

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİSAM VE PAZARCIK DEPREMLERİ ETKİSİ ALTINDA ZAYIF
ZEMİNLERDE ZEMİN BÜYÜTME ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öznur BİLİCAN

NİSAN - 2023

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİSAM VE PAZARCIK DEPREMLERİ ETKİSİ ALTINDA ZAYIF
ZEMİNLERDE ZEMİN BÜYÜTME ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öznur BİLİCAN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN
Eş Danışman: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

Nisan 2023

ZAYIF ZEMİNLERDE ZEMİN BÜYÜTMESİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM adlı tez çalışması **Öznur BİLİCAN** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Eş Danışmanı:

Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Dr.Öğr.Üyesi Mustafa Haluk SARAÇOĞLU
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

.....

Dr.Öğr.Üyesi İlker ŞAHİNOĞLU
Kırklareli Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 30/03/2023

.....
Doç.Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza
Öznur BİLİCAN
25/04/2023

ÖZET

SİSAM VE PAZARCIK DEPREMLERİ ETKİSİ ALTINDA ZAYIF ZEMİNLERDE ZEMİN BÜYÜTME ANALİZİ

Öznur BİLİCAN

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN

Eş Danışman: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

Nisan 2023, 86 sayfa

Sismik aktivitesi yüksek olan ülkemizde zeminlerin deprem anındaki dinamik davranışlarının anlaşılması depremin yapılar üzerinde getireceği hasarın azaltılması için gerekmektedir. Zemin büyütmesi yerel zemin koşullarının etkisiyle deprem dalgalarının ana kayadan gelip yüzeye çıkana kadar genliğinin artmasına denmektedir. Birçok model ile zeminin dinamik tepki analizleri yapılmaktadır.

Bu çalışmada 30 Ekim 2020 Sisam depremi ile 06 Şubat 2023 Pazarcık depreminde oluşan zemin büyütmeleri incelenmiştir. Bu amaçla Deepsoil programında frekans ve zaman tanım alanında doğrusal, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan bir boyutlu dinamik analizler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca tez kapsamında doğrusal ve eşdeğer doğrusal zemin tepki analizlerinde Transfer fonksiyonu olarak kullanılmak üzere Değiştirilmiş Sonlu elemanlar-Taşıma matrisi yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ile hem transfer fonksiyonları elde edilmekte hem de belirli bir yer hareketi etkisi altında frekans alanında analizler yapılabilmektedir. Tezin ikinci bölümünde literatür taramasına yer verilirken üçüncü bölümde zemin tepki analizi yöntemleri ile Deepsoil programı anlatılmıştır. Dördüncü ve beşinci bölümde Sisam ve Pazarcık depremi etkisi altındaki zemin büyütmeleri Deepsoil programı ile incelenirken Altıncı bölümde ise Değiştirilmiş Sonlu elemanlar-Taşıma matrisi yöntemi açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin büyütmesi, dinamik tepki analizi, Deepsoil, Değiştirilmiş Sonlu elemanlar Taşıma matrisi yöntemi

ABSTRACT

SOIL AMPLIFICATION ANALYSIS ON WEAK SOILS UNDER THE IMPACT OF SISAM AND PAZARCIK EARTHQUAKES

Öznur BİLİCAN

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KESKİN

Co-supervisor: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

April 2023, 86 pages

For our country, which has high seismic activity, it is necessary to understand the dynamic behavior of soils at the time of earthquake in order to reduce the damage caused by the earthquake. Ground amplification is the increase in the amplitude of earthquake waves until they come from the bedrock and rise to the surface, due to the effect of local ground conditions. Dynamic response analyzes of the soil are performed with many models.

In this study, the soil amplifications occurred in the 30 October 2020 Samos earthquake and 06 February 2023 Pazarcık earthquake were investigated. were modeled using the 30 October 2020 Izmir earthquake data, and linear, equivalent linear and nonlinear one-dimensional seismic ground response analyzes were made in the frequency and time domain in the Deepsoil program. For this purpose, linear, equivalent linear and nonlinear one-dimensional dynamic analyzes in the frequency and time domain were performed in the Deepsoil program and the results were evaluated. In addition, within the scope of the thesis, the Modified Finite Element-Transfer matrix method has been proposed to be used as a Transfer function in linear and equivalent linear soil response analysis. With the proposed method, both transfer functions are obtained and analyzes can be made in the frequency domain under the influence of a certain ground motion. In the second part of the thesis, literature review is given, while in the third part, seismic ground response analysis methods and the Deepsoil program are explained. In the fourth and fifth chapters, the soil amplifications under the influence of the Samos and Pazarcık earthquakes are investigated with the Deepsoil program, while the Modified Finite Element-Transfer matrix method is explained in the sixth chapter.

Keywords: Soil amplification, dynamic response analysis, Deepsoil, Modified Finite Element-Transfer matrix method

TEŞEKKÜR

Bilgi birikimi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, tüm tez sürecimde sonsuz destek ve anlayışlarıyla bana yol gösteren, araştırmak ve öğrenmekten sayelerinde keyif aldığım danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ Keskin ve Prof. Dr. Kanat Burak Bozdoğan'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman destekçim olan ve her kararımda yanımda duran babam Zekeriya Bilican, kardeşlerim Özge Bilican ve Özlem Bilican' a en çok da verdiği mücadeleyle ve savaşçı ruhuyla bana hayat boyu ilham olan annem Şahsinur Bilican' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. ZEMİNLERİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ VE BİR BOYUTLU DAVRANIŞ ANALİZLERİ	17
3.1. Kayma Modülü ve Sönüm Oranı İlişkilerinde Kullanılan Malzeme Modelleri	17
3.2. Zemin Tepki Analiz Yöntemleri.....	18
3.2.1. Frekans alanında doğrusal analiz yöntemi.....	18
3.2.2. Frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz yöntemi.....	19
3.2.3. Zaman alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi.....	20
3.3. Deepsoil Programı ile Bir Boyutlu Dinamik Analizler	20
3.3.1. Deepsoil ile frekans alanında doğrusal dinamik tepki analizi.....	20
3.3.2. Deepsoil ile frekans alanında eşdeğer doğrusal dinamik tepki analizi	23
3.3.3. Deepsoil ile zaman alanında doğrusal olmayan dinamik tepki analizi	24
4. SİSAM DEPREMİ ETKİSİNDE OLUŞAN ZEMİN BÜYÜTMELERİ	27
4.1. Sisam Depremi İçin Yapılan Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	27
4.2. Sisam Depremi İçin Dikkate Alınan Deprem Kayıtları.....	28
4.3 Sisam Depremi İçin Yapılan Analiz Sonuçları.....	29
4.3.1. Dekonvolüsyon işlemi uygulanarak yapılan analiz sonuçları.....	29
4.3.2. Dekonvolüsyon işlemi uygulanmadan yapılan analiz sonuçları.....	32
5. PAZARCİK DEPREMİ ETKİSİNDE OLUŞAN ZEMİN BÜYÜTMELERİ.....	37
5.1. Pazarcık Depremi İçin Yapılan Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	37
5.2. Deprem Verilerinin Alındığı İstasyon Bilgileri	41

5.3. Pazarcık Depremi İçin Yapılan Analiz Sonuçları.....	43
5.3.1. Dekonvolüsyon işlemi uygulanarak yapılan analiz sonuçları.....	43
5.3.2. Dekonvolüsyon işlemi uygulanmadan yapılan analiz sonuçları	58
6. TEK BOYUTLU ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİNDE TRANSFER FONKSİYONUNUN DEĞİŞTİRİLMİŞ SONLU ELEMANLAR TAŞIMA MATRİSİ YÖNTEMİ İLE ELDE EDİLMESİ	69
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	85



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 3.1. Malzeme modelleri ve geçerli oldukları zemin türleri	18
Çizelge 4.1. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	32
Çizelge 4.2. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	36
Çizelge 4.3. Periyotlara göre maksimum spektral ivme (PSA) ve büyütme değerleri....	36
Çizelge 5.1. Zemin profillerine ait sınıflandırma	41
Çizelge 5.2. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	47
Çizelge 5.3. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	49
Çizelge 5.4. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	51
Çizelge 5.5. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	54
Çizelge 5.6. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	55
Çizelge 5.7. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	57
Çizelge 5.8. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	62
Çizelge 5.9. Periyotlara göre maksimum spektral ivme (PSA) ve büyütme değerleri....	62
Çizelge 5.10. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri	66
Çizelge 5.11. Periyotlara göre maksimum spektral ivme (PSA) ve büyütme değerleri	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 4.1. 3513 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	27
Şekil 4.2. 3513 nolu istasyonun doğu- batı yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri.....	28
Şekil 4.3. 3513 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri.....	28
Şekil 4.4. 3528 nolu istasyonun doğu-batı yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri.....	29
Şekil 4.5. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri.....	29
Şekil 4.6. 3513 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	30
Şekil 4.7. 3513 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)	32
Şekil 4.8. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz).....	33
Şekil 4.9. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)	34
Şekil 4.10. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal olmayan analiz).....	36
Şekil 5.1. 0201 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	37
Şekil 5.2. 3114 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	38
Şekil 5.3. 3126 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	39
Şekil 5.4. 4621 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	39
Şekil 5.5. 3129 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	40
Şekil 5.6. Antakya zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi	41
Şekil 5.7. 3129 nolu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü ivme-zaman grafiği	42
Şekil 5.8. 4621 nolu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü ivme-zaman grafiği	43
Şekil 5.9. 3137 nolu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü ivme-zaman grafiği	43
Şekil 5.10. 0201 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	45
Şekil 5.11. 0201 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)	46

Şekil 5.12. 3114 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	47
Şekil 5.13. 3114 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz).....	48
Şekil 5.14. 3126 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	50
Şekil 5.15. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	52
Şekil 5.16. 3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)	53
Şekil 5.17. 4621 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	54
Şekil 5.18. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	56
Şekil 5.19. 3137 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	59
Şekil 5.20. 3137 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)	60
Şekil 5. 21. 3137 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal olmayan analiz).....	61
Şekil 5.22. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)	63
Şekil 5.23. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz).....	64
Şekil 5.24. 3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal olmayan analiz).....	65

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 3.1. Analiz türü seçimi	21
Resim 3.2. Zemin profili tanımlanması	21
Resim 3.3. Deprem hareketi seçimi.....	22
Resim 3.4. Analizin son adımı.....	22
Resim 3.5. Analiz sonucu	23
Resim 3.6. Kayma modülü ve sönüm oranı eğrilerinin seçimi.....	24
Resim 3.7. Zemin tabakalarına göre maksimum frekans değişimi.....	25
Resim 3.8. Viskoz sönümleme matrisinin girilmesi.....	25
Resim 3.9. Analiz kontrol parametrelerinin girilmesi	26



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
V_s	Kayma dalgası hızı
f_0	Zemin doğal frekansı
G	Kayma modülü
ξ	Sönüm oranı
γ	Kayma birim deformasyonu
G^*	Kompleks kayma modülü
F_{1N}	Transfer fonksiyonu
ω	Açısal frekans
a_m^*	m. tabaka için empedans oranı
θ	Yatay yer değiştirme

Kısaltmalar	Açıklamalar
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CPT	Koni Penetrasyon Deneyi
DSETM	Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
HVSR	Yatay Düşey Spektral Oran
MASW	Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi
MKZ	Modifiye Kondner-Zelasko Modeli
PGA	Maksimum Yüzey İvmesi
PGD	Maksimum Yer Değiştirme
PSA	Maksimum Spektral İvme
SSR	Standart Spektral Oran

SSR

Efektif Kayma Gerilmesi Oranı

TADAS

Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi

TBDY

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



1. GİRİŞ

Yer kabuğu hareketliliği sonucu ortaya çıkan titreşim enerjisinin ana kayadan çıkıp dalgalar halinde yayılarak yeryüzünü ve yapıları sarsması deprem olarak adlandırılır. Depremler önceden bilinip engellenemeyeceği için binlerce yıldır can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Ancak alınacak önlemler ile bu hasarlar en aza indirilebilmektedir. Ülkemiz dünyanın önemli aktif kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Marmara'da Saros Körfezi'nden başlayıp Doğu Anadolu'da Aras Vadisi'ne kadar devam eden Kuzey Anadolu Fayı ülkemizden geçen en yıkıcı fay hatlarından biridir. Geçtiğimiz yıllarda bu hat üzerinde 1939 Erzincan depremi ($M=7,9$) ve 1999 Kocaeli depremi ($M=7,4$) gibi büyük hasara sebep olan depremler meydana gelmiştir.

30 Ekim 2020 14:51 de İzmir'in Seferihisar ilçesi açıklarında Sisam Adası kuzeyinde $M=6,6$ büyüklüğünde can ve mal kaybına sebep olan deprem meydana gelmiştir. Özellikle alüvyonel çökeller üzerinde bulunan Bornova ve Bayraklı ilçelerinde ölçülen deprem ivmelerinin diğer bölgelere göre daha yüksek olması yumuşak zeminlerin deprem üzerine etkisini göstermiştir. Hasarın Bayraklı' da yoğunlaşması ve en fazla etkilenen yapıların 7-10 katlı yapılar olması zemin büyütmesi ve rezonans etkisi sebebiyle bu yapılara deprem yükünün daha fazla etkimesi olarak belirlenmiştir (Afad, 2020). Oluşan hasarda yalnızca deprem kaynak özellikleri değil yanı sıra yerel zemin koşulları ve üst yapı tasarım özellikleri de etkilidir. Bu da yapıların ve zeminlerin statik olduğu kadar sismik yükler altındaki dinamik davranışlarının da sahaya özel analiz edilmesinin ve yapı-zemin etkileşiminin önemini göstermiştir.

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş Pazarcık' ta 7,7 büyüklüğünde yerin 8,6 km derinliğinde bulunduğu ilde dahil 11 ilde çok sayıda can kaybına ve büyük hasara sebep olan deprem meydana gelmiştir. Deprem kayıtlarında 1 g nin üzerinde çok büyük ivmeler görülmüştür. Bu depremden en çok etkilenen yerlerden olan Hatay' da Amik ovası olarak geçen alüvyonel zemin üzerine kurulu bölgelerde çok büyük yıkım oluşmuştur. Yumuşak zemine sahip bölgede depremin merkez üssüne nispeten uzak olmasına rağmen büyük

ivme değerleri kaydedilmesi ve büyütme oranları hesaplanması bu zayıf zeminin büyütücü etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ana kayadan çıkan sismik dalgalar içinden geçtikleri zemin tabakalarının fiziksel özelliklerinden etkilenererek kimi frekanslarda sönümlenirken kimisinde ise büyütülmektedir. Dalgaların genliklerinde meydana gelen bu artma zemin büyütmesi olarak adlandırılır (Yalçınkaya, 2010). Zemin büyütmesi anakaya derinliği, zemin tabakaları kalınlıkları, türü, kayma dalgası hızı, kayma modülü, sönüm oranı ve deprem karakteristiğinden etkilenmektedir. Değişkenin fazlalığı ve zeminin dinamik davranışı sahaya özel tepki analizleri yapılması gerekliliğini göstermektedir.

Sismik zemin tepki analizleriyle deprem dalgalarının zeminin dinamik özellikleri tarafından nasıl etkileneceğini öngörebilmek oluşacak can ve mal kaybını en aza indirgeyebilmek için oldukça önemlidir. Zemin büyütmesinin dikkat çektiği ilk örneklerden biri 1819 Hindistan depremidir. Temeli ana kayadan uzakta zemin üzerine oturan yapılardaki hasarın temeli kayaya oturan yapılarınkinden daha fazla olduğu fark edilmiştir (Civelekler ve diğerleri, 2018). Güney Kaliforniya'nın tortul birikintilerden oluşan çok kalın bölgesinde kaydedilen sarsıntının sığ bölgelerde oluşanların iki katı fazla olması zemin büyütmesi örneğidir (zkan, 2017). 1970 Gediz depremi ($M=7,1$) kaynağından 135 km uzaktaki sağlam zemine sahip bölgede hasara sebep olmazken 180 km uzaktaki yumuşak zemine sahip Bursa Ovasında Tofaş fabrikasında bazı binaları yıkmıştır. Deprem kaynağına uzakta da olsa yumuşak zeminlerin deprem genliklerinde artışa sebep olduğu anlaşılmaktadır. $M=8,1$ büyüklüğündeki 1985 Mexico City depreminde kaynaktan 350 km uzaklıktaki 6-20 katlı yapıların ağır hasar almasının sebebi yapıların doğal titreşim periyotları ile yumuşak zeminin hakim periyodunun çakışarak deprem dalgalarının etkisinin büyütülmesidir. Ağır hasar veren 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi de ($M=7,4$) zemin büyütmesine örnek verilebilmektedir. Deprem kaynağından 110 km uzakta bulunan sağlam zemin üzerine kurulu bölgede deprem ivmesi çok düşük llmştir. Ancak kaynağa 140 km uzaktaki Aliağa Termik Santralı'nda çok yüksek ivme değerleri ölçülmüş ve bu bölgede çok sayıda yapının çökmesine veya ağır hasar almasına ve 1000 den fazla can kaybına sebep olmuştur (Kaptan ve Tezcan, 2012).

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Deprem dalgalarının içinden geçerek yüzeye ulaştığı zeminler tarafından etkilenecek soğrulması ya da büyütülmesi yapılarda statik analizin olduğu kadar dinamik analizinde dikkate alınması gerekliliğini doğurmuştur. Dinamik analizler sonucu zeminlerin sismik yükler altındaki davranışını öngörebilmek ve yapıyı tasarlarken bunları hesaba katmak oluşabilecek can ve mal kayıplarını azaltabilmenin bir yoludur. Literatürde bulunan bazı dinamik saha tepki analizleri, zemin büyütmesi çalışmaları, zeminin dinamik parametrelerini araştırmaya yönelik çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Shima (1978) büyütme faktörünün yüzeyde ölçülen kayma dalgası hızı ve ana kayada ölçülen kayma dalgası hızının oranlanması sonucu analitik bir şekilde hesaplanabileceğini göstermiştir. Bu durumda ana kayadaki kayma dalgası hızının sabit olduğu bölgede yüzeydeki kayma dalgası hızının büyütme neden olduğunu belirtmiştir.

Midorikawa (1987), Borchardt vd. (1991) tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi sırasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlemlenmesi ve analizi sonucu ortaya çıkan bu hızın ortalama değerinin, yüzeyde belli derinlikte bulunan zeminlerde meydana gelen büyütme değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu belirtilmiştir.

Trifunac ve Todorovska (2000) yaptıkları çalışmada 0,2 s den daha küçük periyotlarda, kaya alanlardaki büyütmenin alüvyon zeminlerden oluşan bölgelerdeki büyütme göre yaklaşık 1,5 kat daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

Yalçınkaya ve Alptekin (2003) 1995 Dinar depreminde bölgedeki hasarda zemin büyütmesinin payını araştırmak için Dinar’ da kurulu 5 istasyondan kaydedilmiş artçı şokları kullanarak SSR ve HVSR yöntemleri ile büyütme analizi yapmışlardır. Büyütme değerlerinin 8 kata kadar çıktığı gözlenirken en çok hasar gören yapıların 4-5 katlı olması ile zemin hakim periyodunun 0,43-0,5 s çakışması hasar üzerinde rezonans etkisinin de oluştuğunu göstermiştir.

Psarropoulos ve diğerleri (2007) Japonya’daki alüvyal bir vadi üzerinde iki boyutlu doğrusal ve eşdeğer doğrusal analizler yaparak zemin tabakalarının sismik hareketi zemin yüzeyine aktarırken oluşan değişimler üzerinde vadi geometrisi, plastisite indisi gibi jeomorfik koşulların etkisini araştırmışlardır. Tepkiye dikey S dalgasının hakim olduğu sonucuna varmışlardır.

Choudhury ve Savoikar (2009) belediye katı atık depolarının kirlilik oluşturma riski bulunan sahalarında Deepsoil programı ile bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yapmışlardır. Sonuç olarak küçük yüksekliklere (40 m' ye kadar) sahip depolama modellerinde ortalama periyotlarda düşük yer ivmesinin yüksek büyütme oranlarına dönüştüğü görülmüştür. Eşdeğer doğrusal analiz gereği kayma dalgası hızı ve birim hacim ağırlığının sabit alınması zeminlerdeki maksimum yatay ivmenin ve büyütme oranlarının olduğundan daha düşük hesaplanmasına neden olmuştur.

Güzel ve diğerleri (2009) Kuzey Adana' da belirli bir bölgenin farklı noktalarında saptanan kayma dalgası hızlarını (V_s) kullanarak Midorikawa (1987)'ye göre hesaplanan zemin büyütme değerlerini bu bölge özelinde haritalamışlardır. İnceleme sonucunda 1,3-2,5 aralığında değişen zemin büyütme değerlerinin çökel birimlerin kalın olduğu yerlerde 2'nin üzerinde seyrettiği görülmüştür.

Semblat ve diğerleri (2010) derin kömür madenciliğinin neden olduğu titreşimlerin yüzey yapıları üzerindeki etkisini frekans alanında sınır eleman yöntemi ile sayısal olarak araştırmışlardır. Alüvyal birikintilerin yüzeyinde girdi hareketinin büyütüldüğünü ve dolayısıyla yüzeyde bulunan yapıların harekettten daha güçlü etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Liang ve diğerleri (2012) dolaylı sınır eleman yöntemi (IBEM) ile zemin tabakalarındaki boşlukların büyütme üzerine etkisini hem frekans alanında hem de zaman alanında incelemişlerdir. Zemin içi boşlukların en yüksek ivmeyi (PGA) %45 ve en yüksek spektrumu %84 oranında artırabileceğini böylece sismik tepkiyi etkileyebileceğini göstermişlerdir.

Selçuk ve Aydın (2012) 81 adet sondaj verisi kullanarak oluşturdukları zemin modelleri için 2011 Van depremi ivme değerleri ile zeminlerin büyütme değerlerini ampirik formüller yardımıyla hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda su seviyesi yüksek, gevşek alüvyon zeminlerin traverten zeminlere kıyasla deprem yer ivmesini 2,5 kat arttırdığı görülmüştür.

Yeşil (2012) Isparta ovasında yaptığı jeolojik çalışmalar ile Nakamura tekniğini kullanarak zeminin spektral büyütme değerlerini hesaplamıştır. Hesaplanan zemin büyütme değerlerinin kaya zeminlerde 1 den küçük değerlerde iken yumuşak zeminler ve gevşek kayalarda 1-3 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Kham ve diğerkleri (2013) Tunus' ta 3000 m genişliğe ve 350 m derinliğe sahip alüvyon havzada sismik büyütme analizi yapmışlardır. Zeminin iki boyutlu parametrelerini de dikkate alarak sınır eleman yöntemi ile yapılan analizler sonucu en fazla büyütmenin alüvyon tabakasının en kalın kısmında ve düşük frekanslarda oluştuğı tespit edilmiştir.

Sisman (2013) mikrotremor kayıtları ve yer hareketi verilerini kullanarak Yatay/Düşey Spektral Oran metodu ile hesapladığı hakim frekans ve zemin büyütme değerlerini alternatif yöntemlerle elde ettikleriyle karşılaştırmıştır.

Gok ve diğerkleri (2014) İzmir' de 16 bölgede kaydedilen 10 deprem kaydı ile SSR, HVSR ve Fourier genlik spektrum analizi yöntemlerini kullanarak zemin transfer fonksiyonlarını hesaplamışlardır. Kuvaterner alüvyon zeminlerin yer ivmelerini sert zeminlere göre 1 Hz civarlarında 9 kat daha büyüttüğü görülmüştür.

