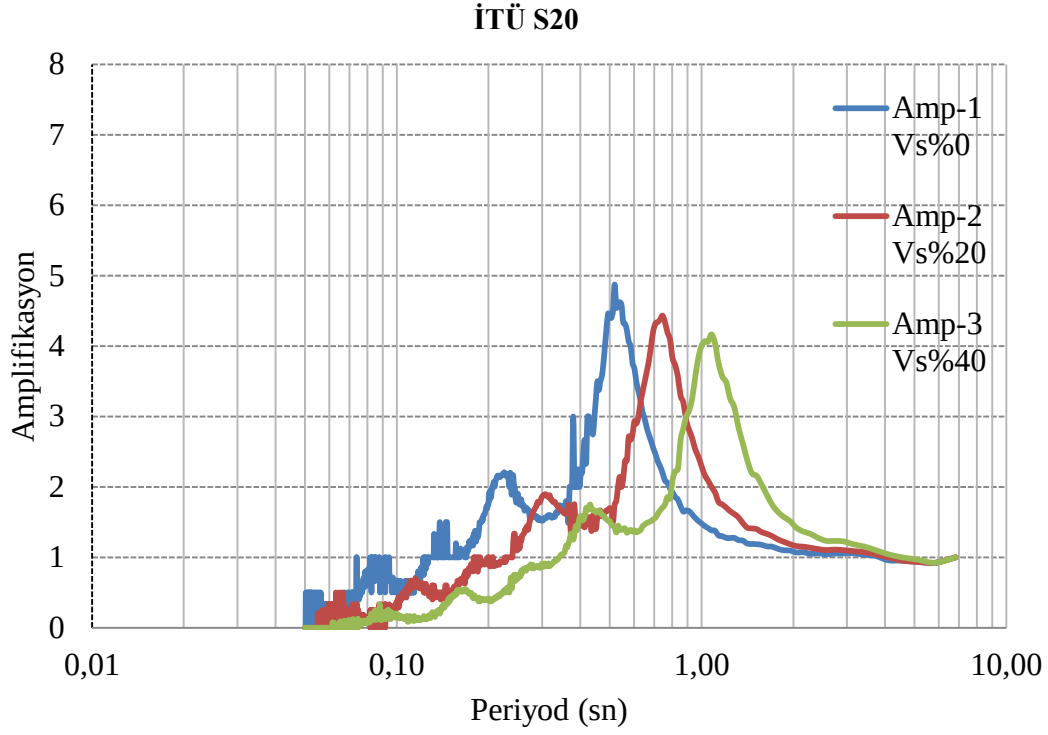
Şekil A.66 : İTÜ S18 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



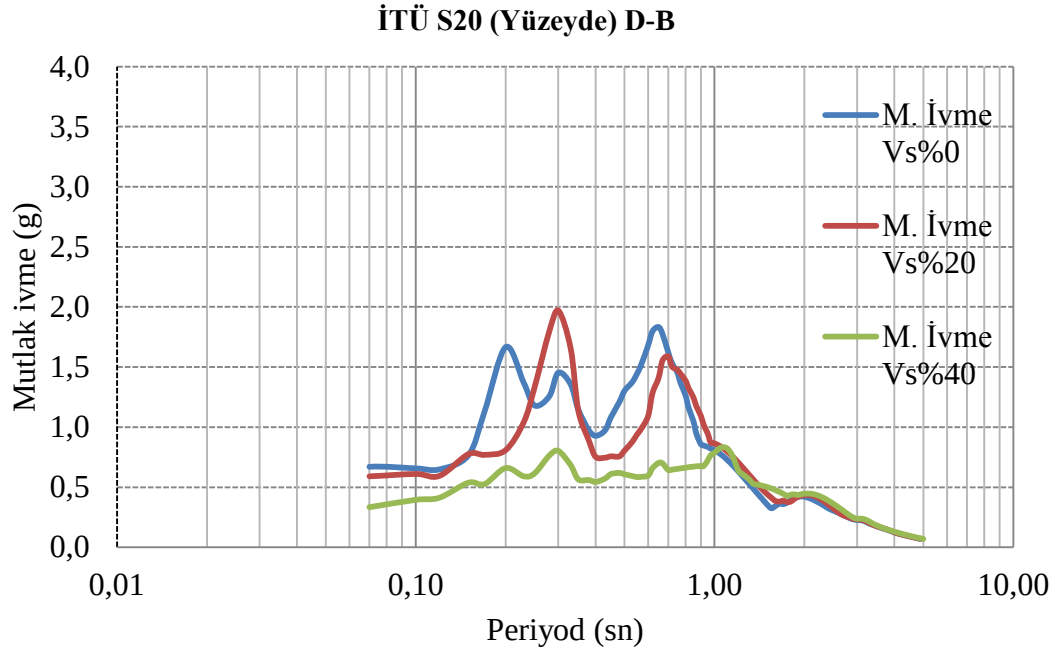
Şekil A.67 : İTÜ S19 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