Sica ve diğerkleri (2014) 2009 Abruzzo depremi sırasında büyük hasar gören İtalya'nın boşluklu yapıdaki tepenin üzerine kurulu Castelnuovo köyünün zemininin doğrusal olmayan hareketini modelleyerek saha tepki analizleri yapmışlardır. Analiz sonuçlarında zeminin büyütme maruz kalmasının ve bazı yapılarda rezonans etkisi meydana gelmesinin oluşan hasar üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

Alielahi ve Adampira (2016) iki paralel tünelin zemin yüzeyindeki sismik tepkisini zeminin doğrusal elastik davranış gösterdiğini kabul ederek zaman tanım alanında sınır elemanı yöntemi ile incelemişlerdir. İkiz paralel tünellerin çaplarından daha büyük dalga boyundaki dalgaların gelmesi durumunda büyütme faktörünün maksimuma çıktığı ve 1'den büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Nar (2016) Kocaeli Gölçük bölgesinde 1999 depremi sonucu oluşan zemin ve üstyapı hasarları nedeniyle zemin büyütmelerinin hesaplanması ve tepki spektrumlarının geliştirilmesi amacıyla, bölgeden alınan sondaj verilerini kullanarak oluşturulan zemin profili üzerinde Deepsoil programı kullanılarak bir boyutlu dinamik saha davranış analizi yapılmıştır. Zemin tabakalarının hakim periyodlarının deprem kayıtları içinde birinci artçı şok kaydının hakim periyoduna çok yakın olduğu ve Gölçük çöküntü bölgesindeki zemininin ana şok ve artçı şoklar sırasında deprem hareketinin süresini uzattığı anlaşılmıştır.

Du ve Pan (2016) Singapurda yumuşak zemin sahalarında bulunan iki sismik istasyondan alınan verilerle tek boyutlu doğrusal, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan saha tepki

analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre doğal periyotlarda spektral ivmelerin 2-5 kat büyütüldüğü, maksimum büyütme faktörünün giriş hareketine bağı olarak genellikle 0,7-2 sn periyotlarında gerçekleştiğı görülmüştür.

Mahmood ve diğeri (2016) 2005 Muzafarabad depremi sırasında yıkılan İslamabad'daki Margalla Tower binasında Deepsoil programı ile bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz gerçekleştirmişlerdir. Saha ve laboratuvar testleri ile siltli ve zayıf kil olarak modellenen zeminde bölgeye uygun deprem ivme verileri ile yapılan dinamik analizler, yüzey tepki spektrumlarının zeminin doğal periyoduna yakın periyotlarda büyütüldüğünü göstermiştir. Hesaplanan tepki spektrumları bölge için geçerli yönetmelik kapsamındaki spektrumlar ile karşılaştırılarak hesaplanan spektral ivme değerlerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Özaslan ve diğeri (2016) zeminin dinamik yükler altındaki davranışını incelemek için bir karayolu tünelinin bulunduğu zeminde yapılan CPT verilerini kullanarak Deepsoil programında dinamik analiz yapmışlardır. Analiz sonucuna göre spektral zemin büyütmesi 4,36 bulunmuştur ve sıvılaşma sonucu zeminde oluşan deformasyonların tünel yapısını önemli ölçüde etkilediğı görülmüştür.

Bowden ve Tsai (2017) yüzey dalgalarının zemin büyütmesi üzerindeki etkilerini araştırmak için Los Angeles Havzası üzerinde sismik analiz yapmışlardır. Çalışmada dinamik analiz yapılarak depremler için en yüksek yer ivmesi, zemin büyütmesi değeri ve frekans aralığının daha doğru hesaplanabileceğı vurgulanmıştır..

Ozer (2017) beş adet İzmirNET sismik istasyon kayıtlarını kullanarak SSR yöntemi ile zemin transfer fonksiyonlarını hesaplamıştır. Verilerin alındığı istasyonlara yakın bölgelerde zemin büyütmesi oranlarının 4-5 kat arasında olduğu belirlenmiştir. Alüvyal zeminlerde düşük frekanslarda gözlenen yüksek büyütme değerlerinin bu bölgelerde bulunan yapıların sismik yükler altındaki dinamik davranışının araştırılması gerektiğine dikkat çekmiştir.

Panzer ve diğeri (2017) Güney İzlanda'da volkanik ve çatlaklı anakaya bölgelerindeki 15 sismik istasyondan gelen deprem ve ortam gürültüsü kayıtları ile yer hareketinin yerel büyütme özelliklerini değerlendirmişlerdir. Yatay dikey spektral oran tekniğı ile hesaplanan değerlere göre 1-3 Hz aralığında büyütme tespit edilmiştir.

Saraçoğlu (2017) normalize davranış spektrumu adı verilen yöntemin geliştirilmesi için farklı tabaka kalınlıkları ve kayma dalgası hızları ile oluşturduğu 36 ayrı zemin profili üzerinde max ivmelerine göre sıraladığı 37 deprem ivme kaydı ile Deepsoil programında toplamda 1332 adet doğrusal olmayan analiz yapmıştır. Her deprem bölgesi için kayma dalgası hızlarına ve tabaka kalınlıklarına göre değişen normalize davranış spektrumları elde edilmiştir. Yapıya yansıyacak deprem yükünün saha verilerini içeren yerel zemin davranış spektrumundan elde edilerek yapı tasarımının daha doğru ve güvenli yapılmasını amaçlamıştır.

Jeong ve Bradley (2017) 2010–2011 Canterbury depremleri sırasında Heathcote Vadisi'nin yüzeye yakın saha etkilerinin araştırılması için kaydedilen yer hareketlerine dayalı tek boyutlu doğrusal olmayan dinamik sonlu eleman analizleri yapmışlardır. Yerinde testler yapılarak Heathcote vadisinin dinamik özellikleri bulunmuş, zemin profili oluşturulmuştur. Analizler sonucunda vadideki yer hareketlerinin geniş bir frekans bandında yükseltildiği anlaşılmıştır. Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal modellerin her ikisinde de benzer düzeyde tepe genliği üretilmesine rağmen, eşdeğer doğrusal modelin yüksek frekans hareketlerini önemli ölçüde olduğundan az tahmin ettiği görülmüştür.

Poursartip ve diğerleri (2017) yerel zeminin topografik düzensizlikler gibi iki boyutlu özelliklerinin sismik analizlerdeki etkilerini araştırmak amacıyla frekans alanında analizler yapmışlardır. Böylece yerel zemin koşullarını analizlere daha ayrıntılı girerek zeminin büyütme veya sönümleme davranışı hakkında daha fazla fikir sahibi olunabileceği gösterilmiştir.

Alcık (2018) Muğla'nın Bodrum ilçesinde, içlerinde $M_w=6,6$ olan Bodrum Kos depremi kayıtlarının da bulunduğu 51 deprem kaydını kullanarak HVSR ve SSR yöntemleri ile bölgenin zemin hakim periyodunu ve zemin büyütme değerlerini hesaplamıştır. Yumuşak zeminlerin bulunduğu bölgelerde zemin hakim periyotlarının 2,1-2,7 Hz aralığında ve büyütme değerlerinin 1,0-6,6 arasında değiştiği bulunmuştur.

Aydın (2018) sıkıştırılmış killi zemin dolgusunun geoteknik ve dinamik parametrelerini laboratuvar deneyleriyle belirleyerek Deepsoil de modellediği zemin profilinin bir boyutlu dinamik analizini eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle yapmıştır. Spektral büyütme değerlerinin deprem kayıtlarının çoğu için zeminin doğal periyoduna yakın

olduğu görülmüş, maksimum büyütme değerlerinin 1,60 ile 2,31 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Chen ve diğerleri (2018) Çin' in kalın ve yumuşak çökellerden oluşan Songliao havzasında yüzey dalgalarının zemin tarafından ne kadar büyütüldüğünü araştırmak için tek boyutlu analizler yapmışlardır. Her sahada zemine özel analiz yapmanın sismik tehlike değerlendirmeleri açısından gerekliliği vurgulanmıştır.

Civelekler ve diğerleri (2018) yerel zemin koşullarının dinamik davranışa etkisini incelemek amacıyla Eskişehir il merkezinden elde edilmiş 40 farklı sondaj verisi ile bölgenin zemin özelliklerini belirlemişlerdir. Belirlenen bölgelerde Kocaeli deprem verileri etkiltilerek Deepsoil programında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizler yapılmıştır. Her nokta için hesaplanan zemin büyütme katsayıları güvenli yerleşim alanları oluşturulabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri ile haritalanmıştır.

Pamuk ve diğerleri (2018) kayma dalgası hızı ve hakim periyodu belirlenen sismik aktivitesi yüksek bir bölge olan İzmir Aliğa ilçesinden alınan gürültü kayıtları ile HVSR yöntemini kullanarak yüzeysel zeminlerin dinamik analizini yapmışlardır. Hakim periyot 0,1-1,9 s aralığında iken büyütme faktörü 1,5-12 arasında belirlenmiştir.

Puri ve diğerleri (2018) Hindistan'ın Haryana bölgesinden toplanan geoteknik verileri kullanarak oluşturdukları zemin modelleri üzerinde Deepsoil programında frekans alanında eşdeğer doğrusal analizler yapmışlardır. Analiz sonuçlarında Haryana' daki zeminlerin yer hareketlerini 0,7-2,3 kat artırabildiği gözlemlenmiştir.

Sedaghati ve diğerleri (2018) aktif sismik bölgede yer alan kalın konsolide olmamış Mississippi Körfezinde yer alan 11 istasyondan alınan verilerle HVSR tekniğini kullanarak dinamik davranış analizleri yapmışlar ve zemin büyütme değerlerini hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, konsolide olmayan Mississippi körfezi zemini, zayıf yer hareketlerini ana kaya üzerinde yer alan zeminlere göre 5 Hz' den küçük frekanslarda 3–7 kat büyötmüştür.

Ulutaş ve Livaoğlu (2018) tek istasyondan alınan 17 Ağustos Kocaeli deprem verilerini kullanarak homojen gevşek bir zemin üzerinde frekans alanında transfer fonksiyonunu belirlemişlerdir. Sonuçlar deprem hareketlerinin gevşek zeminler tarafından 0,1 Hz -3 Hz aralığında büyütüldüğünü daha yüksek frekanslarda ise küçültüldüğünü göstermiştir.

Zhang ve diğerkleri (2018) topografik büyütme değerklerini, standart spektral oran (SSR) tekniğı kullanarak hesaplamışlar ve karşılaştırma yapabilmek için sonlu farklar yöntemi ile sayısal hesaplamalar yapmışlardır. Topografyanın ve zayıf zeminin etkisinin hem SSR sonuçlarında hem de sayısal hesaplarda deprem hareketini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. En önemli büyütmelemin 3-8 Hz ile 10-20 Hz frekans aralığında ve büyütme oranlarının 4 ün altında olduğunu tespit etmişlerdir. FFT spektrumu dalga yayılımının 1-6 Hz arasında yoğunlaştığını göstermiştir.

Wang ve diğerkleri (2018) Çin’de Løs Platosu bölgesinde kaydedilen kuvvetli yer hareketinin özelliklerini inceleyerek bölgenin zemin katmanı kalınlığı ve eğiminin büyütmeyle olan etkisini anlamak için sarsma tablası deneyleri ve sayısal analizler yapmışlardır. Løs birikintisinin kalınlığının ve eğiminin arttıkça büyütme değerklerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Arslan (2019) Bursa ili Osmangazi ilçesinde bulunan çeşitli mahalleler için var olan sondaj verileri ve sismik çalışmalardan yola çıkarak hazırladığı zemin modelleri üzerinde eşdeğer doğrusal analizleri Deepsoil programını kullanarak yapmıştır. Analizler sonucunda olası bir depremde ana kayada oluşan ivme değerklerinin yüzeye varana dek bazı yerlerde sönümlendiğı, bazı yerlerde ise 2-3 kata kadar büyütüldüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Akdoğan (2019) yerel koşulların zeminlerin davranışını ne derecede etkilediğini araştırmak için İzmir Körfezi’nin kıyısında yer alan derin alüvyonlu zeminlerin tek boyutlu doğrusal olmayan zemin tepki analizlerini Deepsoil programını kullanarak gerçekleştirmiştir. Ana kayayı farklı derinliklere koyarak analizler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Zemin koşullarının yer hareketinin frekans içeriğini değıştirdiğini, yumuşak zeminlerde düşük frekanslarda büyütme meydana geldiğini tespit etmiştir.

Afacan ve Güler (2019) Afyonkarahisar’da bir bölgeden elde ettikleri 5 ayrı sondaj ile zemin profillerini belirlemiş ve farklı deprem kayıtları kullanarak Deepsoil programında doğrusal olmayan analizler yaparak zemin büyütmeleminin belirlemişlerdir. TBDY’nin bölgeyle ait önerdiği tepki spektrumları incelenerek elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yönetmeliğin önerdiği spektral davranış spektrumunun yanı sıra zemin özellikleri bilinen bölgede doğrusal olmayan analiz yaparak daha gerçekçi davranış analizi ve daha güvenli tasarımlar yapılabilmesi üzerine çalışılmıştır.

Bajaj ve Anbazhagan (2019) Hindistan'ın Gangetik ovasında zemin büyütme katsayıları elde etmek amacıyla doğrusal olmayan zemin tepki analizleri yapmışlardır. Büyütme faktörleri 1,5 ile 6,3 arasında değişirken maksimum spektral ivme 0,08 saniye ile 0,5 saniye arasında gözlemlenmiştir.

Yine Hindistan'ın yüksek sismik risk altında olan Guwahati şehrinde gerçeğe en yakın sonuçlar için çeşitli zemin parametreleri ile doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Şehrin genelinde yapılan analizler sonucu amplifikasyonun bölgelere göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Basu ve diğerleri, 2019).

Han ve diğerleri (2019) sık sık büyük depremlere maruz kalan ve ağır hasar alan Lushan şehrinde büyütmenin belirlenmesi için 2013 yılında meydana gelen 7,0 büyüklüğündeki Lushan Depremi verilerini kullanarak SSR yöntemi ile büyütme analizleri yapmışlardır. Büyütme değerleri 3-14 arasında değişirken büyütmenin olduğu frekans aralığı 5-10 Hz olarak belirlenmiştir.

Kim (2019) Kanada'da derin yumuşak kil ve siltten meydana gelmiş Fraser Nehri deltasının dinamik davranışını Deepsoil programı yardımıyla eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle araştırmıştır. Zemin tarafından deprem hareketinin yüksek periyotlarda deltanın merkezinde büyütüldüğünü, kısa periyotlarda ise sönümlendiğini tespit etmiştir.

Ma ve diğerleri (2019) Japonya Tokushima' da bir heyelan bölgesinde birikerek oluşmuş Naka kasabasındaki zemin üzerinde civardan alınmış 5 sismometre kaydını kullanarak HVSR tekniği ile büyütme değerlerini hesaplamışlardır. Zemin cinsi, tabaka kalınlığı, eğim gibi zemin özellikleri ile deprem dalgalarının türü ve yayılma yönünün büyütme değerlerini önemli ölçüde etkilediği anlaşılmıştır. Tabakalaşmanın fazla olduğu noktalarda HVSR tepe genliği 3-5 aralığına çıkmıştır.

Özer (2019) Erzurum ve çevresinde 10 ivme-ölçerden topladığı deprem kayıtlarını kullanarak farklı zemin modellerinde HVSR ve SSR teknikleri ile zeminin dinamik davranış analizini yapmış ve elde edilen zemin büyütme değerlerini incelemiştir. Alüvyon birimlerden oluşan zemin hakim frekansının 0,5-1,0 Hz aralığında olduğu zeminlerde özellikle düşük frekanslarda yüksek SSR büyütme gözlenmiş ve 10-20 kat arasındaki yapılarla rezonans etkisinin oluşabileceği belirtilmiştir.

Özyazıcıoğlu ve diğerleri (2019) deprem riski yüksek bölgede bulunan Erzincan il merkezi için 41 adet sondaj verisine dayanarak oluşturdukları zemin profilleri üzerinde bir boyutlu eşdeğer doğrusal zemin büyütme analizleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda büyütme değerlerinin ovanın bazı kesimlerinde 2 katına çıktığı ve ovanın temel kayaya yakın kesimlerinde düşük periyotlu yapılarda yüksek periyotlu yapılara göre büyütmenin daha fazla olduğu görülmüştür.

Pamuk (2019) Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesiminin yerel zemin özelliklerini farklı zemin türleri üzerinde bulunan 30 adet ivme-ölçerden kaydedilen altı deprem kaydını kullanarak HVSR yöntemi ile araştırmıştır. Zemin büyütme değerlerinin 2-10,5 zemin hâkim periyodunun ise 0,1-1,2 sn arasında değiştiğini gözlemlemiştir.

Perk ve Özer (2019) Hatay ve çevresinde 27 adet ivme-ölçerden alınan deprem kayıtları ile HVSR yöntemini kullanarak zeminin deprem sırasındaki davranışını incelemiştir. Zemin büyütme değerlerinin genel olarak 2-8 arasında değiştiğini farklı zemin tiplerinde ve frekanslarda zemin büyütme değerlerinin farklılık gösterdiğini gözlemlemiştir. Alüvyon zeminlerde düşük frekanslarda, kaya zeminlerde ise yüksek frekanslarda büyütme değerlerinin arttığı görülmüştür.

Subaşı ve diğerleri (2019) Kuzey Anadolu fay hattına yakın bir bölgede zeminin depreme karşı dinamik davranışını incelemek için 14 deprem ivme kaydını kullanarak bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz ve HVSR yöntemini kullanarak mikrotremor ölçümlerini analiz etmişlerdir. Hakim periyot ve zemin büyütmesi belirlenerek yüzey kayma şekil değiştirmelerinin pratik bir şekilde hesaplanabilmesi için bir bağıntı önerilmiştir.

Sun ve diğerleri (2019) viskoelastik ve eşdeğer doğrusal analizler yaparak bir metro istasyonunun sismik dalgaya maruz kalması durumunda yüzey yer hareketine etkisini incelemiştir. Analizler yapılırken zeminin doğrusal olmayan davranışı, kayma dalgası hızları ve metro istasyonunun boyutları dikkate alınmıştır. Daha büyük metro istasyonunun kenarında önemli bir büyütmenin ortaya çıktığını ve bu tür bir olumsuz etkinin, bağıl mesafenin artmasıyla kademeli olarak azaldığı anlaşılmıştır.

Tunçel ve diğerleri (2019) İzmir'in Karşıyaka ilçesinde 112 adet mikrotremor kaydını toplayarak HVSR yöntemini kullanarak bölge için dinamik büyütme değerlerini, zemin hakim periyodunu ve bölgenin jeolojik özelliklerini incelemiştir. Volkanik kayalardan oluşan ve yüksek bölgelerde en az büyütmenin 1,20, alüvyon ve düşük

bölgelerde büyütme değerlerinin en fazla 3'e kadar çıktığı görülmüştür. Zemin hakim periyodu ile büyütme değerlerinin birbirleri ile doğru orantılı şekilde maksimum değerler aldığı bölgelerin alüvyonel birimler üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Turkoz (2019) Eskişehir'in sismik aktivitesi yüksek İnönü ilçesinde SPT ve çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) yöntemlerine dayanarak yerel zemin koşullarını ve zeminin dinamik özelliklerini değerlendirmiştir. Yerinde test yöntemlerinden sağlanan kayma dalgası hızları ile dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Kil tabakalarından oluşan zemin profillerinde MASW yönteminden elde edilen verilerle, kum tabakalarının yoğun olduğu zemin profillerinde SPT verileri ile yapılan analizlerde büyük spektral ivmeler hesaplanmıştır.

Alvarado ve diğerleri (2020) Arjantin'de 15 ivmeölçerden alınan 1977 San Juan depremi ile 1985 Mendoza depreminin en yüksek yer ivmeleri (PGA) ve spektral ivmelerini (SA) inceleyerek zemin büyütme etkilerini araştırmışlardır. Deprem ivmelerinin düşük kayma dalgası hızına sahip bölgelerde zemin tarafından güçlü bir şekilde büyütüldüğü gözlemlenmiştir.

Asimaki ve diğerleri (2020) genel olarak yatay tabakalı Mexico City havzası için bir ve iki boyutlu frekans ve zaman tanım alanında saha tepki analizi yaparak depremlerde oluşan havza etkilerinin ve zemin büyütmelerinin frekans içeriklerini araştırmışlardır. Bölgede gerçekleşmiş 7,1 büyüklüğe sahip 2017 Puebla-Mexico City depremi verileri 6 istasyondan toplanarak yapılan analizler sonucu elde edilen büyütme ve frekans aralığı değerleri ile gözlemlenen bilgiler karşılaştırılmıştır.

Ateş (2020) Amasya' da bulunan ivmeölçer istasyonlarından alınan deprem verilerini kullanarak mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran (HVSr) yöntemi ile analizini yapmış zeminin dinamik özelliklerini karşılaştırmıştır. Deprem ve mikrotremor verilerinin analizleri sonucu kalın alüvyon zeminlerde hakim frekans ve büyütme oranlarının birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Aytekin ve diğerleri (2020) deprem hareketi seçiminin tasarım spektrumuna etkisini incelemek amacıyla sondaj ve mikrotremor sonuçlarına göre modellenen derin alüvyon zeminler üzerinde eşdeğer doğrusal yöntem ile tek boyutlu dinamik analizler yapmışlardır. Seçilen giriş hareketlerine göre derin ve sığ modellerdeki ivme spektrumları karşılaştırılmıştır.

Ceren ve Karakan (2020) Kahramanmaraş ili Üngüt Mahallesi'nde 12 sondaj verisi kullanılarak Deepsoil programında frekans alanında doğrusal, eşdeğer doğrusal ve zaman alanında doğrusal olmayan analizler 1999 Kocaeli deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarının incelenmesiyle araştırmaya konu olan bölgedeki mevcut ve yeni yapılacak yapıların temellerinin oturacağı zeminlerin dinamik davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. İvme zaman grafiklerinde en yüksek değerler frekans alanında doğrusal analiz sonuçlarından alınmıştır. En küçük ivme zaman grafiği değişimi ise zaman alanında doğrusal olmayan analiz ile bulunmuştur.

Ding ve diğerleri (2020) yüzeye yakın zemin özelliklerinin topografik büyütme üzerindeki etkisini araştırmak için yatay tabakalı eğimli zemin üzerinde sismik tepki analizi yapmışlardır. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarını kullanarak eğim modelinin doğrusal olmayan tepkisini hesaplamışlardır. Yüzey katmanlarının kayma dalgası hızları, kalınlığı ve zemin malzemesi gibi çeşitli faktörlerin etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, yüzeyel katmanların ortalama kayma dalgası hızındaki azalmanın, şev tepesine yakın alandaki topografik etkiyi artıracakını göstermiştir.

Feyizoğlu (2020) yerel zemin sınıfı ve deprem karakteristiğinin bir boyutlu dinamik davranışa etkisini görebilmek amacıyla farklı yerel zemin sınıfına sahip 20 zemin modeli ile max ivmesine göre gruplandığı 16 deprem ivme kaydı kullanılarak frekans alanında eşdeğer ve zaman alanında doğrusal olmayan analizler yapmıştır. Analizlerin sonuçları incelendiğinde max yer ivmesi ile yüzeyde meydana gelen deplasmanlar arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülürken aynı yerel zemin sınıfına sahip kum zeminlerde şekil değiştirmenin, kil zeminlerde ise spektral zemin büyütmesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Gücek (2020) yerel zemin koşullarının zemin büyütmesi üzerine etkisini incelemek için Afyonkarahisar Uydukent bölgesinde yapılmış 124 farklı sondaj verisiyle belirlediği zemin özelliklerinin bir boyutlu Deepsoil programı ile eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini yaparak zemin büyütme değerlerini elde etmiştir. Sondaj verileri kullanılarak ampirik yöntemlerle hesaplanan büyütme değerlerini analiz sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre özellikle sert kıvamda olmayan veya yumuşak zeminlerde doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmiştir. Ampirik yöntemlerin sağlıklı sonuç vermediğini bu yöntemlerin geliştirilmesinin faydalı olacağını tespit etmiştir.

Kadmiel ve diğeri (2020) aktif fay hattının yakınında bulunan ve tortul havzadan oluşan İsrail’ in Zevulun Vadisi için bölgeden toplanan deprem verileri ile yer hareketleri ve büyütme faktörleri üzerine analiz yapmışlardır. Bir boyutlu lineer analiz sonuçları mevcut HVSR (yatay dikey spektral oran) ve SSR (standart spektral oran) sonuçları ile karşılaştırılmış, 1 Hz den düşük frekanslarda büyütme faktörünün 8 e kadar çıktığı görülmüştür.

Kim ve diğeri (2020) Japonya’daki KiK-net istasyonlarındaki kayıtları kullanarak zemin büyütmelerini hesaplamak için modeller geliştirmişler ve sonuçları ampirik formüllerle hesaplanan büyütmeyle karşılaştırmışlardır. Büyütme değerleri üzerinde kayma dalgası hızları ve zemin modelinin derinliğinin önemli etkisi olduğunu saptamışlardır.

Kumar ve Narayan (2020) tortul birikintilerden oluşan zemin üzerine kurulu başkent Delhi için çeşitli bölgelerdeki zemin büyütme değerlerini, meydana geldikleri frekans aralıklarını ve bölge yapılarındaki rezonans riskini araştırmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanan ortalama spektral büyütme değerleri ile sismik risk taşıyan bölgeler belirlenmiştir.

Mahmood ve diğeri (2020) Pakistan’ ın sismik olarak aktif bir bölgesinde sahaya ait laboratuvar test sonuçları ile oluşturulan zemin modeli üzerinde tek boyutlu eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik yer tepki analizleri yapmışlardır. Analiz sonuçları eşdeğer doğrusal analizlerin doğrusal olmayana kıyasla daha yüksek PGA değerleri verdiğini göstermiş aynı zamanda saha genelinde zemin doğal periyoduna yakın periyotlarda (0,15 s) ortalama 2,4 oranında büyütme elde edilmiştir.

Matassoni ve Fiaschi (2020) İtalya’nın merkezindeki Abbadia San Salvatore’ de kalın gevşek kumlu yapıya sahip volkanik bir bölgenin sismik analizini 252 adet ortam ölçüm verisini kullanarak HVSR yöntemi ile yapmışlardır. Bölgenin en zayıf zemin olarak sınıflandırılan alanlarında bulunan büyütme değerlerinin ulusal yönetmelikte (İtalyan deprem yönetmeliği) belirtilen değerin (0,175 g) üzerine çıktığı belirlenmiştir.

Stambouli ve diğeri (2020) bir boyutlu saha analizlerinde frekans alanında lineer çözüm yaparak zemin büyütme faktörünü etkileyen parametreleri araştırmışlardır. Analiz yapılan bölgeye ait daha fazla veri bulunmasının daha net bir amplifikasyon tahmini

sağlamasının yanı sıra ortalama kayma dalgası hızı (V_s) ve zemin doğal frekans (f_0) değerlerinin de önemi vurgulanmıştır.

Gurturk ve Selcuk (2021) zemin parametrelerinin büyütme faktörü üzerine etkilerini araştırmak için bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizler yapmışlardır. Farklı zemin katmanı kalınlıkları, anakaya derinlikleri ve kayma dalgası hızları ile yapılan analizler sonucu bu parametrelerin doğal zemin periyodu ve maksimum büyütme faktörü üzerinde oldukça etkili olduğu vurgulanmıştır. Zemin doğal frekansı ve büyütmenin gerçekleştiği frekans aralığının yakın olması halinde büyütmenin önemine dikkat çekilmiştir.

Huang ve diğerleri (2021) detaylı jeolojik parametreler ve yeraltı topografik özelliklerinin büyütme analizlerinde zeminin gerçeğe en yakın dinamik davranış sonuçlarını vereceğini düşünerek Hong Kong Adası için detaylı geoteknik verileri kullanarak zeminin üç boyutlu profilinin sismik analizini yapmışlardır. Zeminlerin kayma dalgası hızları, kayaç oluşumları, tabakaların yükseklik, birim ağırlık gibi karakteristik özelliklerinin analizlerde dikkate alınmasıyla yüksek frekanslarda zemin büyütmesinin %25 artabileceğini göstermişlerdir.

Nuhoglu ve diğerleri (2021) İzmir’de Ekim 2020 tarihinde yaşanan 7 büyüklüğündeki depremin özelliklerinin ve yerel zemin koşullarının bölgedeki hasar üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Alüvyal yapıya sahip bölgelerde havza etkisi ile deprem hareketinin yüzeyde önemli bir büyütmeye uğradığı ve rezonans oluşumunun yapıların sismik tepkisi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Bergamo ve diğerleri (2022) İsviçre’ nin genelini kapsayan zemin büyütme modeli geliştirmek için ülke genelinde 280 sismik istasyondan toplanan deprem verileri ile belirli periyotlarda tepe yer hızı ve spektral ivme için büyütme haritaları hazırlamışlardır.

Cetin ve diğerleri (2022) 30 Ekim 2020 İzmir depreminin kaynağından 70 km uzaklıkta olan Bayraklı’ da ağır hasar ve can kaybına sebep olmasının bölgenin topoğrafik ve zemin özellikleri nedeniyle zemin büyütmesine maruz kaldığını gözlemlemişlerdir. Bayraklı havzasının doğrusal olmayan dinamik davranışlarını araştırmak için 2010 yılından itibaren deprem verileri toplanmış ve bir boyutlu eşdeğer doğrusal zemin tepki analizleri yapılmıştır. 1,5-3,5 periyotları arasında ZE zemin sınıfında büyütmelerin % 20-100 kadar artabileceği görülmüş ve Bayraklı’ da sahaya özel tepki analizlerinin önemi vurgulanmıştır.

Gelis ve diğlerleri (2022) Fransa'nın sanayileşmiş Rhone Kanyonu üzerine sismik büyütme çalışmaları yapmak amacıyla üç sismik istasyon kurmuşlardır. Biri referans kaya üzerine kurulu bu istasyonlardan alınan verilerle SSR tekniğı kullanılarak yapılan analizler sonucu düşük frekanslarda büyütme değeri 6 'ya ulaştığı görülmüştür.

Kwak ve diğlerleri (2022) Güney Kore'de büyük hasara sebep olan iki orta dereceli deprem sonrasında yerel zemin şartlarının depremin verdiği hasar üzerine etkilerini çalışmak istemişlerdir. Dokuz istasyondan toplanan deprem kayıtları ile dört nokta için ampirik büyütme değeri hesaplanıp HVSR tekniğı ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. 0,07 s den kısa periyotlar için sonuçlar kıyaslanabilir bulunmuştur.

Li ve Zhou (2022) geoteknik parametreleri bilinen belirli bir noktada spektral oran yöntemi ile saha yapısının zemin büyütme üzerine etkisini çalışmışlardır. Yatay yer hareketinin dikeye göre daha etkili olduğu, anakaya derinliğı azaldıkça özellikle yüksek frekanslarda büyütmenin arttığı ve yeraltı suyunun büyütmesini artırıcı özelliğı bulunduğı elde edilen sonuçlar arasındadır.

Mendicelli ve diğlerleri (2022) İtalya sismik mikrobölgeleme veri tabanından aldıkları bilgiler ile çok sayıda frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz yapmışlardır. Ülke genelinde en yüksek ivme ve zemin büyütme tahmin haritaları oluşturmak için yapılan analizler sonucunda zemin yüzeyi ivme değerlerinin ana kayaya göre iki katı arttığı saptanmıştır.

Yılmazoglu ve Ince (2022) Muğla'nın tabakaları alüvyon ve kıyı çökellerinden oluşan Mesudiye bölgesine ait sondaj verileri ile oluşturulan zemin profili üzerinde tek boyutlu eşdeğer dinamik davranış analizi yapmışlardır. En yüksek zemin büyütmesinin kıyı çökellerinde olduğu gözlenirken büyütme katsayısının ve tepe ivme değeri deprem kayıtlarının karakteristik özelliklerine göre değıştiğı gözlemlenmiştir.

3. ZEMİNLERİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ VE BİR BOYUTLU DAVRANIŞ ANALİZLERİ

3.1. Kayma Modülü ve Sönüm Oranı İlişkilerinde Kullanılan Malzeme Modelleri

Deprem dalgalarının içinden geçtikleri zemin tabakaları tarafından sönümlenmesi veya büyütülmesi zemin özelliklerinin ve türünün dinamik davranış üzerine etkisinin araştırılmasını gerektirmiştir. Zeminin dinamik davranışını yansıtan kayma modülü ve sönüm oranının kayma birim deformasyonuna göre değişimi birçok araştırmacı tarafından laboratuvar ve arazi deneyleri ile temsil edilmeye çalışılmıştır.

Seed ve Idriss (1970) dinamik zemin özelliği olarak adlandırılan kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin birim deformasyon ile ilişkisinin hangi parametrelerden etkilendiğini araştırmak için birçok deney yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda kayma modülünün efektif basınç, boşluk oranı ve şekil değiştirme genliğinden etkilendiği buna karşın dane boyutundan fazla etkilendiği gözlemlenmiştir. Kohezyonsuz kaba daneli zeminler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucu kumlu zeminler için sıklık derecelerine göre değişen kayma modülü-kayma deformasyon ve sönüm oranı-kayma deformasyon eğrileri oluşturmuşlardır.

Vucetic ve Dobrey (1991) killi zeminlerde plastisite indisinin sönüm oranı ve kayma modülü üzerindeki karmaşık etkisini araştırmışlardır. Yüksek şekil değiştirmelerde plastisite indisi artarken sönüm oranının azaldığı, kayma modülünün arttığı anlaşılmıştır.

Darendeli (2001) 150 tane örselenmemiş ve 50 tane örselenmiş kum-çakıl numunesi üzerinde yaptığı laboratuvar deneyleri sonucunda efektif gerilme, kayma deformasyonu ve çevrim sayısı gibi değerlerin aşırı konsolidasyon oranı, üniformluk katsayısı, plastisite indisi, boşluk oranı ve dane boyutu gibi değerlerle arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Amir Faryar ve diğerleri (2016) tüm zemin türleri için geçerli kayma gerilmesi sönümlenme modeli geliştirmişlerdir. Literatürdeki malzeme modellerini inceleyerek doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi ile modelin katsayılarını belirlemişlerdir. Önerdikleri model fonksiyonlarının kum ve kil zeminlerde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde bulunan bazı malzeme modelleri Çizelge 3.1. 'de özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Malzeme modelleri ve geçerli oldukları zemin türleri

Malzeme Modeli	Geçerli Oldukları Zemin Türü	Araştırılan parametre
Seed ve Idriss (1970)	Kum (kaba daneli)	Rölatif sıkılık
Hardin ve Drnevich (1972)	İnce daneli	Efektif gerilme, boşluk oranı, çevrim sayısı, doygunluk derecesi
Vucetic ve Dobrey (1991)	Kil	Plastisite indisi, boşluk oranı
Ishibashi (1992)	Kil	Plastisite indisi
Darendeli (2001)	Kum-Çakıl	Aşırı konsolidasyon oranı, boşluk oranı, plastisite indisi
Menq (2003)	Kum	Efektif gerilme, boşluk oranı, dane boyutu, su muhtevası
Roblee ve Chiou (2004)	Kum - Kil	Plastisite indisi, ince dane oranı

3.2. Zemin Tepki Analiz Yöntemleri

3.2.1. Frekans alanında doğrusal analiz yöntemi

Doğrusal analiz yönteminde transfer fonksiyonları kullanılarak anakaya hareketinin yer değiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma birim deformasyonu gibi parametreleri bulunabilmektedir (Kramer, 1996). Bu analiz türünde aşağıdaki kabuller yapılmaktadır.

- Her zemin tabakası için kayma modülü ve sönüm oranı sabit alınır.
- Zamana bağlı değişimi bilinen anakaya hareketi hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak frekans alanında Fourier serisi şeklinde tanımlanır.
- Fourier serisinin her terimi zemin için hesaplanan transfer fonksiyonu ile çarpılır.
- Zemin yüzeyi hareketinin frekans alanında Fourier serisi elde edilmiş olur.

- Ters FFT kullanılarak frekans alanındaki zemin yüzeyi hareketi zaman alanına çevrilir.
- Anakaya hareketindeki her frekansın transfer fonksiyonu tarafından nasıl etkilendiği zemin yüzeyi hareketinden anlaşılabilir.

3.2.2. Frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz yöntemi

Çevrimsel yükler altında zeminlerin gerilme birim deformasyon davranışı farklılık göstermektedir. Eşdeğer doğrusal analiz ile zeminin dinamik özelliklerini temsil eden kayma modülü (G) ve sönüm oranı (ξ) değerlerinin kayma birim deformasyonuna bağlı olarak iteratif şekilde hesaplanmasıyla zeminin bu histeretik davranışı temsil edilmektedir. Bu analiz yönteminin işlem adımları aşağıda adım adım özetlenmiştir.

- Her tabaka için kayma modülü (G) ve sönüm oranı (ξ) düşük birim deformasyona karşılık gelecek şekilde başlangıç değerleri olarak alınır.
- G ve ξ 'nin alınan bu değerleri her tabaka için kayma birim deformasyonu ile zemin tepkisi hesaplanırken kullanılır.
- En yüksek kayma birim deformasyonundan her tabaka için efektif kayma birim deformasyonuna denklem (3.1) kullanılarak ulaşılır.

$$\gamma_{eff} = R_{\gamma} \gamma_{max} \quad (3.1)$$

(R_{γ} deprem büyüklüğüne bağlı bir parametre)

- İterasyonun bir sonraki adımı için bu efektif kayma birim deformasyonundan yeni G ve ξ seçilir.
- Bu işlemler art arda iki iterasyonda bulunan kayma modülü ve sönümleme oranı değerleri arasındaki fark öncesinde belirlenen değerin altına düşünceye kadar tekrar edilir.

3.2.3. Zaman alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi

Bu yöntemde zeminin doğrusal olmayan davranışını belirlemek için hareket denklemi her zaman adımı için integre edilmektedir. Bu integrasyon işlemi yapılırken her zaman adımında gerilme birim deformasyon ilişkilerine göre belirlenen kayma modülü ve sönüm oranı değiştirilmektedir. Aşağıda bu yöntemin işlem adımları özet olarak verilmiştir.

- Her zaman adımı başlangıcında her tabaka için hız (v) ve toplam yer değiştirme (u) bilinir.
- Her tabaka için yer değiştirme (u) kullanılarak kayma birim deformasyonu bulunur.
- Her tabakanın kayma gerilmesi yükleme boşaltma kriterleri dikkate alınarak gerilme birim deformasyon ilişkisinden bulunur.
- Küçük zaman artışlarıyla entegre edilen sistemde bir sonraki zaman artışı anında ($t+\Delta t$) tabakaların yer değiştirme, hız ve ivme değerleri belirlenir. Son zaman adımındaki tepki hesaplanana kadar bu işlemler tekrar edilir.

3.3. Deepsoil Programı ile Bir Boyutlu Dinamik Analizler

Deepsoil, Prof. Y.M.A. Hashash ve öğrencilerinin birlikte geliştirdiği C++ tabanlı bir boyutlu saha tepki analiz programıdır. Program frekans veya zaman tanım alanında doğrusal analiz, frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal analiz ve boşluk suyu basıncı oluşturulabilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile gerçek deprem kayıtlarını kullanarak zeminin sismik dinamik davranış analizini yapabilmektedir. Bu çalışmada bir boyutlu dinamik tepki analizleri Deepsoil V7.0 programı ile yapılmıştır.

Zeminin SPT-N, rölatif sıkılık, plastisite indisi gibi geoteknik parametrelerini belirlemede bölgede daha önceden yapılmış olan sondaj çalışmaları verileri kullanılmaktadır.

3.3.1. Deepsoil ile frekans alanında doğrusal dinamik tepki analizi

İlk adımda analiz türü ve tanım alanı seçildikten sonra ikinci adımda tabaka kalınlıkları, her tabakanın birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı girilerek zemin profili oluşturulmaktadır. Analiz türünün seçimi Resim 3.1.' de ve oluşturulan zemin profili

Resim 3.2.' de gösterilmektedir. Örnek olarak doğrusal analizde her tabaka için sönüm oranı %5 alınmıştır. Yer altı su seviyesinin konumu bu aşamada girilmektedir. Örnek olarak Anakaya için elastik yarı-uzay seçilip birim hacim ağırlığı 19,62 kN/m³, kayma dalgası hızı 750 m/s, sönüm oranı %5 girilmiştir. Program bu adımda zemin profilinin doğal hâkim periyodunu hesaplamakta ve eksik bilgi olduğunda uyarı vermektedir. Üçüncü adımda analizde kullanılacak deprem hareketi Şekil 3.3. 'te gösterildiği gibi seçilmektedir. Programın veri tabanında bulunan depremler seçilebileceği gibi programa herhangi bir depremin ivme zaman kayıtları yüklenerek de eklenebilmektedir.

Analysis Type Definition

Analysis Method: Linear

Solution Type: Frequency Domain

Default Soil Model: DS-FLO

Automatic Profile Generation: Off

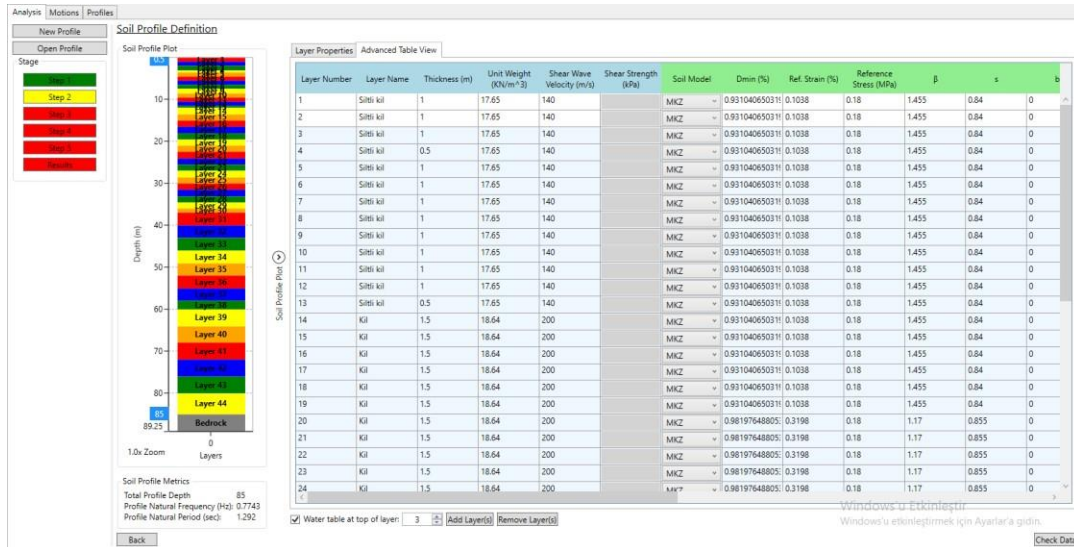
Unit System: Metric

Complementary Analyses:

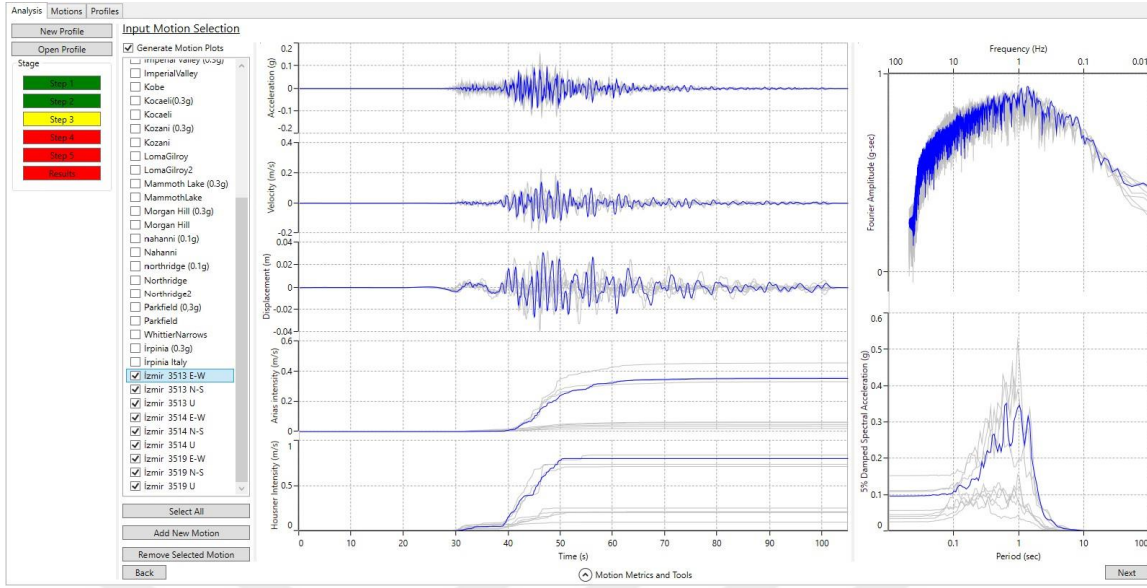
- ☒ Equivalent Linear - Frequency Domain
- ☐ Linear - Frequency Domain (Under development)
- ☐ Linear - Time Domain (Under development)

Analysis Tag: DS-FLO

Resim 3.1. Analiz türü seçimi



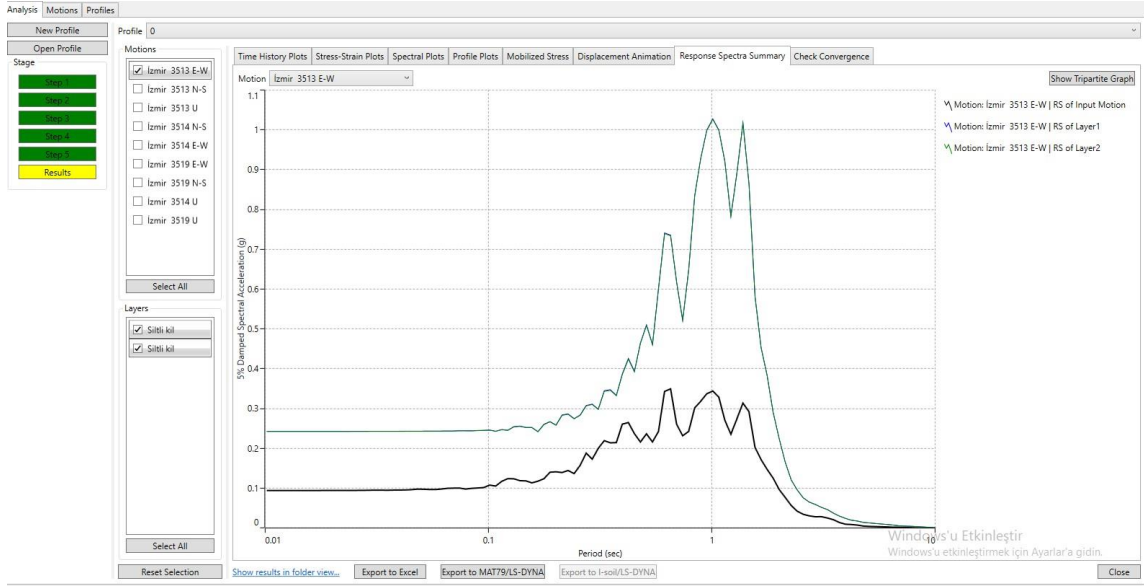
Resim 3.2. Zemin profili tanımlanması



Resim 3.3. Deprem hareketi seçimi

Son adımda iterasyon sayısı, efektif kayma gerilmesi oranı (SSR), kompleks kayma modülü (G^*) ve çıktıların istendiği tabakalar Şekil 3.4. 'teki şekilde seçilmektedir. Analiz tamamlandıktan sonra her tabaka ve her deprem için analiz sonuçları grafikler halinde incelenebilir (Resim 3.5.). Ayrıca tüm sonuçlar excel dosyasına aktarılabilir.