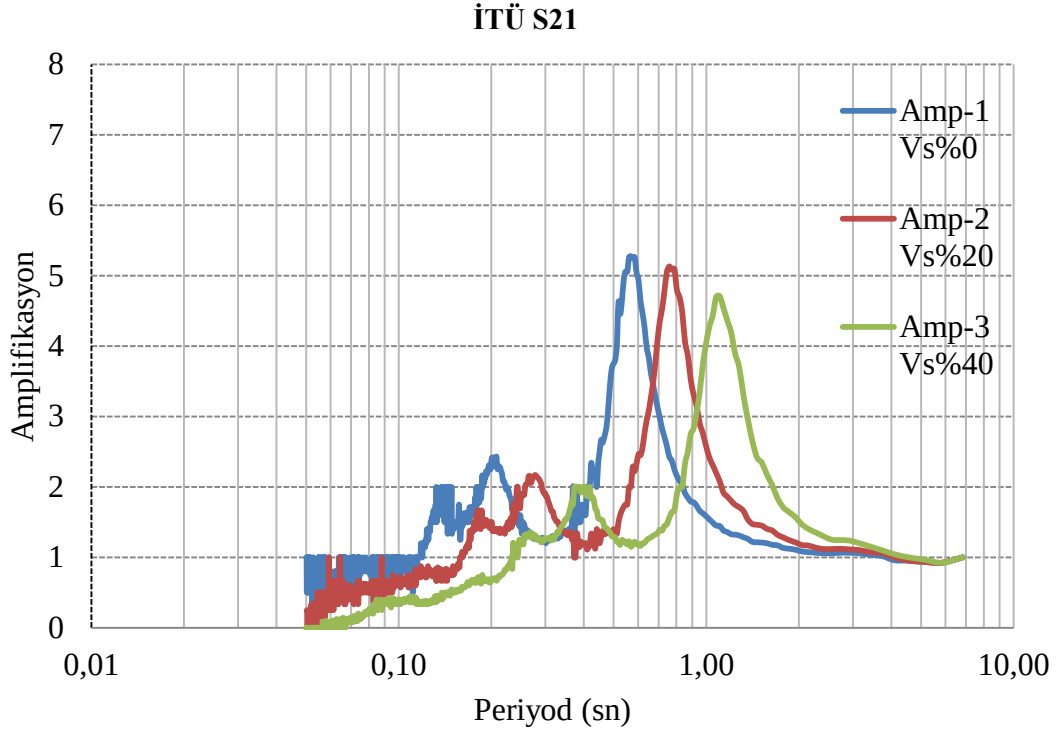
Şekil A.68 : İTÜ S19 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



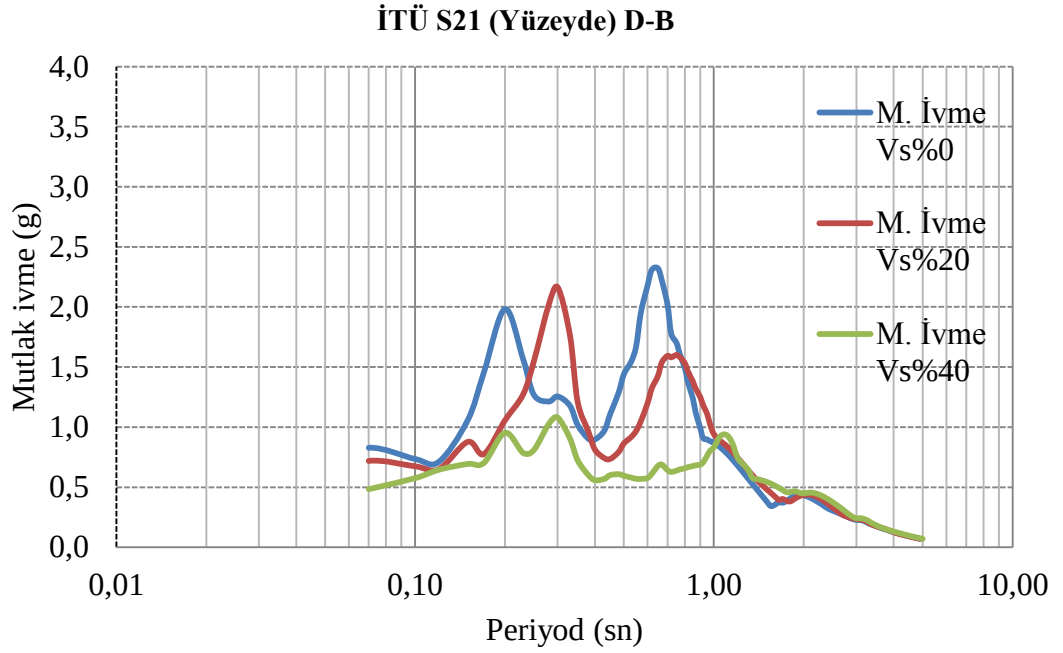
Şekil A.69 : İTÜ S20 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



Şekil A.70 : İTÜ S20 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.



Şekil A.71 : İTÜ S21 profili zemin amplifikasyon fonksiyonları.



Şekil A.72 : İTÜ S21 profili %5 yapısal sönüm oranına göre hesaplanan spektral ivme değerleri.