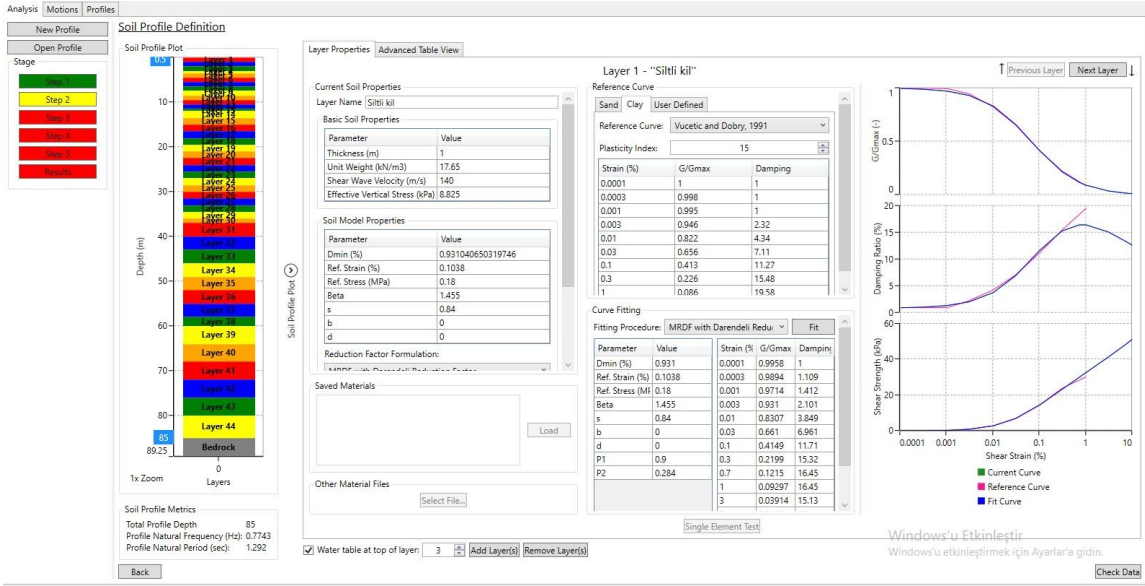
Resim 3.4. Analizin son adımı



Resim 3.5. Analiz sonucu

3.3.2. Deepsoil ile frekans alanında eşdeğer doğrusal dinamik tepki analizi

Eşdeğer doğrusal analiz frekans tanım alanında yapılmaktadır. Doğrusal analizden farklı olarak bu adımda zemin modeli basınca bağlı hiperbolik model MKZ (Modifiye Kondner-Zelasko Modeli) seçilmiştir. Bu model Kondner ve Zelasko tarafından 1963'te geliştirilmiş basınca bağlı hiperbolik bir modeldir. 1993'te Matasovic tarafından modifiye edilerek omurga eğrisinin şeklini ayarlayan β ve s parametreleri eklenmiştir. İkinci adımda tabakalara ait birim hacim ağırlıkları, tabaka kalınlıkları, kayma dalgası hızları girilmiştir. Ayrıca zeminin dinamik yükler altındaki gerilme şekil değiştirme davranışını yansıtacak kayma modülü azalım ve sönüm oranı artım eğrileri malzeme türüne ve eldeki parametrelere göre programda mevcut referans eğrilerden seçilmektedir. Kıl zeminler için plastisite indisi gerektiren Vucetic ve Dobry (1991), kum zeminler için ise rölatif sıkılığı düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandıran Seed ve Idriss (1970) eğrileri kullanılmaktadır. (Resim 3.6.). Bu eğriler 'Use Fit' butonu ile zemin tabakalarına uydurularak eğrilerin davranışı referans alınmaktadır. Anakaya özellikleri doğrusal analiz ile aynı şekilde girildikten sonra üçüncü adıma geçilir.



Resim 3.6. Kayma modülü ve sönüm oranı eğrilerinin seçimi

Deprem kayıtları seçildikten sonra son adımda iterasyon sayısı, efektif kayma gerilmesi oranı SSR, kompleks kayma modülü G^* , analizi istenen tabakalar seçilerek analiz yapılır. Her deprem kaydı için seçilen tabakalarda ivme, hız, yer değiştirme, Arias yoğunluğu ve spektral ivme grafikleri gibi birçok parametre grafikler halinde gösterilmektedir. Programdan elde edilen sonuçlar excel ortamında da görüntülenebilmektedir.

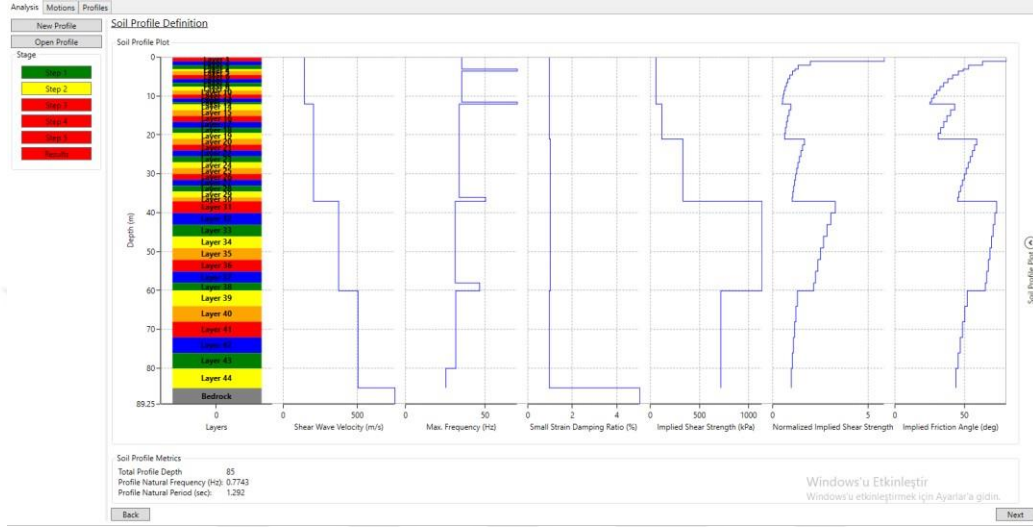
3.3.3. Deepsoil ile zaman alanında doğrusal olmayan dinamik tepki analizi

Deepsoil programında doğrusal olmayan analiz sadece zaman tanım alanında yapılabilmektedir. Analiz türü ve çözüm yöntemi doğrusal olmayan ve zaman alanında olmak üzere seçildikten sonra zemin modeli basınca bağlı hiperbolik model MKZ olarak seçilip ikinci adıma geçilir. Zemin tabakalarının kalınlıkları, birim hacim ağırlıkları ve kayma dalgası hızları girilir. Eşdeğer doğrusal analizde olduğu gibi her tabakaya ait kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri kum zeminler için Seed ve Idriss (1970) kil zeminler için Vucetic ve Dobry (1991) tarafından önerilen referans eğrileri kullanılarak tanımlanır. Deepsoil programı tarafından sadece zaman alanında yapılan analizler için kontrol amaçlı maksimum frekansın 30'un altına düşmemesi önerilmektedir. Bu kontrol için (3.2.) numaralı denklem kullanılarak frekans değeri 30'dan büyük olacak şekilde zemin tabakaları küçük kalınlıklar şeklinde girilmelidir (Resim 3.7.).

$$f = V_s / 4H \quad (3.2.)$$

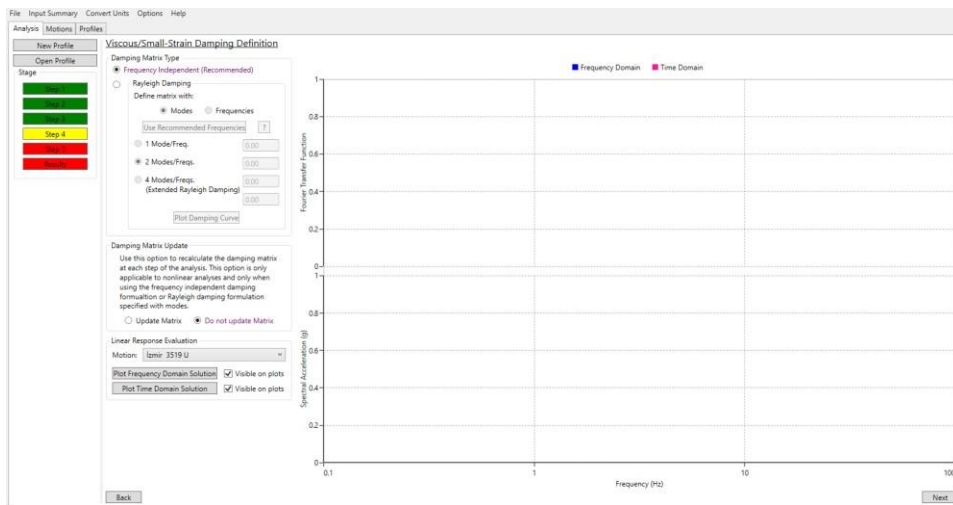
Vs: kayma dalgası hızı

H: tabaka kalınlığı



Resim 3.7. Zemin tabakalarına göre maksimum frekans değişimi

Anakaya özellikleri elastik anakaya olarak girilip üçüncü adıma geçilir. Frekans alanında doğrusal ve eşdeğer doğrusal analizlerde olmayan dördüncü adımda viskoz sönümlleme matrisi kullanıcı tarafından frekanstan bağımsız (program tarafından önerilen) ya da Rayleigh sönümllemesine bağlı olarak seçilebilmektedir (Resim 3.8.).



Resim 3.8. Viskoz sönümlleme matrisinin girilmesi

Beşinci adımda zaman tanım alanında yapılan analizler için adım kontrolünde gerilme artışının nasıl yapılacağı seçilir. Gerilme artışının maksimum değeri için ‘flexible’ kaç adımda artış yapılacağını değeri ‘fixed’ kısmına girilmektedir. Bu kısımda ‘flexible’ değeri programın önerdiği % 0,005 alınmıştır. Program sadece flexible seçildiğinde ara değerleri hesaplamakta ve bunun için doğrusal enterpolasyon (‘linear interpolation’) metodu seçilebilir.. Ayrıca küçük zaman adımı artışlarında hareket denkleminin integrasyonu için Newmark Beta Metodu sabit ortalama ivme yöntemi seçilebilir. Resim 3.9. ’da gösterildiği gibi analizi istenen zemin tabakaları da seçildikten sonra analiz yapılır.

Analysis Control Definition

Frequency Domain

Number of iterations: 15

Effective Shear Strain Definition: $SSR = \frac{M_u}{10}$

Effective Shear Strain Ratio (SSR): 0.65

Complex Shear Modulus Formulation

☒ Frequency Independent (Recommended)

$G^* = G(1 + 2iQ)$

☐ Frequency Dependent (Use with Caution)

$G^* = G(1 - 2\xi^2 + 2i\xi(1 - \xi^2))$

☐ Simplified

$G^* = G(1 - \xi^2 + 2i\xi)$

Time Domain

Step Control: ☒ Flexible ☐ Fixed

Maximum Strain Increment (%): 0.005

Number of Sub-increments: 1

Integration Scheme

☒ Implicit: Newmark Beta Method ($\beta=0.25, \gamma=0.5$)

☐ Explicit: Heun's Method ($P(EC)^n + E$)

Time-history Interpolation Method

☒ Linear in time domain

☐ Zero-padded in frequency-domain

Output Settings

Layers:

☐ Surface Only

☐ All Layers

☐ At Specific Depth

☒ At Specific Layers

Profile 1

Layer #	Layer Name	Want Output
1	KUM	☒
2	KIL	☒
3	KIL	☒
4	KIL	☐
5	KIL	☐
6	KIL	☐
7	KIL	☐
8	KIL	☐
9	KIL	☐

Bedrock: ☐ Output deconvolution result at top of rock

Displacement Animation

☒ Output displacement animation. (Warning: Generating the displacement animation will slow down the speed of analysis)

Back Analyze

Resim 3.9. Analiz kontrol parametrelerinin girilmesi

Analiz tamamlandıktan sonra her tabaka ve her deprem kaydı için analiz sonuçları grafikler halinde verilmektedir. Doğrusal olmayan analizde diğer analiz türlerinde olmayan bir şekilde sonuçlar eşdeğer doğrusal analiz sonuçları ile birlikte verilmektedir. Çünkü Deepsoil programı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapıldığında sonuçların mutlaka eşdeğer doğrusal analiz sonuçları ile karşılaştırılmasını önermektedir. Elde edilen sonuçlar excel ortamına aktarılarak daha rahat bir şekilde incelenebilir.

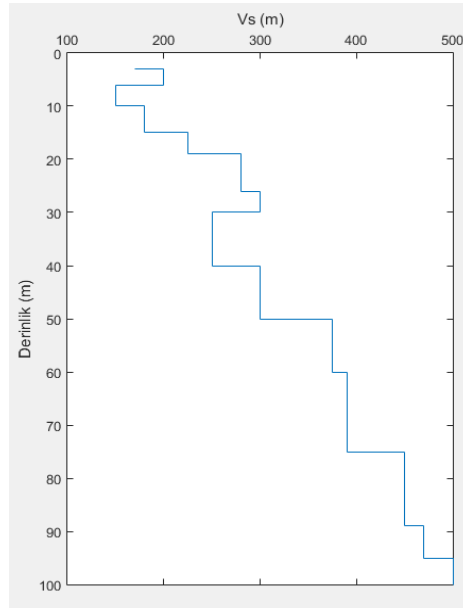
4. SİSAM DEPREMİ ETKİSİNDE OLUŞAN ZEMİN BÜYÜTMELERİ

30 Ekim 2020 günü meydana gelen ve merkez üssü Sisam adası açıklarında olan ve Seferihisar' a 23 km mesafede olan 6,6 M_w büyüklüğündeki deprem, merkez üssünden 70 km uzakta bulunan Bayraklı ilçesinde belirli bir bölgede yıkımlara ve büyük hasarlara yol açmıştır. Bu bölgede hasarın yoğunlaşmasının temel nedeni olarak bölgenin zemin yapısı ve basen etkisi gösterilebilir.

Tezin bu bölümünde bu bölgedeki zemin profilleri dikkate alınarak tek boyutlu zemin tepki analizleri Deepsoil programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir

4.1. Sisam Depremi İçin Yapılan Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

30 Ekim 2020 Sisam depreminde hasar alan yapıların Bayraklı bölgesinde yoğunlaşması nedeniyle Bayraklı' da bulunan Afad' ın 3513 nolu istasyonunun üzerine kurulduğu zemin literatürde yapılmış çalışmalar baz alınarak modellenmiştir (Cetin ve diğerleri 2022). 100 metre derinliğine sahip zemin profili kum, kil ve silt tabakalardan oluşmaktadır. C (Eurocode 8) ve ZD (TBDY 2018) zemin sınıfına sahip olan profilin doğal periyodu 1,342 saniyedir. Tabakalara ait kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi Şekil 4.1.' de gösterilmiştir. Analizlerde ana kaya kayma dalgası hızı 1600 m/s, birim hacim ağırlığı 20 kN/m³, sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmıştır.

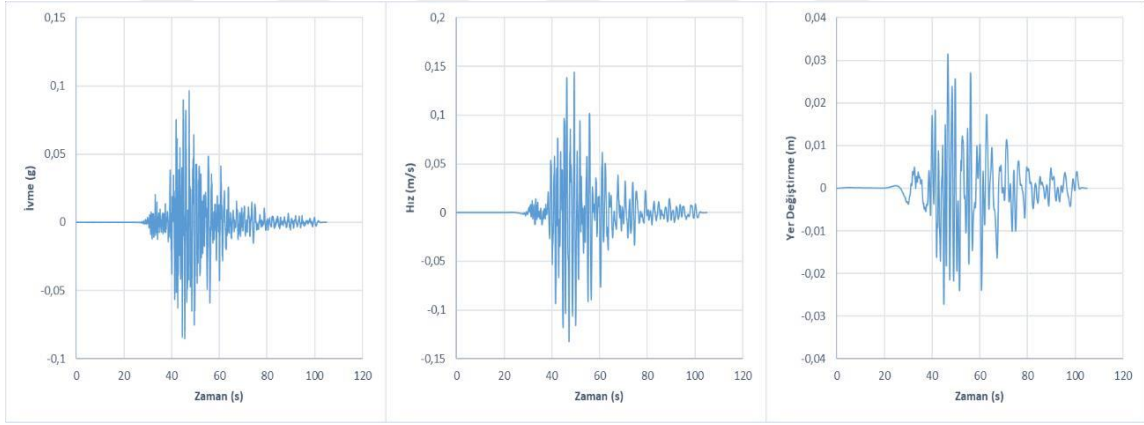


Şekil 4.1. 3513 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi

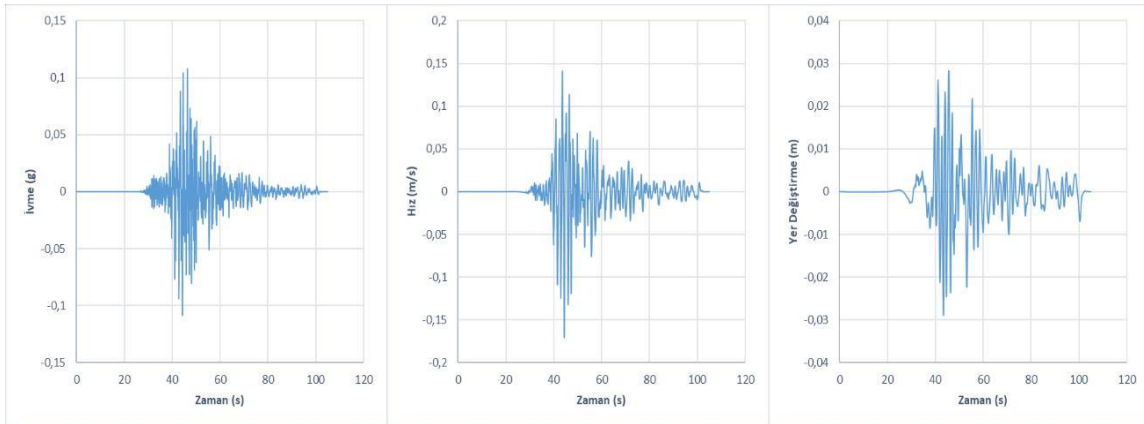
4.2. Sisam Depremi İçin Dikkate Alınan Deprem Kayıtları

30 Ekim 2020 tarihli ve 6,6 M_w büyüklüğündeki Sisam depremi verileri İzmir Bayraklı’da bulunan deprem istasyonundan Afad’ın TADAS sistemi üzerinden alınmıştır. Depremi etkili olduğu bölgeye yakın 3513 nolu ve 3528 nolu istasyonlardan alınan doğu-batı ve kuzey-güney doğrultulu deprem kayıtları analizlerde kullanılmıştır.

3513 nolu istasyon Bayraklı ilçesinde derin alüvyal tabakalardan oluşan morfoloji sınıfı hafif eğimli akarsu ve kıyı ovası olarak geçen bölgededir. Eurocode8 C sınıfında olan bu zemin derin birikintilerin oluşturduğu kalın yumuşak tabakalı özelliktedir. İvme ve hız değerleri kuzey-güney yönlü kayıtlarda daha fazla iken yer değiştirme değeri doğu-batı yönlü kayıtlarda daha yüksektir. 3513 nolu istasyona ait doğu-batı ve kuzey-güney yönlü deprem kayıtlarına ait grafikler Şekil 4.2. ve Şekil 4.3. ‘de sunulmuştur.

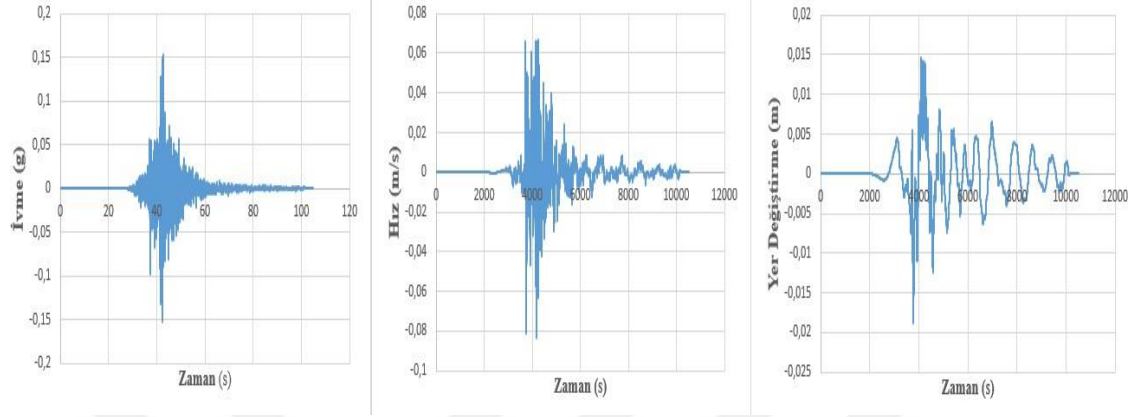


Şekil 4.2. 3513 nolu istasyonun doğu- batı yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri

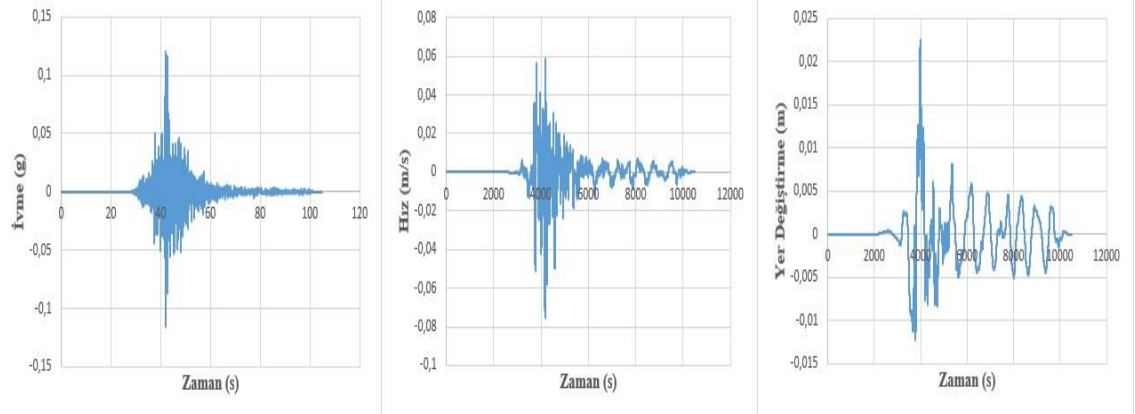


Şekil 4.3. 3513 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri

3528 nolu istasyon Çeşme’ de sağlam zemin üzerinde tuf kayalardan oluşan bölgededir. Eurocedo 8’ e göre B ve TBDY 2018 ‘e göre ZC zemin sınıfına sahiptir. 3528 nolu istasyona ait doğu-batı ve kuzey-yönlü kayıtların grafikleri Şekil 4.4. ve 4.5. ‘de verilmiştir.



Şekil 4.4. 3528 nolu istasyonun doğu-batı yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri



Şekil 4.5. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü ivme, hız, yer değiştirme zaman grafikleri

4.3 Sisam Depremi İçin Yapılan Analiz Sonuçları

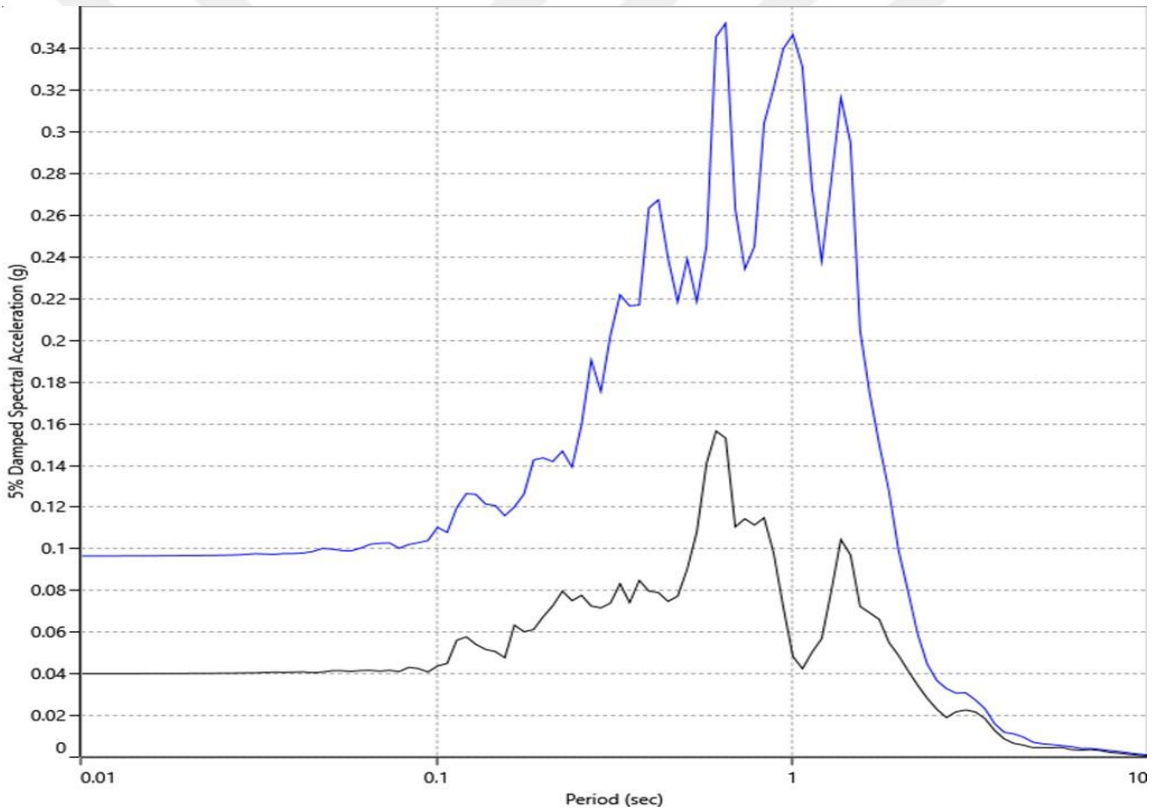
4.3.1. Dekonvolüsyon işlemi uygulanarak yapılan analiz sonuçları

3513 nolu istasyonun kurulduğu zemin profili için yapılan doğrusal ve eşdeğer doğrusal analizlerde dekonvolüsyon işlemi uygulanmıştır. Bu zemin profilinin zemin hâkim

periyodu 1,342 s olduğundan büyütme oranı yaşadığı periyot aralıkları dikkatle incelenmiştir.

Doğrusal analiz sonuçları

3513 nolu istasyona ait zemin profilinde bu istasyon tarafından kaydedilen doğu-batı yönündeki yer hareketi etkisi altında yapılan analiz sonucu en yüksek spektral ivme 0,6431 s periyodunda 0,3523 g olarak kaydedilmiştir. Ana kayada aynı periyotta ivme değeri 0,1534 g olduğundan büyütme oranı 2,3' tür. 0,9936 s periyodunda 0,3468 g yüzey spektral ivmesine karşılık 0,0487 g ana kaya ivmesi ile büyütme oranı 7,1 'e yükselmiştir. Zeminin doğal periyoduna yakın 1,3557 s periyodunda ise Şekil 4.6. 'da görüldüğü gibi spektral ivme bir pik daha yaparak 0,3165 g değeri ile 3 katı büyütmeye uğramıştır.



Şekil 4.6. 3513 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Kuzey-güney yönlü kayıtlar altında yapılan analiz sonucu ise 0,3676 s periyodunda 0,1190 g olan ana kaya spektral ivmesi yüzeyde 2,88 oranında büyütülerek 0,3422 g olmuştur. 0,4713 s periyodunda ise büyütme oranı 3,03 olarak hesaplanmıştır. 1,4427 s periyodunda ana kayada 0,1206 g olan spektral ivme değeri yüzeyde 0,3363 g ye ulaşarak 2,79 oranında büyümüştür.

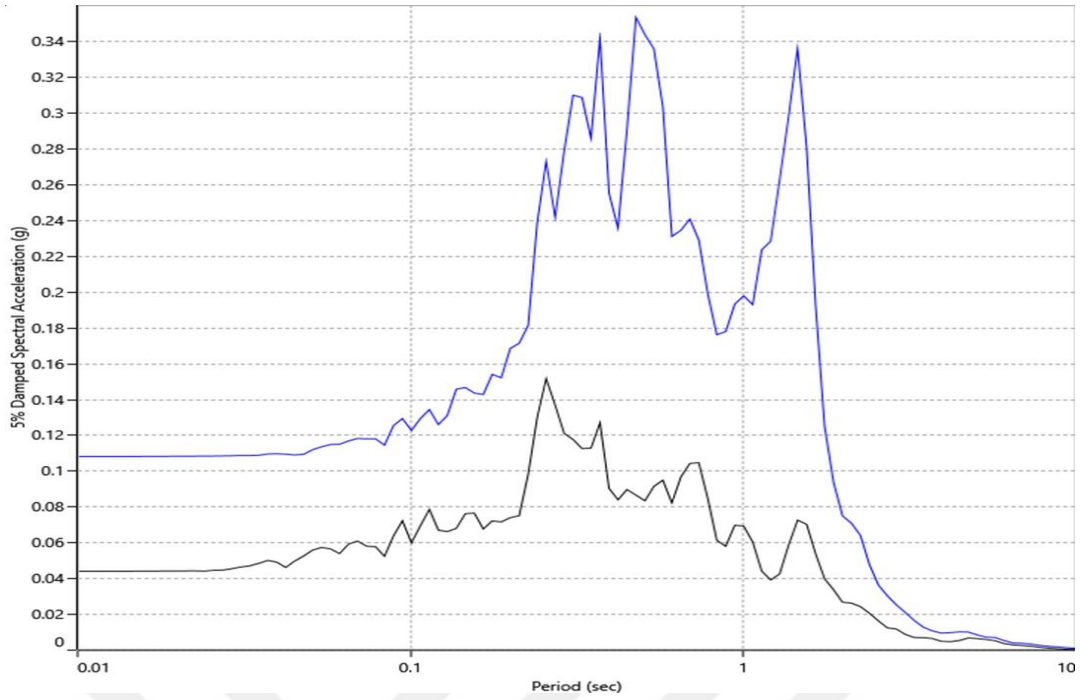
Doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde büyütmelerin 0,5-1,5 s periyotları arasında yaşandığı görülmektedir. 7,1' lik büyütme dışında büyütme oranları 2-4,5 aralığındadır. Periyot uzadıkça ana kayada spektral ivme azalsa bile özellikle zemin doğal periyoduna yakın periyotlarda yüzey ivmesinin azalmadığı ve büyütmenin yaşandığı görülmüştür.

Eşdeğer analiz sonuçları

3513 nolu istasyona ait zemin profili için bu istasyonda kaydedilen Sisam depreminin doğu-batı yönlü ivme bileşeni için yapılan eşdeğer doğrusal analiz sonucu spektral ivmeler için en yüksek büyütmeler 0,6431 s periyodunda 2,39, 0,9936 sn periyodu için 3,64 ve 1,3557 sn periyodu için 5,11 olarak kaydedilmiştir.

Sisam depreminin kuzey-güney yönlü ivme bileşeni kullanılarak yapılan analizlerde ise ana kaya ivmesinin 0,3 s periyodundan sonra düşüşe geçtiği görülmektedir. Buna karşın 0,3676 s periyodunda 0,1274 g olan ana kaya ivmesi yüzeyde 0,3422 g olmuştur. Bu da 2,69 oranında bir büyütmeyle karşı gelmektedir. Yüzeyde en yüksek ivmenin 0,3537 g ile kaydedildiği 0,4713 s periyodunda ise ana kayadaki ivme 0,0870 g olarak kaydedilmiş ve sonuç olarak bu periyotta 4,07 oranında bir büyütme hesaplanmıştır. Şekil 4.7.' de görülen grafik incelendiğinde yüzeyde giderek azalan spektral ivmenin 1,4427 s periyodunda ani bir yükselişle 0,3363 g ye ulaştığı görülmektedir. Bu periyotta ana kayada ivme 0,0730 g seviyesinde olduğundan bu periyot için 4,61 oranında büyütme belirlenmiştir.

Eşdeğer analiz sonuçları incelendiğinde büyütmelerin 0,5-1,5 s periyot aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Büyütme oranları 2 ile 5 arasında değişmektedir. Zemin doğal periyoduna yakın periyotlarda büyütme oranlarının arttığı ve ana kaya ivmesinde düşüş yaşansa bile yüzeyde bu çakışan periyotlarda ivmelerin yüksek seyrettiği görülmüştür. Bu zeminin doğal periyodunda deprem dalgalarının zemin tarafından büyütmeyle uğratarak deprem etkisini arttırdığını göstermektedir. Eşdeğer analiz sonuçları doğrusal analiz ile karşılaştırıldığında eşdeğer analizde 1 sn' den uzun periyotlarda büyütme oranlarında artış gözlenmektedir. 1 sn 'den kısa periyotlarda ise büyütmelerin zaman zaman arttığı zaman zamanda azaldığı saptanmıştır. İki analiz türünde de büyütme değerleri arasında büyük farklar olmamakla beraber periyot içeriğinde eşdeğer analizin yüksek periyotlarda daha etkin ve yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. 3513 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

En yüksek ivme (PGA) değerleri incelendiğinde bunların 0,03-0,1 g aralığında değiştiği görülmektedir. Pik yer değiştirme (PGD) değerleri ise 0,01-0,03 metre arasında değişmektedir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının alındığı istasyona göre bu değerler Çizelge 4.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

TK 3513	PGA (g)	PGD (m)
3513 D-B	0,0963	0,0314
3513 K-G	0,1079	0,0288

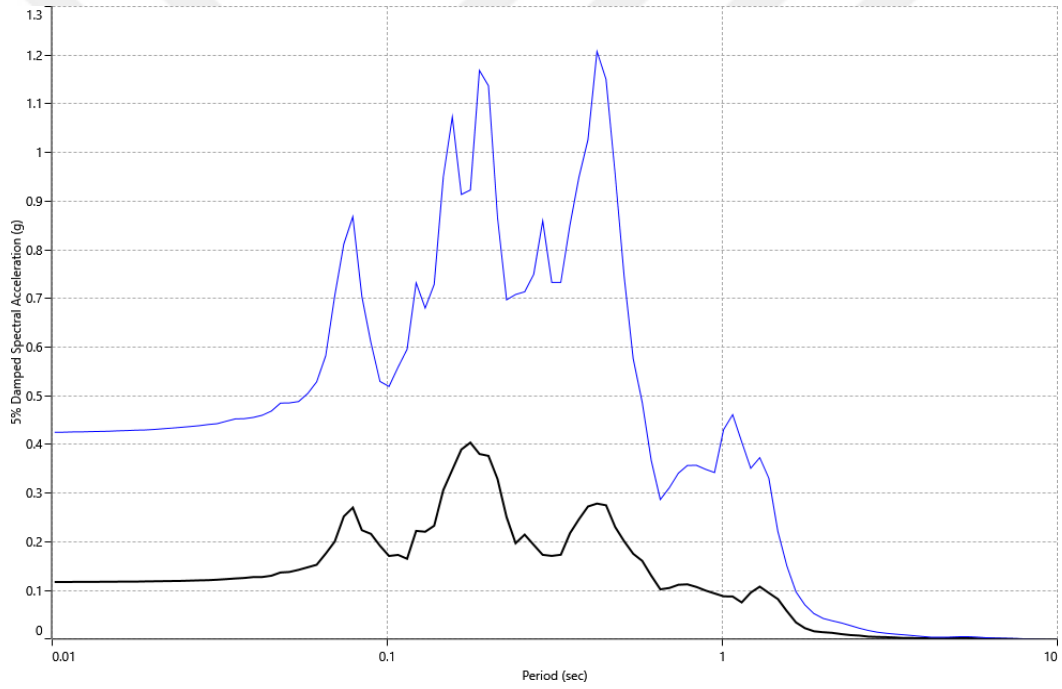
4.3.2. Dekonvolüsyon işlemi uygulanmadan yapılan analiz sonuçları

3513 nolu istasyonun bulunduğu zemine ait verilerle oluşturulan profil üzerinde 3528 nolu istasyonun yatay yönlü deprem kayıtları kullanılarak zemin tepki analizleri yapılmıştır. Bu zemin profilinin hâkim periyodu 1,342 s 'dir. Frekans alanında doğrusal, eşdeğer doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının detayları aşağıda verilmiştir.

Doğrusal analiz sonuçları

3528 nolu istasyonun doğu-batı yönlü ivme kayıtları ile yapılan doğrusal analiz sonuçlarından 0,2532 s periyodunda büyütme oranı 2,44 olarak hesaplanmıştır. Spektral ivme (PSA) 0,4162 s periyodunda 2,2551 g ile en yüksek değerine ulaşmış olup bu periyotta büyütme değeri 4,43 olarak bulunmuştur. 0,9337 s periyodunda ise büyütme oranı 3,69 olmuştur.

Kuzey-güney yönlü kayıtların kullanılmasıyla spektral ivme grafiğinde büyütmelerin hâkim olduğu ve 0,1855 s periyodunda 3,05 oranında büyütme olduğu Şekil 4.8. 'de görülmektedir. 0,4162 s periyodunda büyütme değeri 4,3 olurken 1,0573 s periyodunda en büyük büyütme oranı 5,12 olarak elde edilmiştir.



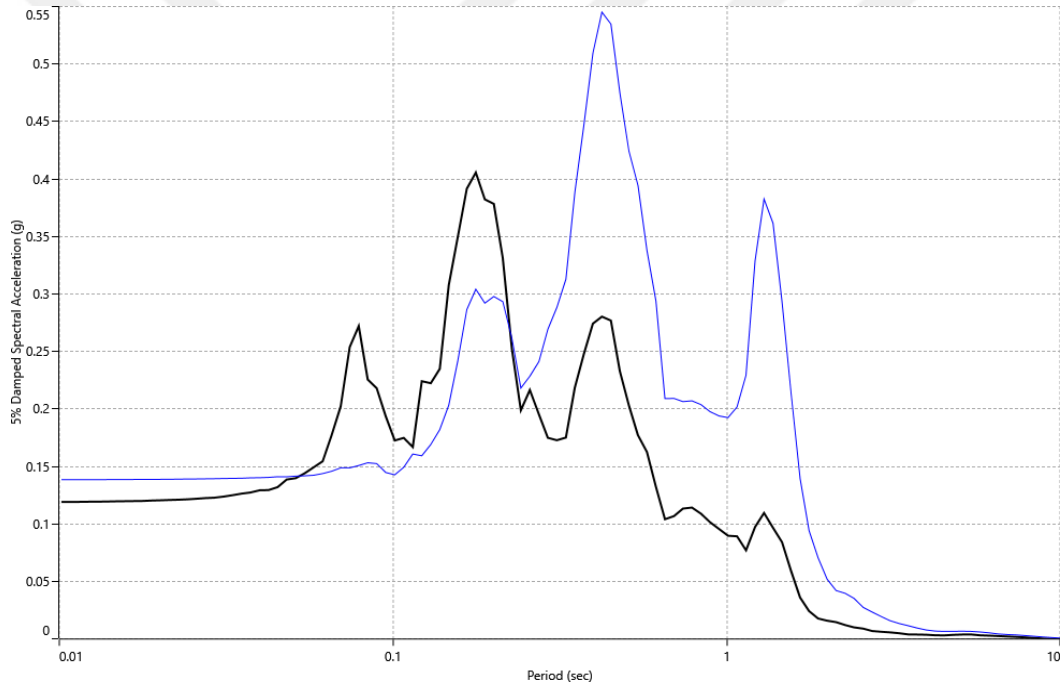
Şekil 4.8. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

PGA değerleri 0,4-0,5 g aralığında olmuştur. En yüksek yer değiştirme değerleri ise zemin yüzeyinde gerçekleşmiş olup bu değerler 0,02-0,03 m arasında değişmektedir. Doğrusal analiz sonucuna göre spektral ivme grafiklerinin tamamında büyütme hâkim olmuştur. 0,1-1,2 s periyotları arasında 2 ile 5 oranlarında büyütmeler yaşanmıştır.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

3528 nolu istasyonun doğu-batı yönlü ivme kayıtları ile yapılan analiz sonucunda çok düşük periyotlarda sönümleme görülmüştür. 0,4162 s periyodunda 1,77 oranında olan büyütme 0,9337 s periyodunda 1,88 olarak hesaplanmıştır. Periyot uzadıkça büyütme oranı da artmıştır. 1,2740 s periyodunda büyütme değeri 3,26 olarak belirlenmiştir.

Kuzey-güney yönlü kayıtlar kullanılarak yapılan analizler sonucunda kısa periyotlarda sönümleme görülmüştür. Örneğin 0,1743 s periyodunda 1,33 oranında sönümleme yaşanmış devamında büyütme hâkim olmuştur. Şekil 4.9. 'da görüldüğü gibi 0,4162 s periyodunda 1,94 oranında büyütme saptanmıştır. 1,2740 s periyodunda ana kayada 0,1110 g olan spektral ivme 3,46 kat büyüterek yüzeye 0,3840 g olarak çıkmıştır.



Şekil 4.9. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

En yüksek ivme değerleri (PGA) 0,1-0,2 g arasında değişirken en yüksek yer değiştirme değerleri 0,02-0,03 m arasında değerler almıştır. Eşdeğer doğrusal analiz sonucuna göre 0,3 s periyoduna kadar spektral ivme grafiğinde kimi yerlerde sönümleme görülmüş ancak zeminin hareketine genel olarak büyütme hâkim olmuştur. 0,4-1,5 s periyotları arasında 1 ile 4 arasında büyütme oranları hesaplanmıştır.

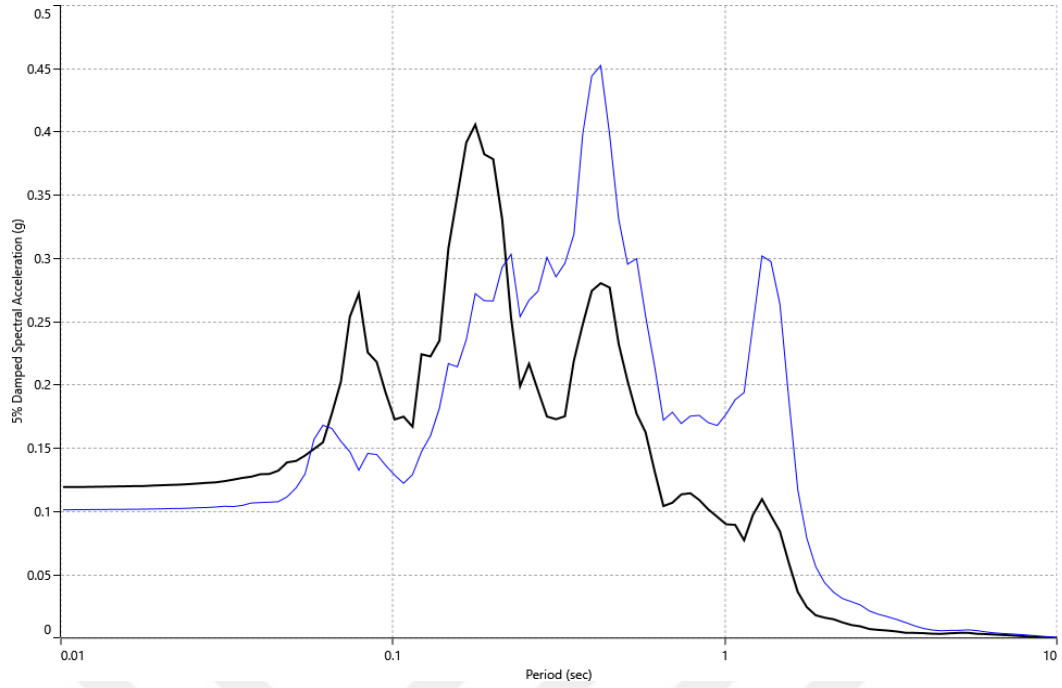
Doğrusal olmayan analiz sonucu

3528 nolu istasyonda kaydedilen doğu-batı yönlü kayıtlar kullanılarak yapılan analiz sonucunda 0,2532 s periyodunda 1,26 oranında sönümlleme tespit edilmiştir. 0,4162 s periyodunda PSA en yüksek değerine 0,8872 g ile ulaşmıştır. Bu periyotta ana kayada ivme 0,5096 g olduğundan büyütme oranı 1,74 olarak belirlenmiştir. 1,2740 s periyoduna gelindiğine yüzeyde daha düşük spektral ivme kaydedilmesine rağmen daha yüksek oranda büyütme değeri hesaplanmıştır. Bu periyotta yüzeyde spektral ivme 0,2115 g olup büyütme değeri 2,27 'dir.

Kuzey-güney yönlü hareket kayıtlarının analizinden ise Şekil 4.10. 'da görülebileceği gibi 0,2 s periyoduna kadar sönümlleme ağırlıktayken sonrasında yerini büyütme almıştır. 0,1743 s periyodunda 1,49 oranında sönümlleme ve 0,4162 s periyodunda 1,61 oranında büyütme saptanmıştır. 1,2740 s periyodunda ana kayada 0,1110 g olan spektral ivme yüzeyde 0,3033 g olmuştur. Dolayısıyla büyütme 2,73 olarak belirlenmiştir.

Doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre 0,01-0,2 s periyotlarında sönümlleme yaşanırken 0,2 s den uzun periyotlarda büyütme yaşanmıştır. Büyütme oranları 1 ile 3 arasında değişmektedir. En yüksek büyütme değerleri doğrusal analizde en düşük büyütme değerleri ise doğrusal olmayan analiz sonucunda hesaplanmıştır. Analiz türüyle birlikte yalnızca büyütme oranları değil aynı zamanda büyütme oranları yaşadığı periyot aralığı da değişmektedir. Doğrusal analizde 0,1-1,2 s periyotları arasında 2-5 oranlarında gerçekleşen büyütme eşdeğer analizde 0,4-1,5 s periyotları arasında 1-4 oranlarında, doğrusal olmayan analizde 0,2-1,5 s periyotları arasında 1-3 oranlarında gerçekleşmiştir. En yüksek ivme ve en büyük yer değiştirme değerleri analiz türüne göre karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.2. 'de verilmiştir.

Yukarıda detaylıca anlatılan spektral ivmeler ve periyotları aşağıda Çizelge 4.3. 'te topluca verilmiştir. Kırmızı ile gösterilen değerler deprem dalgalarının zemin yüzeyinde azaldığını yani sönümlendiğini göstermektedir.



Şekil 4.10. 3528 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal olmayan analiz)

Çizelge 4.2. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

3513 istasyonu zemin profili	PGA (g)			PGD (m)		
	Doğrusal	Eşdeğer doğrusal	Doğrusal olmayan	Doğrusal	Eşdeğer doğrusal	Doğrusal olmayan
3528 D-B	0,4825	0,2182	0,1812	0,0354	0,0338	0,0346
3528 K-G	0,4204	0,1397	0,1024	0,0296	0,0290	0,0262

Çizelge 4.3. Periyotlara göre maksimum spektral ivme (PSA) ve büyütme değerleri

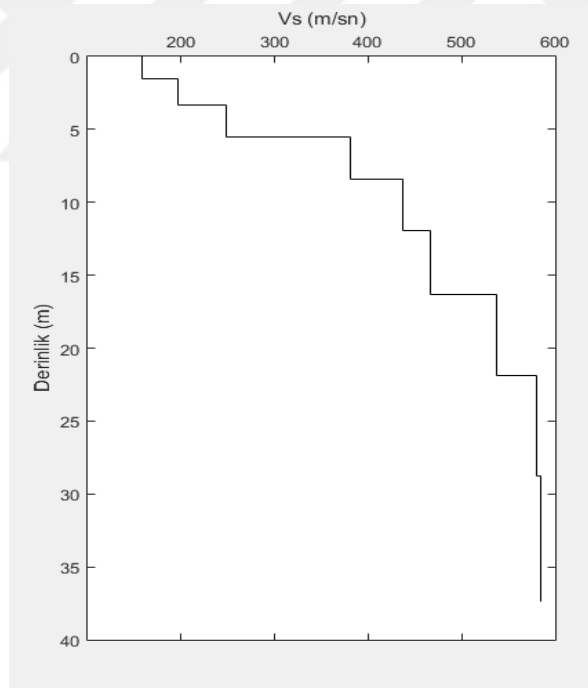
3513 zemin profili	Doğrusal Analiz			Eşdeğer Doğrusal Analiz			Doğrusal Olmayan Analiz		
	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme
3528 D-B	0,2532	1,7532	2,44	0,4162	0,9006	1,77	0,2532	0,5718	1,26
	0,4162	2,2551	4,43	0,9337	0,3195	1,88	0,4162	0,8872	1,74
	0,9337	0,6262	3,69	1,2740	0,3039	3,26	1,2740	0,2115	2,27
3528 K-G	0,1855	1,1719	3,05	0,1743	0,3056	1,33	0,1743	0,2734	1,49
	0,4162	1,2107	4,3	0,4162	0,5465	1,94	0,4162	0,4538	1,61
	1,0573	0,4644	5,12	1,2740	0,3840	3,46	1,2740	0,3033	2,73

5. PAZARCİK DEPREMİ ETKİSİNDE OLUŞAN ZEMİN BÜYÜTMELERİ

5.1. Pazarcık Depremi İçin Yapılan Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

Deprem istasyonlarına ait zemin profilleri AFAD' ın istasyonlarına ait raporlarından elde edilen bilgiler ile oluşturulmuştur. Her istasyona ait zemin profili için o istasyonun kaydettiği deprem verileri kullanılarak analizler yapılmıştır.

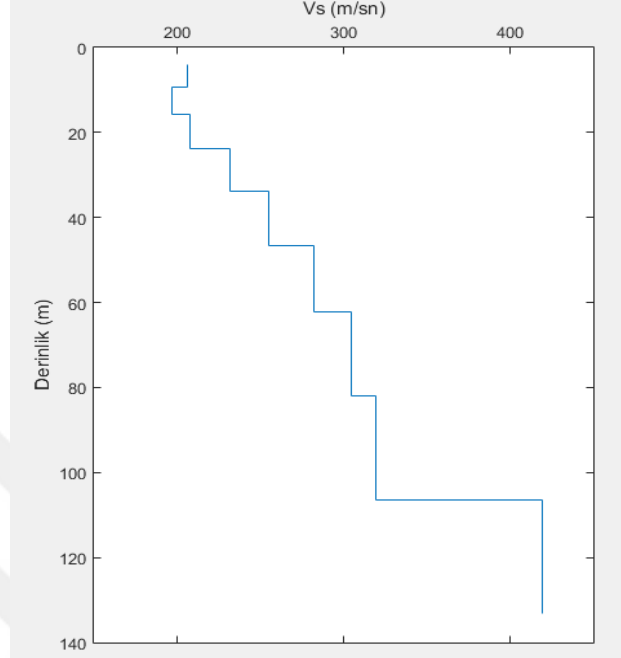
Pazarcık depremindeki zemin büyütmelerinin araştırılması için öncelikle Adıyaman il merkezinde bulunan 0201 nolu istasyonun kurulu olduğu zemin profili oluşturulmuştur. 37 metre derinliğe sahip zemin profili Eurocode B (2018 TBDY ZC) zemin sınıfına sahiptir. Birim hacim ağırlığı zemin tabakalarında 18 kN/m^3 olarak alınırken ana kayada ise 20 kN/m^3 alınmıştır. Tabakaların kayma dalgası hızları Şekil 5.1.' de verilmiştir. Ana kayada kayma dalgası hızı 700 m/s , sönüm oranı %5 olup elastik yarı uzay kabulü yapılmıştır. Zemin profilinin doğal periyodu $0,358 \text{ s}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. 0201 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi

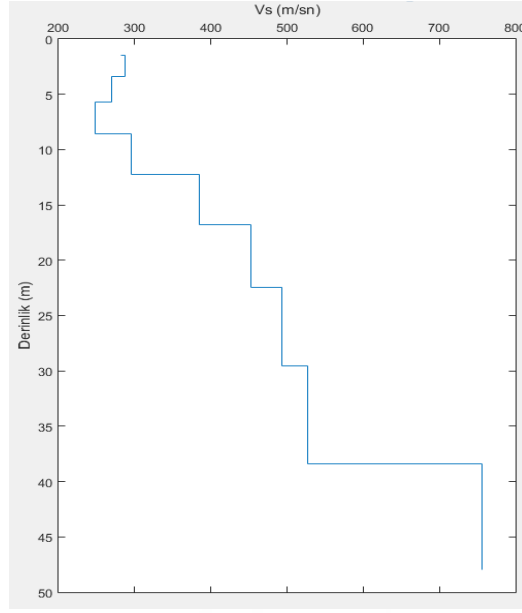
İskenderun' da bulunan 3114 nolu istasyonun kurulu olduğu zemin 130 metre derinlikte modellenmiştir. Eurocode C zemin sınıfına (2018 TBDY ZD) sahip olan bu profil oluşturulurken zemin tabakalarına ait kayma dalgası hızları Şekil 5.2' deki gibi alınırken

birim hacim ağırlığı ise 18 kN/m^3 olarak alınmıştır. Ana kayada kayma dalgası hızı 450 m/s , birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 , sönüm oranı ise %5 olarak belirlenmiştir. Zemin profilinin doğal periyodu $1,886$ saniyedir.



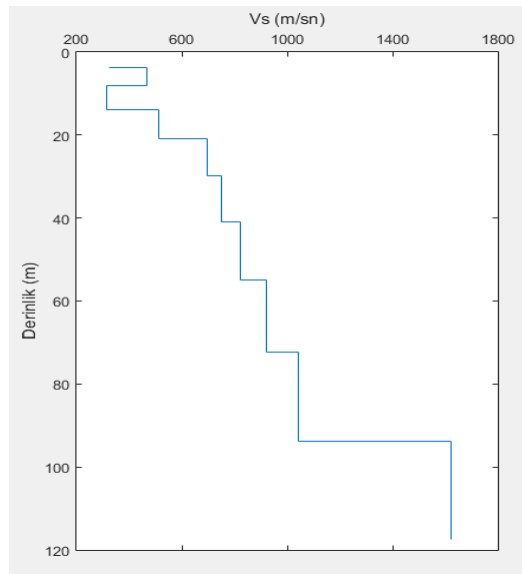
Şekil 5.2. 3114 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi

3126 nolu istasyonun Antakya’ da kurulu olduğu zemin ise 48 metre derinlikte modellenmiştir. Eurocode C (2018 TBDY ZD) zemin sınıfına dahil bu zemin profilinin tabaklarına ait kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimleri Şekil 5.3. ‘te verilmiştir. Birim hacim ağırlığı ise tüm tabakalarda 18 kN/m^3 alınmıştır. Ana kayada kayma dalgası hızı 600 m/s , birim hacim ağırlık 20 kN/m^3 , sönüm oranı %5 olarak alınmış ve ortam elastik yarı uzay halinde modellenmiştir. Zemin profilinin zemin hâkim periyodu $0,451 \text{ s}$ bulunmuştur.



Şekil 5.3. 3126 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi

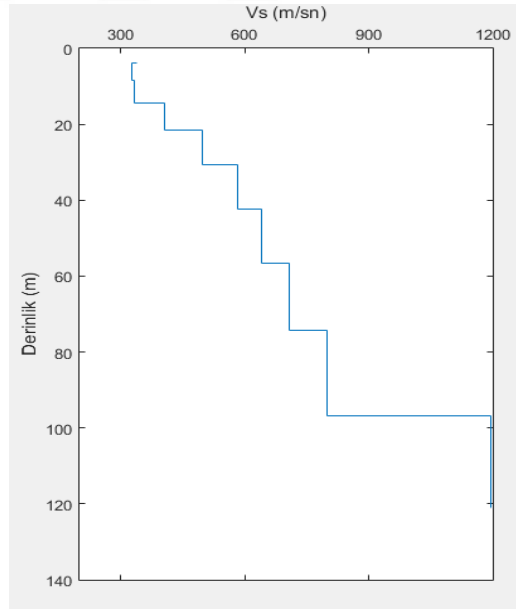
Kahramanmaraş' ta bulunan 4621 nolu istasyonun üzerine kurulduğu zemin 117 metre derinlikle modellenmiştir. Eurocode B zemin sınıfına (2018 TBDY 'e göre ZC zemin sınıfına karşı gelmektedir) sahip profile ait kayma dalgası hızlarının derinliğe bağlı değişimi Şekil 5.4. 'de gösterilmiştir. Zemin tabakalarında birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 alınmıştır. Ana kaya elastik yarı uzay seçilip kayma dalgası hızı 1500 m/s , birim hacim ağırlık 20 kN/m^3 ve sönüm oranı %5 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan zemin profiline ait doğal periyot 0,601 saniyedir.



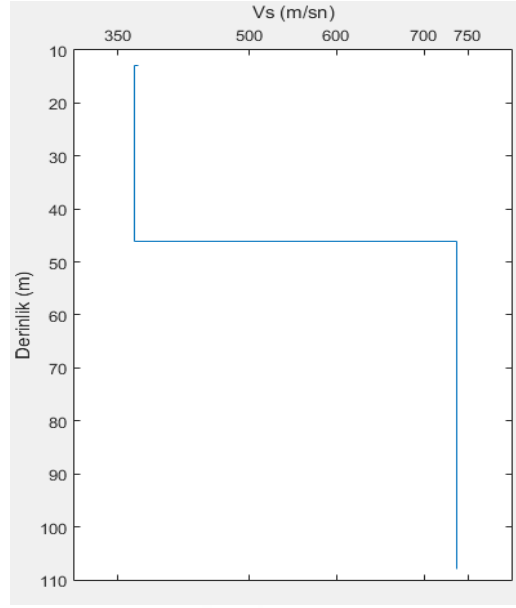
Şekil 5.4. 4621 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi

Antakya’ da kurulu 3129 nolu istasyonun üzerinde bulunduğu zemin 121 metre derinliğe kadar modellenmiştir. İstasyonun altındaki zemin Eurocode B (2018 TBDY2ne göre ZC zemin sınıfı) zemin sınıfına sahiptir. Zemin tabakalarında birim hacim ağırlık 18 kN/m^3 olup kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi Şekil 5.5. ‘de görülmektedir. Ana kayada ise kayma dalgası hızı 1000 m/s , birim hacim ağırlık 20 kN/m^3 , sönüm oranı %5 olup elastik yarı uzay kabulü yapılmıştır. Zemin profilinin doğal periyodu 0,780 saniyedir.

6 Şubat 2023 Pazarcık depreminde ağır hasar alan yerlerden olan Antakya için zemin profili literatürde yapılmış çalışmalara dayanarak oluşturulmuştur (Saban, 2010; Yayla, 2011). 108 metre derinliğindeki zemin modeli (NEHRP) C zemin sınıfına dahildir. Çok gevşek zemin tabakalarından oluşan profil 0,833 sn zemin hâkim periyoduna sahiptir. Zemin tabakalarında ve ana kayada birim hacim ağırlık $18,14 \text{ kN/m}^3$ olmuştur. Tabakalara ait kayma dalgası hızları Şekil 5.6. ‘da gösterilmiştir. Ana kaya elastik yarı uzay seçilerek kayma dalgası hızı 534 m/s sönüm oranı %5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.5. 3129 nolu istasyonun zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi



Şekil 5.6. Antakya zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı değişimi

Analizlerde kullanılan zemin profillerine ait zemin sınıflandırmaları ve üst 30 metrenin ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) Çizelge 5.1. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Zemin profillerine ait sınıflandırma

Zemin profilleri	Eurocode 8	2018 TBDY	$V_{s(30)}$ (m/s)
3513	C	ZD	212
0201	B	ZC	396
3114	C	ZD	209
3126	C	ZD	355
3129	B	ZC	447
4621	B	ZC	714
Antakya	B	ZC	370

5.2. Deprem Verilerinin Alındığı İstasyon Bilgileri

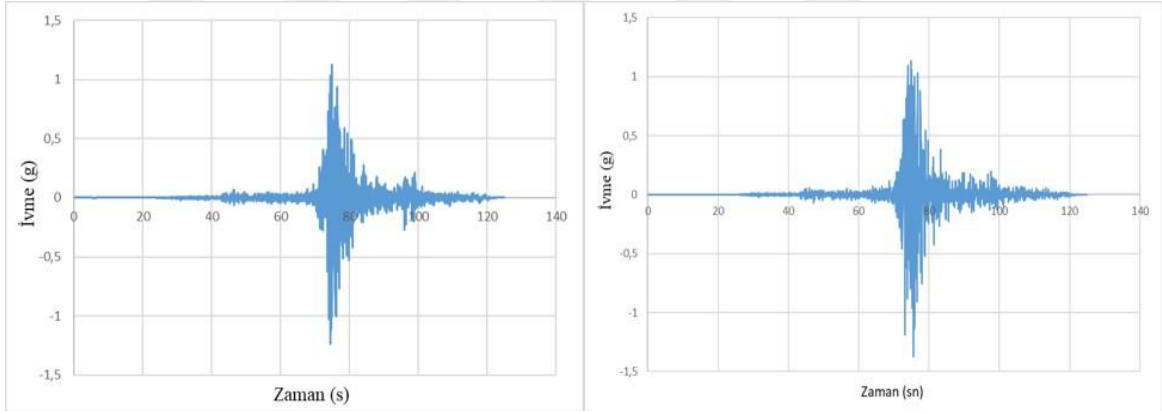
Kahramanmaraş Pazarcık depreminin etkisini anlayabilmek için farklı şehirlerde bulunan çeşitli deprem kayıt istasyonlarının bulundukları noktalardaki zeminler modellenerek bu

istasyonlar tarafından kaydedilen deprem verileri ile analizler yapılmıştır. Bu istasyonlar ve alınan deprem verileri kısaca açıklanmıştır.

3126 nolu istasyon Hatay'ın Antakya ilçesinde olup ayrılmamış kuvaterner zemin üzerine kuruludur. Yumuşak alüvyonel zemine sahip bu istasyonda doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki deprem kayıtlarında kaydedilen ivme değerleri 1 g 'nin üzerindedir.

3129 nolu istasyon Hatay'ın Defne ilçesinde karasal kırıntılılar olarak geçen birikintilerden oluşan kayaç zemin üzerine kuruludur. Bu istasyondaki ivme kayıtları Şekil 5.7. 'deki gibi doğu-batı ve kuzey-güney yönünde 1,2 g 'nin üzerindedir.

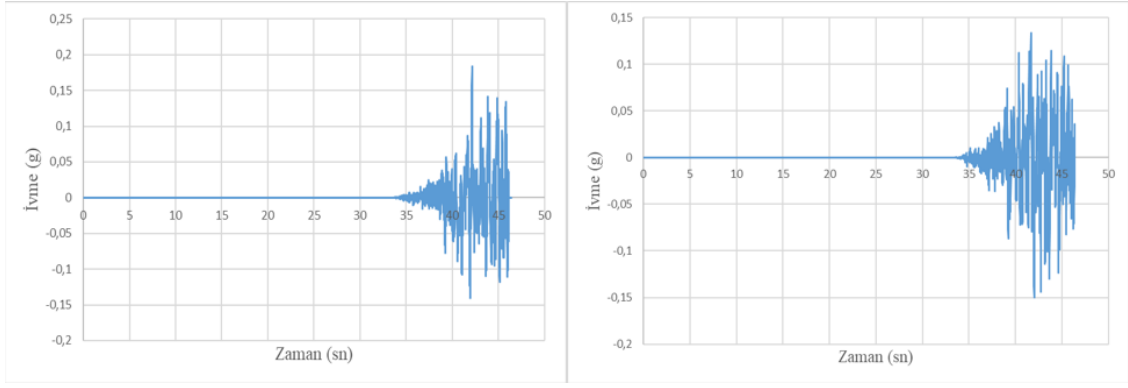
0201 nolu istasyon Adıyaman Merkez de olup ova üzerine kuruludur. Bu istasyonda kaydedilen deprem ivmeleri doğu-batı yönünde 0,3 g kuzey-güney yönünde 0,2 g civarındadır.



Şekil 5.7. 3129 nolu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü ivme-zaman grafiği

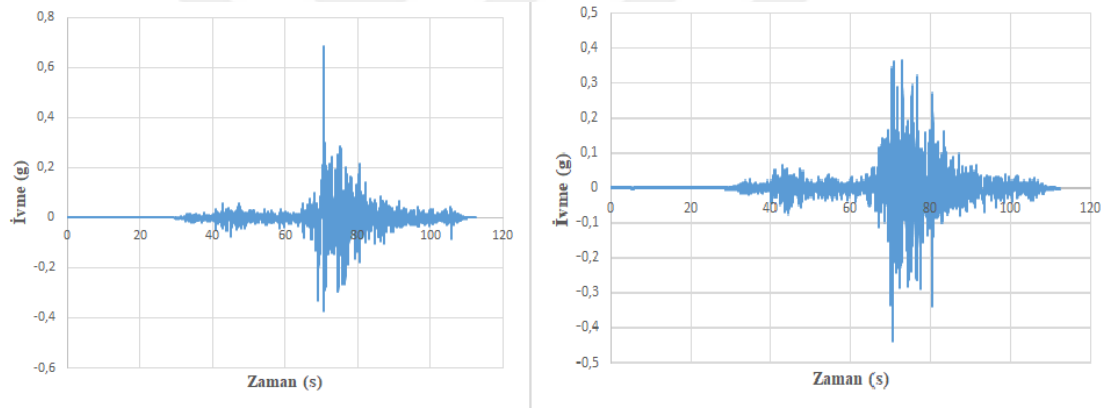
4621 nolu istasyon Kahramanmaraş'ın Dulkadiroğlu ilçesinde olup kırıntılılar ve karbonatlardan oluşan birikinti tabakalara sahip zemin üzerine kuruludur. Bu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü kayıtlarında ivme değerleri Şekil 5.8. 'te görüleceği gibi 0,1-0,2 g arasındadır.

3114 nolu istasyon Hatay'ın İskenderun ilçesinde olup ayrılmamış kuvaternerden oluşan ova üzerine kuruludur. Bu istasyonda kaydedilen ivme değerleri 3E-5 gibi çok küçük seviyelerdedir.



Şekil 5.8. 4621 nolu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü ivme-zaman grafiği

3137 nolu istasyon Hatay' ın Hassa ilçesinde bazalt litoloji sınıfına sahip sağlam zemin üzerine kuruludur. Bu istasyonda kaydedilen ivme değerleri 0,4-0,6 g seviyelerindedir (Şekil 5.9.).



Şekil 5.9. 3137 nolu istasyonun doğu-batı ve kuzey-güney yönlü ivme-zaman grafiği

5.3. Pazarcık Depremi İçin Yapılan Analiz Sonuçları

5.3.1. Dekonvolüsyon işlemi uygulanarak yapılan analiz sonuçları

Deprem esnasında ana kayadan çıkan dalgaların zemin tabakları içinde yüzeye ilerlerken zemin tabakalarının geoteknik özelliklerinden nasıl etkilendiğini anlayabilmek için çeşitli deprem istasyonlarının üzerine kurulu olduğu zeminler ve literatürden yararlanılarak oluşturulan profiller modellenmiştir. Modellenen zemin profillerinin üzerinde bulunan istasyonlar tarafından kaydedilen deprem verileri ile dekonvolüsyon işlemi uygulanarak zemin tepki analizleri frekans alanında yapılmıştır. İstasyonların ve Antakya merkez

zemin profilinin analiz sonuçlarından spektral ivme ve büyütme ile en yüksek ivme (PGA) değerleri ve en yüksek yer değiştirmeler (PGD) incelenmiştir.

0201 nolu istasyon zemini için yapılan analiz sonuçları

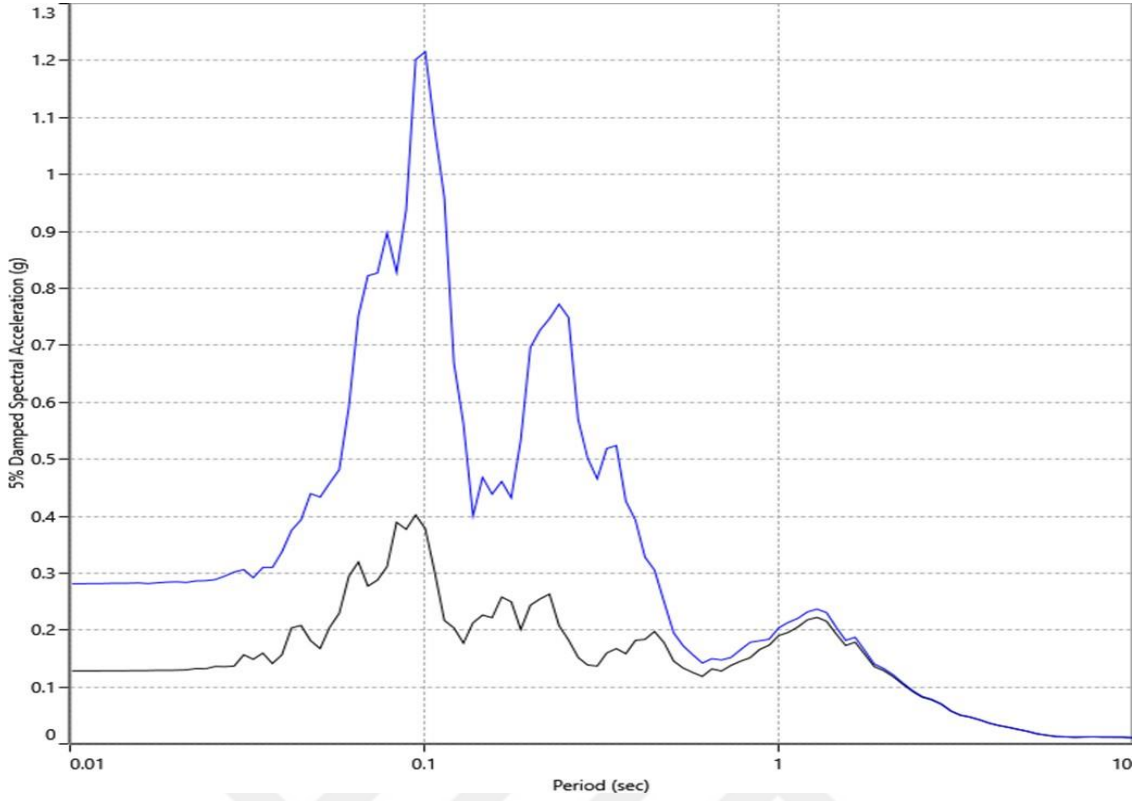
Adıyaman merkezde bulunan 0201 nolu istasyona ait zemin modellenerek Pazarcık deprem kaydı etkililmiş ve doğrusal ve eşdeğer doğrusal analizler yapılmıştır. Bu zemin profilinin doğal periyodu 0,358 saniye olarak elde edilmiştir.

Doğrusal analiz sonuçları

Doğu-batı doğrultusundaki kayıtlar ile yapılan analizde yüzeyde en büyük spektral ivme 0,1201 s periyodunda 1,1733 g olarak kaydedilmiştir. Bu periyotta ana kayada ivme 0,3048 g olduğundan büyütme 3,85 olarak hesaplanmıştır. 0,1638 s periyodunda ana kayada 0,4999 g olan spektral ivme yüzeyde 0,9890 g ye ulaşarak 1,98 kat büyümüştür. Pik ivmelere bakıldığında ise 0,5679 s periyodunda 0,3113 g ile düşük bir pik yapan deprem ivmesi yüzeyde 0,4517 g ye yükselmiştir. Büyütme oranı 1,45 olarak hesaplanmıştır.

Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlar kullanılarak yapılan analizde ana kayada da yüzeyde de spektral ivme en yüksek değerine 0,0996 s periyodunda ulaşmıştır. Bu periyotta büyütme 3,21 olarak bulunmuştur. 0,2379 s periyodunda ise spektral ivme değerleri Şekil 5.10. 'da görüldüğü gibi ana kayada 0,2093 g iken yüzeyde 0,7735 g ölçülmüştür. Büyütme oranı bu periyotta 3,7 olarak belirlenmiştir. Zeminin doğal frekansına yakın olan 0,3454 s periyodunda 0,1689 g ana kaya ivmesine karşın yüzeyde 0,5253 g ivmesi bulunmuş olup iki ivme değeri oranlandığında büyütme değeri 3,11 olarak hesaplanmıştır.

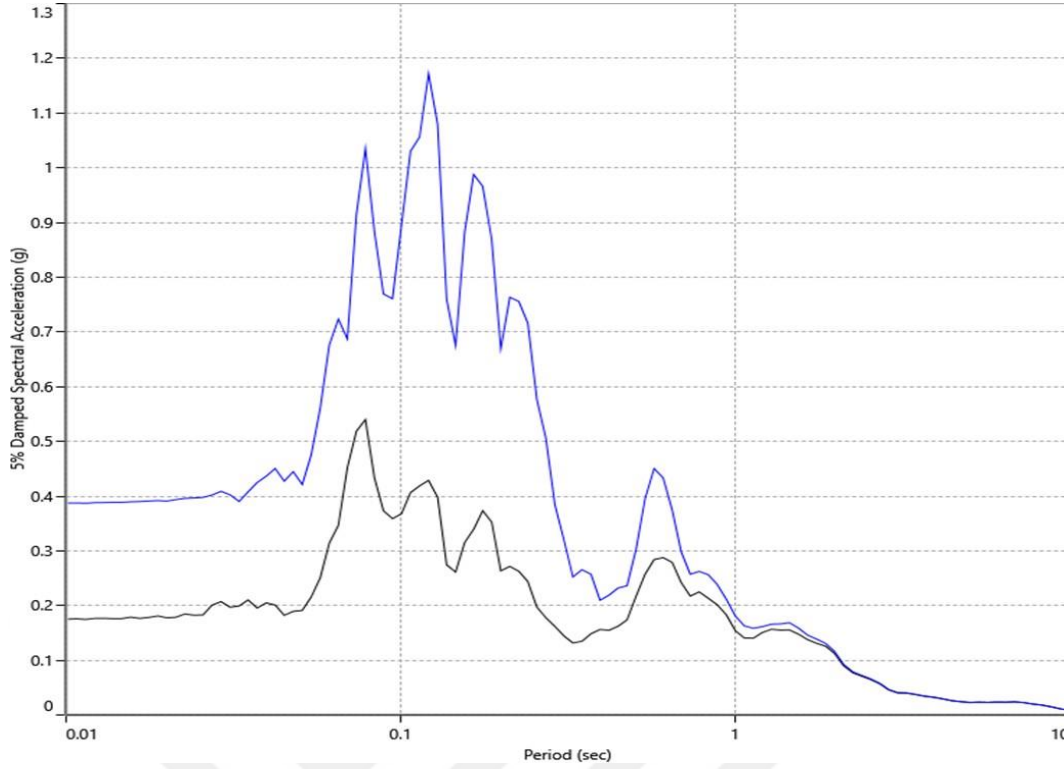
Sonuç olarak doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde büyütme oranları 0,09-0,6 s periyotları arasında gerçekleştiği görülmektedir. Büyütme oranları ise 1 ile 4 arasında değişmektedir.



Şekil 5.10. 0201 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Eşdeğer analiz sonuçları

0201 nolu istasyonun doğu-batı doğrultusundaki kayıtları ile yapılan analizde Şekil 5.11. 'de görüldüğü gibi en yüksek ivmenin kaydedildiği 0,1201 s periyodunda ana kayada ivme 0,4301 g iken yüzeyde 1,1733 g olarak okunmuştur. Bu periyotta büyütme 2,73 oranındadır. 0,1638 s periyodunda ana kaya ve yüzeydeki spektral ivmeler sırasıyla 0,3409 g ve 0,9890 g olarak hesaplanmış olup büyütme değeri 2,9 olarak hesaplanmıştır. 0,5679 s periyodunda son kez pik yapan spektral ivme değerlerinde 1,58 oranında bir büyütme değeri hesaplanmıştır.



Şekil 5.11. 0201 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlar kullanılarak yapılan analizde en yüksek PSA değerlerinin kaydedildiği 0,0996 s periyodunda ivme ana kayada 0,4622 g yüzeyde ise 1,2165 g olarak belirlenmiştir. İki değer oranlandığında büyütme değeri 2,63 bulunmuştur. 0,2379 s periyodunda 0,2496 g değeri ile belirgin bir yükselişe geçen ana kaya ivmesi 3,1 kat büyüyerek 0,7735 g ile yüzeye ulaşmıştır. Zeminin doğal periyodu olan 0,358 s ye çok yakın 0,3454 s periyodunda 0,1299 g ‘lık ana kaya ivmesi yüzeyde 0,5253 g olarak belirlenmiştir. Büyütme oranının bu periyotta 4,04’ e yükseldiği görülmüştür.

Eşdeğer analiz sonuçları incelendiğinde büyütmelerin 0,09-0,6 s periyot aralığında 1-4 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Doğrusal analiz sonuçlarına göre eşdeğer analizde zeminin büyütme değerlerinde artış gözlenmiştir. İki analizde de büyütme değerleri arasında büyük farklar görülmemiştir.

En yüksek ivme (PGA) değerleri 0,2-0,4 g arasında değişmektedir. En yüksek yer değiştirme (PGD) değerlerinin ise 0,15-0,2 m arasında zemin yüzeyinde gerçekleştiği görülmüştür. PGA ve PGD değerleri Çizelge 5.2. ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

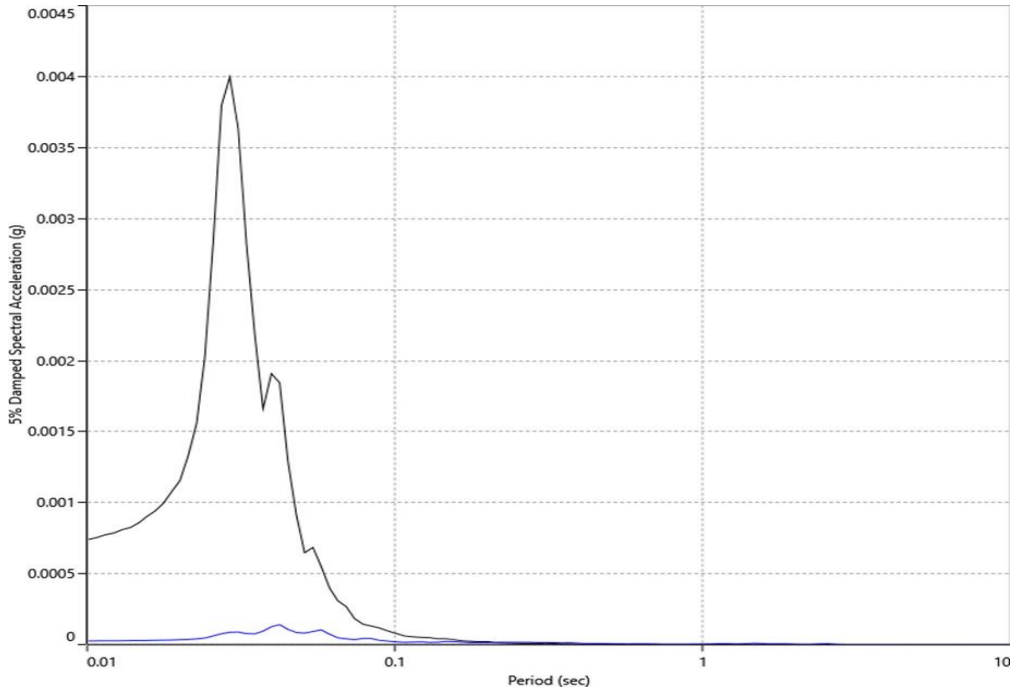
TK 0201	PGA (g)	PGD (m)
0201 D-B	0,3825	0,1552
0201 K-G	0,2814	0,2098

3114 nolu istasyon zemini için yapılan analiz sonuçları

Hatay İskenderun’ da bulunan bu istasyonun üzerine kurulduğu zemin modellenerek bu istasyonun kaydettiği 2023 Pazarcık depremi verileri ile analiz edilmiştir. Bu zemin profilinin doğal periyodu 1,886 saniye olarak hesaplanmıştır.

Doğrusal analiz sonuçları

Bu istasyona ait doğu-batı doğrultusundaki ivme kaydı kullanılarak doğrusal analiz yapıldığında spektral ivme grafiklerinde azalmanın hâkim olduğu görülmüştür. Örnek olarak verilen Şekil 5.12. ‘de doğu-batı yönlü spektral ivme grafiğinden yüzey ivmesinin daima ana kaya ivmesinin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu durumun kuzey-güney doğrultusundaki ivme kaydı ile yapılan analizde de aynı şekilde olduğu tespit edilmiştir. Grafiğin tamamında ana kaya ivmesi yüzey ivmesinin üstünde seyretmektedir.



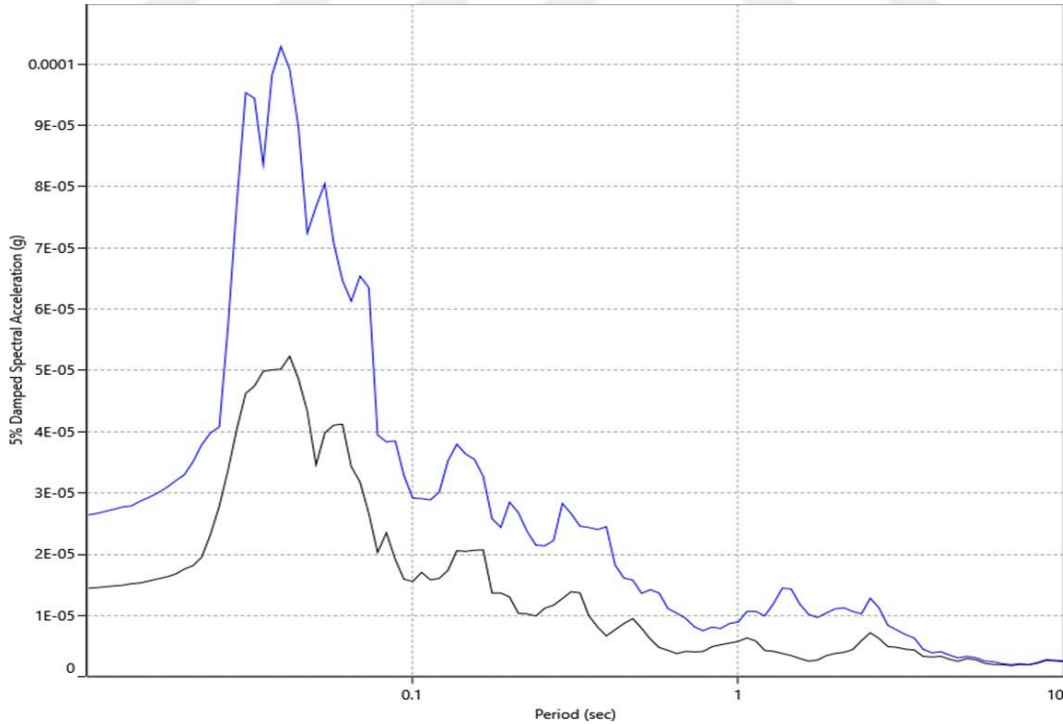
Şekil 5.12. 3114 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Eşdeğer analiz sonuçları

3114 nolu istasyonunun doğu-batı yönü ivme kayıtları ile yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında spektral ivme değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Ancak spektral ivme grafiğinin tamamında büyütmenin hâkim olduğu tespit edilmiştir. 0,0417 s periyodunda en yüksek spektral ivme 0,000146 g ile kaydedilmiş olup bu periyotta büyütme oranı 1,8 olarak belirlenmiştir. 0,0569 s periyodunda 1,85 olan büyütmenin 0,0827 s periyodunda 2,58 olduğu belirlenmiştir. Ana kaya ve yüzeyde ivme azalsa da periyotlar uzadıkça büyütmenin arttığı gözlemlenmiştir.

Kuzey-güney doğrultusundaki ivme kayıtları ile yapılan analiz sonucu incelendiğinde Şekil 5.13. 'den de görüldüğü üzere hareketin tamamında zemin yüzeyinde büyütme hâkim olmuştur. Büyütme değerleri 0,0392 s periyodunda 2,06 iken 0,1360 s periyodunda 1,9 ve 0,2867 s periyodunda ise 2,15 olarak bulunmuştur.

Eşdeğer analiz sonuçlarına göre büyütme oranları 0,03-0,3 s periyotları arasında gerçekleşmiştir. Büyütme oranları 1 ile 3 arasında değişmektedir. Periyot uzadıkça büyütme oranının arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.13. 3114 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

Doğrusal analizde azalmanın hâkim olduğu spektral ivme grafiğinde eşdeğer doğrusal analizde büyütme hâkim olmuştur. Bu da analiz türünün sonuçlar üzerindeki etkisini göstermektedir.

En yüksek ivme değerleri (PGA) 2 ile 3 g arasında değişmektedir. En büyük yer değiştirme (PGD) değerleri ise çok düşük seviyelerdedir. Bu değerler Çizelge 5.3. 'de sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

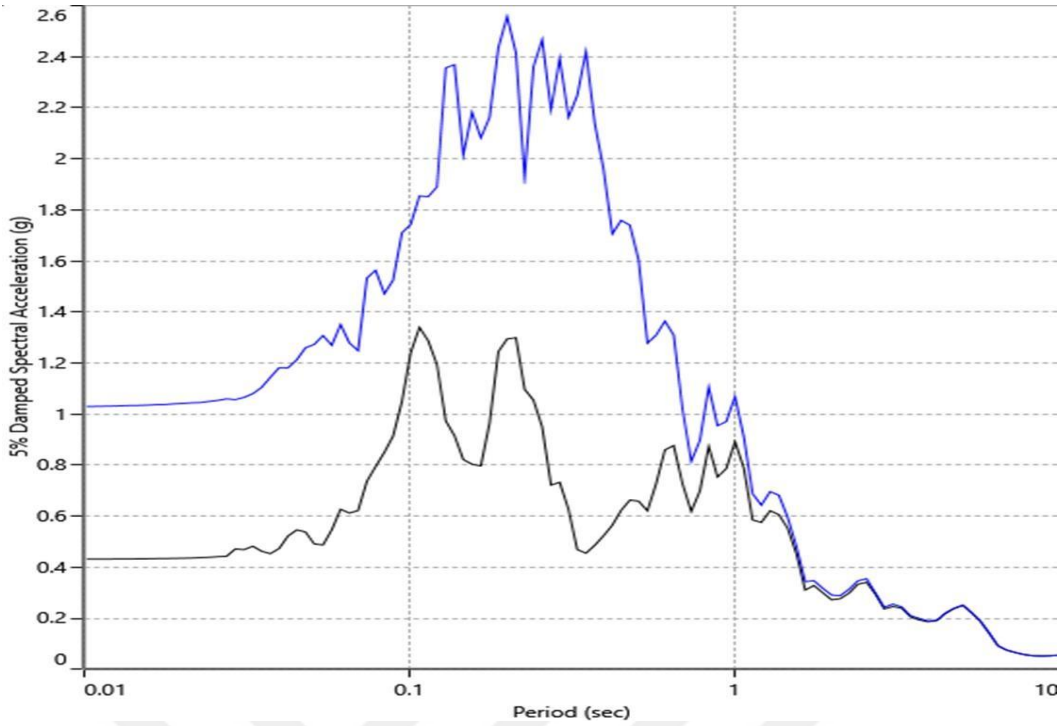
TK 3114	PGA (g)	PGD (m)
3114 D-B	2,9963	0,00022
3114K-G	2,5006	0,00014

3126 nolu istasyon zemini için yapılan analiz sonuçları

Hatay Antakya' da bulunan bu istasyonun üzerine kurulduğu zemin profiline bu istasyon tarafından kaydedilen 06.02.2023 Pazarcık deprem kaydı etkilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu zemin profilinin doğal periyodu 0,451 saniyedir.

Doğrusal Analiz sonuçları

3126 nolu istasyonun doğu-batı yönlü ivme kayıtları ile yapılan analiz sonucunda Şekil 5.14. 'de görüleceği üzere en yüksek spektral ivmenin 0,1974 s periyodunda yüzeyde 2,5599 g ile kaydedildiği görülmüştür. Bu periyotta ana kayada ivme 1,2969 g olduğundan büyütme oranı 1,97 olarak belirlenmiştir. 0,3454 s periyodunda ana kayada 0,4574 g olan spektral ivme 5,3 kat büyütmeyle yüzeyde 2,4224 g olmuştur. Zeminin hâkim periyoduna (0,451 s) çok yakın olan 0,4429 s periyodunda 1,7614 g olan yüzey ivmesi 2,82 oranında büyütmeyle maruz kalmıştır.



Şekil 5.14. 3126 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Kuzey-güney yönlü kayıtlar ile yapılan analiz sonucunda 0,1360 s periyodunda yüzeyde 4,2463 g ivme oluşmuştur. Bu periyotta büyütme değeri 2,54 olarak elde edilmiştir. 0,2101 s periyodunda yüzeyde ivme en yüksek değeri olan 5,2421 g ye ulaştığında ana kayada bu değer 2,7714 g olmuştur. Bu periyotta büyütme 1,89 olarak hesaplanmıştır. Zemin profiline ait doğal periyoda çok yakın olan 0,3911 s periyodunda spektral ivme değerleri ana kayada 0,6561 g, yüzeyde 1,9412 g olarak hesaplanmış olup bunun sonucunda bu periyotta büyütme 2,96 olarak bulunmuştur.

Doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde büyütmelerin 0,1-0,5 s periyot aralığında en yüksek değerlerine ulaştığı görülmüştür. Büyütme oranları 1-5 arasında değişmektedir. Zeminin doğal periyoduna yakın periyot aralıklarında deprem ivmesi azalmasına rağmen büyütmelerin yaşandığı belirlenmiştir.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

Doğu-batı yönlü kayıtların kullanıldığı analizde 0,1974 s periyodunda 2,5599 g 'lik yüzey ivmesi ana kayada 1,3037 g olduğundan büyütme oranı 1,96 olarak hesaplanmıştır. 0,3454 s periyodunda 2,4224 g yüzey ivmesine karşılık 0,4048 g ana kaya ivmesi ile 5,98 oranında büyütme oranı hesaplanmıştır. 0,4429 s periyodu incelendiğinde yüzeyde

spektral ivmenin 1,7614 g ile azaldığı görülmektedir. Bu periyotta büyütme 3 olarak hesaplanmıştır.

Kuzey-güney yönlü kayıtlar ile yapılan analizde 0,1360 s periyodunda 2,66 oranında büyütme elde edilmiştir. PSA en yüksek değerine 0,2101 s periyodunda 5,2421 g ile ulaştığında ana kayada bu değer 2,7014 g okunduğundan buradan büyütme değeri 1,94 olarak bulunmuştur. Zemin profilinin doğal periyoduna yakın olan 0,3911 s periyodunda ana kayada 0,6722 g olarak bulunan spektral ivme değeri yüzeyde 1,9412 g 'ye yükselmiştir. Böylece bu periyotta büyütme oranı 2,89 olarak hesaplanmıştır.

Eşdeğer analiz sonuçları incelendiğinde büyütme oranları 0,1-0,5 s periyot aralığında 1 ile 6 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek yüzey ivmesi (PGA) değerleri 1-1,2 g arasındadır. En büyük yer değiştirme değerleri ise 0,5-0,8 metre aralığındadır. PGA ve PGD değerleri Çizelge 5.4. 'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

3126	PGA (g)	PGD (m)
3126 d-b	1,0184	0,7740
3126 k-g	1,2098	0,5603

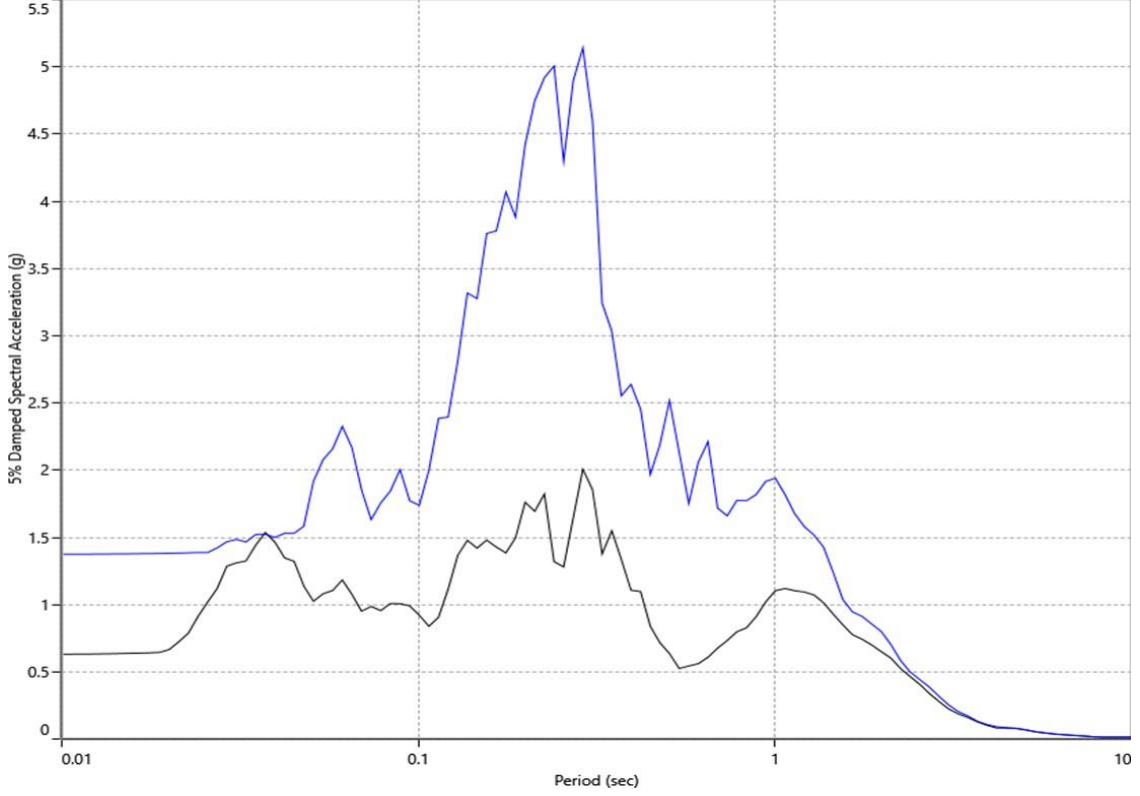
3129 nolu istasyon zemini için yapılan analiz sonuçları

Hatay Antakya' da bulunan 3129 nolu istasyonun altındaki zemin modellenerek bu istasyonda kaydedilen 06.02.2023 Pazarcık deprem kaydı altında analiz edilmiştir. Bu zemin profilinin doğal periyodu 0,780 saniyedir.

Doğrusal analiz sonuçları

Doğu-batı doğrultusundaki ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz sonucunda 0,1638 s periyodunda 2,67 oranında büyütme tespit edilmiştir. 0,2379 s de zemin yüzeyinde 4,6735 g ile spektral ivme en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu periyot değerinde Ana kayada 1,1488 g olan ivme 4,07 oranında büyütme maruz kalmıştır. Periyot zeminin doğal periyoduna yaklaştıkça zemin büyütmesi 5,31 değerine ulaşmıştır.

Kuzey-güney doğrultusundaki ivme kayıtları ile yapılan analizlerde Şekil 5.15. 'de görüldüğü gibi 0,0606 s den itibaren büyütmelemler oluşmuştur. Bu periyotta 1,96 olan büyütme oranı periyot 0,2867 s 'ye ulaştığında 2,56 olmuştur. Zeminin doğal periyoduna yakın olan 0,6431 s periyodunda büyütme 3,6 olarak hesaplanmıştır.



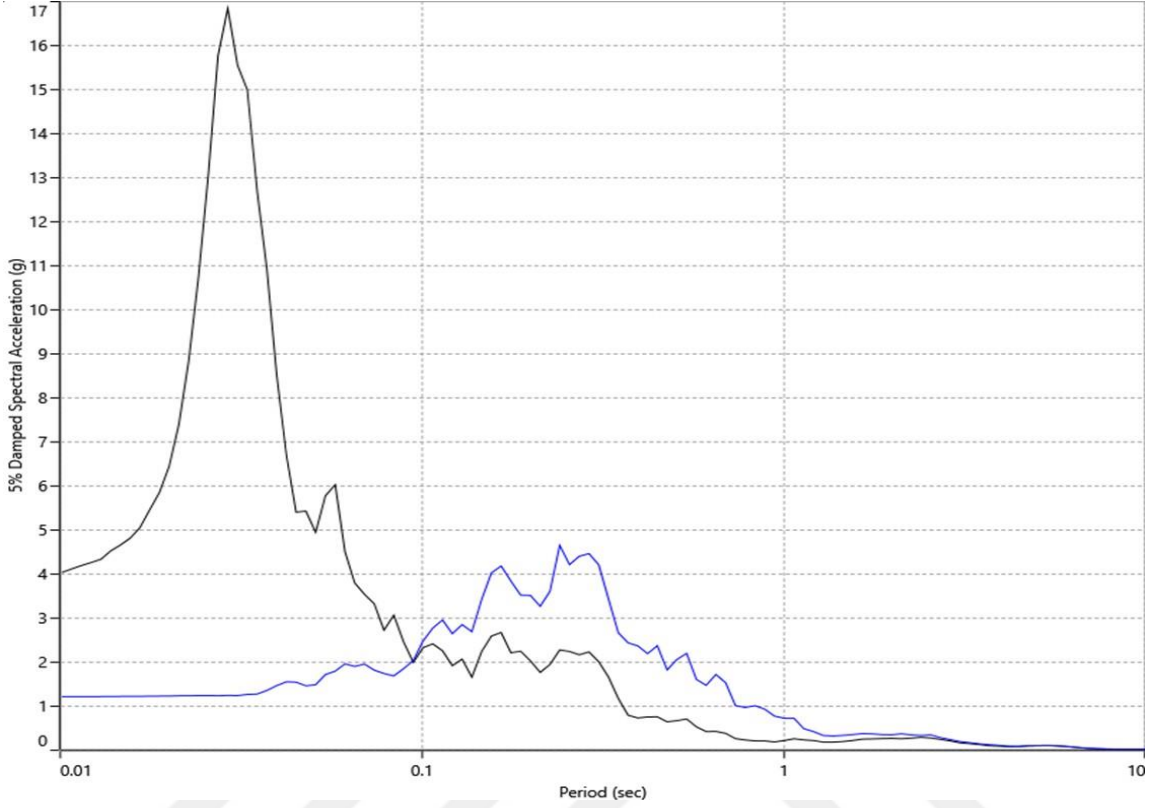
Şekil 5.15. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde büyütmelemlerin 0,05 s den itibaren belirginleşmeye başladığı, zeminin doğal periyoduna yaklaştıkça büyütme oranlarında artış yaşandığı görülmüştür. Büyütme oranları 1 ile 5,5 değerleri arasında değişmektedir.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

Doğu-batı doğrultusundaki deprem kayıtları ile yapılan eşdeğer doğrusal analiz sonucunda elde edilen spektral ivme grafiğinde 0,0287 s periyodunda Şekil 5.16. 'da görüldüğü üzere belirgin bir azalma yaşanmaktadır. Bu periyotta ana kayada ivme 16,86015 g gibi çok büyük değerlere ulaşmıştır. Aynı periyotta yüzeyde ivme değeri 1,2675 g de kaldığından bu periyotta 13,3 oranında bir azalım söz konusudur. 0,09 s den sonra grafikte büyütmenin hâkim olduğu görülmektedir. 0,2379 s periyodunda 2 kat

büyütme değeri hesaplanmıştır. 0,6431 s periyodunda ise büyütme değeri 3,87 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.16. 3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlar ile yapılan analizde 0,0606 s periyodunda doğrusal analizde 1,96 olan büyütme oranı eşdeğer doğrusal analizde 2,94 olmuştur. 0,2867 s periyodunda ana kayada 1,8949 g olan spektral ivme değeri yüzeyde 5,1470 g değerine ulaşmıştır. Dolayısıyla bu periyotta büyütme oranı 2,72 olarak belirlenmiştir. 0,6431 s periyodunda ise büyütme oranı 3,77 olarak hesaplanmıştır.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde doğrusal analizde hiç görülmeyen azalmanın çok kısa periyotlarda kısa süreliğine yaşandığı görülmektedir. Büyütme oranlarının 2 ile 4 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Genel olarak beklendiği üzere zemin hâkim periyoduna yaklaştıkça büyütme artmaktadır. Yüzeyde en yüksek ivme (PGA) değerleri 1 g nin üstündedir. Maksimum yer değiştirme zemin yüzeyinde 0,5-0,7 metre aralığında değişmektedir. Bu değerler Çizelge 5.5. 'de ayrıntılı gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

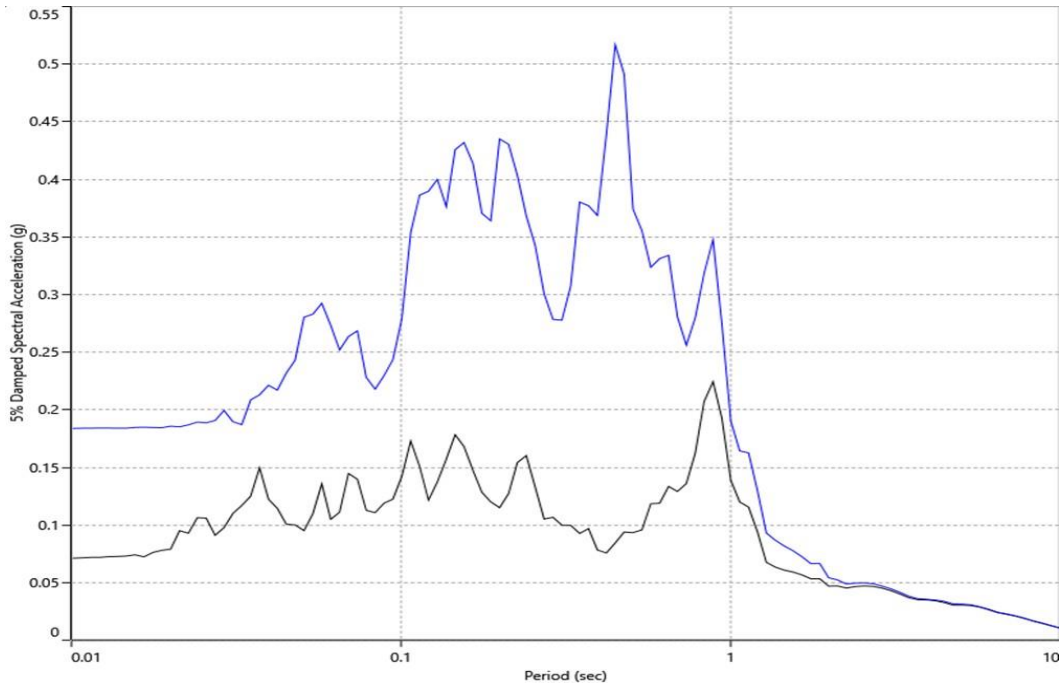
3129	PGA (g)	PGD (m)
3129 d-b	1,2292	0,6409
3129 k-g	1,3732	0,5132

4621 nolu istasyon zemini için yapılan analiz sonuçları

Kahramanmaraş' ta bulunan bu istasyonun kurulu olduğu zemin modellenmiş ve bu istasyona ait 06.02.2023 Pazarcık deprem verileri altında analiz edilmiştir. Bu zemin profilinin doğal periyodu 0,601 saniyedir.

Doğrusal analiz sonuçları

Doğu-batı doğrultusundaki kayıtlar altında yapılan analiz sonucunda spektral ivme grafikleri Şekil 5.17.' de görüldüğü gibi elde edilmiştir. 0,1974 s periyodunda büyütme 3,77 olarak elde edilirken. Yüzeyde spektral ivmenin en yüksek değerine 0,5173 g ile ulaştığı ana kayada ivmenin 0,0850 g değerini alması 6,09 oranında büyütmenin varlığını işaret etmektedir. Zeminin doğal periyoduna çok yakın olan 0,6431 s periyodunda büyütme oranı 2,5 olarak tespit edilmiştir. Periyot 0,8775 s ye doğru uzadıkça büyütme oranı 1,55 değerine düşmüştür.



Şekil 5.17. 4621 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Kuzey-güney doğrultusundaki analizde 0,1360 s periyodunda büyütme oranı 2,69 olurken, 0,2379 s periyodunda bu değer 2,4 olarak bulunmuştur. 0,3676 s periyodunda büyütme oranı 3,56 'ya yükselmiştir. 0,6843 s periyodunda ise büyütme 1,92 olarak belirlenmiştir.

Doğrusal analiz sonuçlarına bakıldığında büyütmelerin 0,1-1 s periyotları arasında yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Büyütme oranları 1 ile 6 arasında değişmektedir.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

Doğu-batı yönlü kayıtlar kullanılarak yapılan analizde 0,1974 s periyodunda büyütme oranı 4,04 olmuştur. Yüzeyde en yüksek spektral ivmenin kaydedildiği 0,4429 s periyodunda 6,26 oranında büyütme yaşanmıştır. 0,6431 s periyoduna gelindiğinde büyütme oranı 3 olmuştur. Ana kayada en yüksek ikinci ivmenin 0,2102 g ile kaydedildiği 0,8775 s periyodunda 1,66 oranında büyütme belirlenmiştir.

Kuzey-güney yönlü kayıtlar ile yapılan analizde 0,1360 saniyede büyütme değeri 3,35 olarak hesaplanmıştır. 0,2379 saniyeye gelindiğinde büyütme oranı 3,92 olarak belirlenmiştir. 0,3676 s periyodunda büyütme oranı 3,64 olarak tespit edilmiştir. Zemin profilinin doğal titreşim periyoduna yakın olan 0,6843 s periyodunda ise büyütme oranı 2,1 oranında gerçekleşmiştir.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde büyütmelerin 1 ile 6,5 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Eşdeğer analiz sonuçları genel olarak incelenen tüm periyotlarda doğrusal analiz sonuçlarından daha yüksek büyütme oranları vermiştir. En yüksek ivme (PGA) değerleri 0,1 g nin üstündedir. En yüksek yer değiştirme (PGD) değerleri 0,1-0,2 metre aralığındadır. PGA ve PGD değerleri Çizelge 5.6. da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

4621	PGA (g)	PGD (m)
4621 d-b	0,1838	0,1884
4621 k-g	0,1496	0,1203

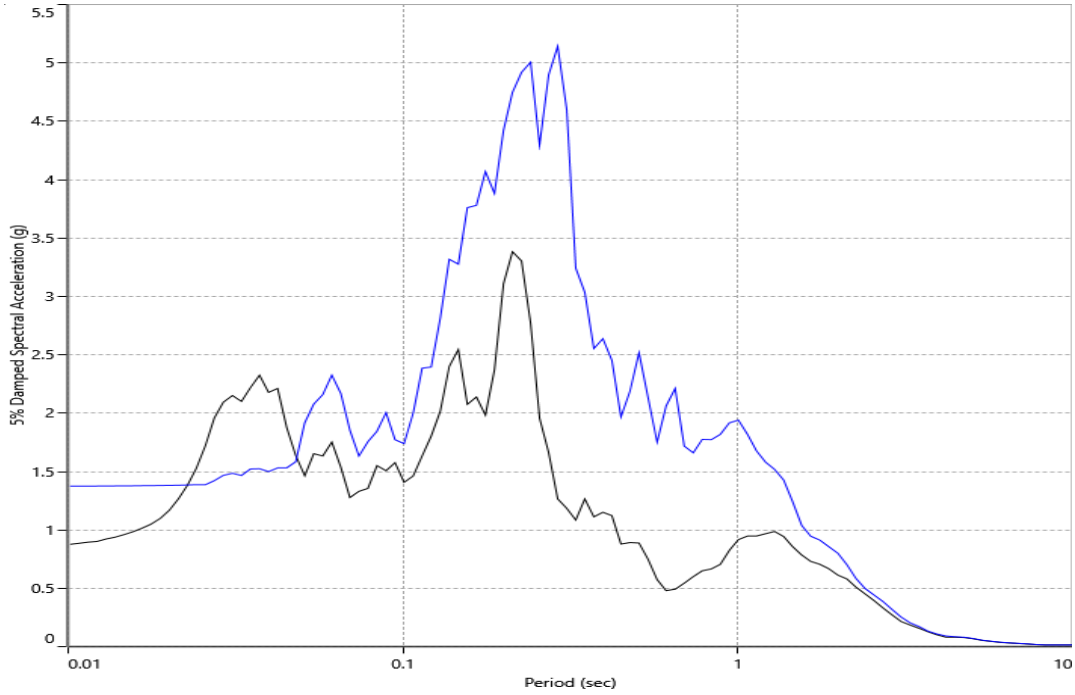
Antakya merkez zemin profili üzerinde 3129 kayıtları ile yapılan analiz sonuçları

Hatay Antakya merkezi için oluşturulan zemin modeli üzerinde analizler 3129 nolu istasyon tarafından kaydedilen 06.02.2023 Pazarcık deprem kaydı kullanılarak yapılmıştır. Bu zemin profilinin doğal periyodu 0,833 saniyedir.

Doğrusal analiz sonuçları

3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü kayıtları kullanılarak yapılan analizde 0,0306 s gibi çok kısa periyotta sönümlenme görülmüştür. 0,1638 s periyodunda büyütme 4,2046 g yüzey ivmesi ile 1,92 oranında gerçekleşmiştir. Yüzeydeki en yüksek spektral ivme 0,2379 s periyodunda 4,6735 g ile kaydedilmiş ancak bu periyottaki büyütme 1,64 gibi düşük orandadır. 0,6431 s periyodunda ise 1,7432 g yüzey ivmesi ana kayadaki ivmeyi 4,5 kat büyötmüştür.

Kuzey-güney yönlü kayıtlar ile yapılan analizde 0,0368 s periyodunda kısa süreliğine 1,52 oranında sönümlenme yaşanmıştır. Şekil 5.18. 'de görüldüğü gibi 0,04 periyodundan sonra büyütme hâkim olmuştur. En yüksek spektral ivme 0,2867 s periyodunda 5,1470 g dir. Bu periyotta büyütme oranı 4,05 olarak belirlenmiştir. 0,6431 s periyodunda azalmaya giden 2,2174 g lik spektral ivme 4,45 oranında büyötmeye sebep olmuştur.



Şekil 5.18. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiğı (Doğrusal analiz)

Doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde çok kısa periyotlarda kısa süreliğine sönümleme görülmüştür. Büyütmelerin 0,1-1 s periyot aralığında 1-5 oranlarınsa yoğunlaştığı görülmektedir.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü kayıtları kullanılarak elde edilen spektral ivme grafiğinde doğrusal analizde kısa periyotlarda sönümleme görülürken eşdeğer analizde grafiğin tamamına büyütmeye hakim olmuştur. 0,1638 s periyodunda 2,88 oranında büyütmeye gözlemlenirken PSA'nın pik yaptığı 0,2379 s periyodunda büyütmeye oranı 1,79 olmuştur. Periyot 0,6431 s'ye yaklaştığında büyütmeye oranı 5,1 kata kadar çıkmıştır. 0,8246 s periyodunda ana kayada 0,2528 g olan spektral ivme yüzeyde 1,0341 g'ye çıkmış ve ivme değerini 4,09 oranında büyümüştür.

Kuzey-güney yönlü hareket ile yapılan analizde PSA maksimum değerine 0,2867 s periyodunda 5,1470 g ile ulaşmıştır. Bu periyotta ana kaya ivmesi 1,1221 g olduğundan büyütmeye miktarı 4,59'dur. Büyütmeye oranı 4,69'a 0,6431 s periyodunda çıkmıştır. 0,9936 s periyodunda ise yüzeyde spektral ivme 2,15 oranında büyümüştür.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde doğrusal analizde kısa periyotlarda görülen sönümleme eşdeğer doğrusal analizde görülmemiştir. Büyütmeler 0,1-1 s periyot aralığında 1,5-5 oranlarında yoğunlaşmaktadır. Eşdeğer analiz sonuçları incelenen periyotların genelinde doğrusal analizden yüksek sonuçlar vermiştir. En yüksek ivme (PGA) değerleri 1,2-1,4 g aralığında bulunmakta ve en yüksek ivme değerlerini kaydeden istasyonlar arasında yer almaktadır. Yer değiştirme (PGD) değerleri 0,5-0,7 m aralığındadır. PGA ve PGD değerleri Çizelge 5.7. 'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

Antakya zemin profili	PGA (g)	PGD (m)
3129 D-B	1,2292	0,6412
3129 K-G	1,3733	0,5149

5.3.2. Dekonvolüsyon işlemi uygulanmadan yapılan analiz sonuçları

3126 nolu zemin profili üzerinde 3137 nolu deprem verileri kullanılarak yapılan analiz sonuçları

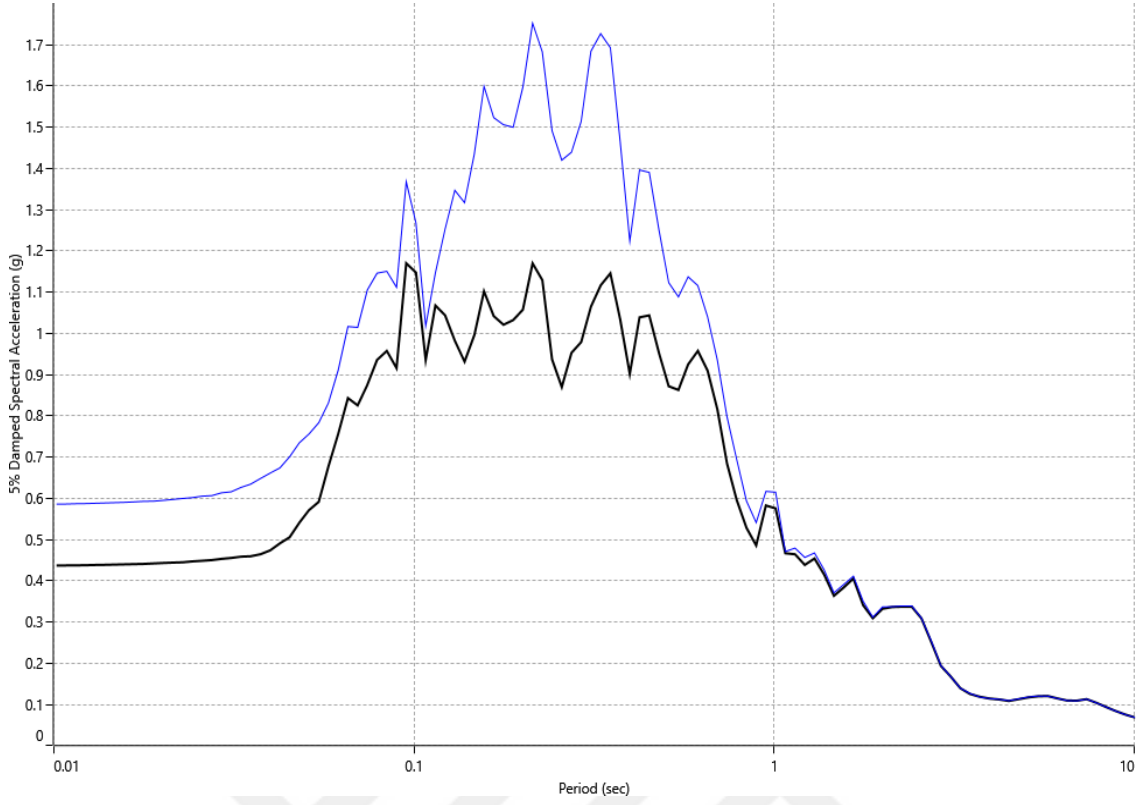
3126 nolu istasyonun bulunduğu zemine ait verilerle oluşturulan profil üzerinde 3137 nolu istasyonun yatay yönlü deprem kayıtları kullanılarak zemin tepki analizleri yapılmıştır. Bu zemin profiline ait zemin hâkim periyodu 0,451 s 'dir. Frekans alanında doğrusal, eşdeğer doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının detayları aşağıda verilmiştir.

Doğrusal analiz sonuçları

3126 nolu istasyonun üzerine kurulu olduğu zemin profili üzerinde 3137 nolu istasyonunun doğu-batı yönlü ivme kayıtlarıyla yapılan doğrusal analiz sonucu elde edilen spektral ivme grafiği incelendiğinde grafiğin genelinde büyütme oranı hâkim olduğu görülmüştür. 0,2379 s periyodunda 1,6040 g olan ana kaya spektral ivmesi yüzeyde 2,4706 g ye yükselmiştir. Bu periyotta büyütme oranı 1,54 kadardır. En yüksek spektral ivme yüzeyde 2,8310 g ile 0,3050 s periyodunda kaydedilmiştir. Bu da 1,61 oranında büyütme sebepleri olmuştur.

Kuzey-güney doğrultulu kayıtların kullanılmasıyla 0,2101 s periyodunda yüzeyde 1,7570 g ye çıkan spektral ivmenin 1,49 kat büyütüldüğü görülmüştür. Şekil 5.19. 'dan anlaşılacağı üzere 0,3246 s periyodunda spektral ivme tekrar pik yapmış ve 1,7316 g ye ulaşmıştır. Bu da 1,54 kat büyütme oranı göstermektedir. 0,4162 s periyodunda ana kayada 1,0434 g olan spektral ivme zemin yüzeyinde 1,4009 g olduğundan büyütme 1,34 olarak belirlenmiştir.

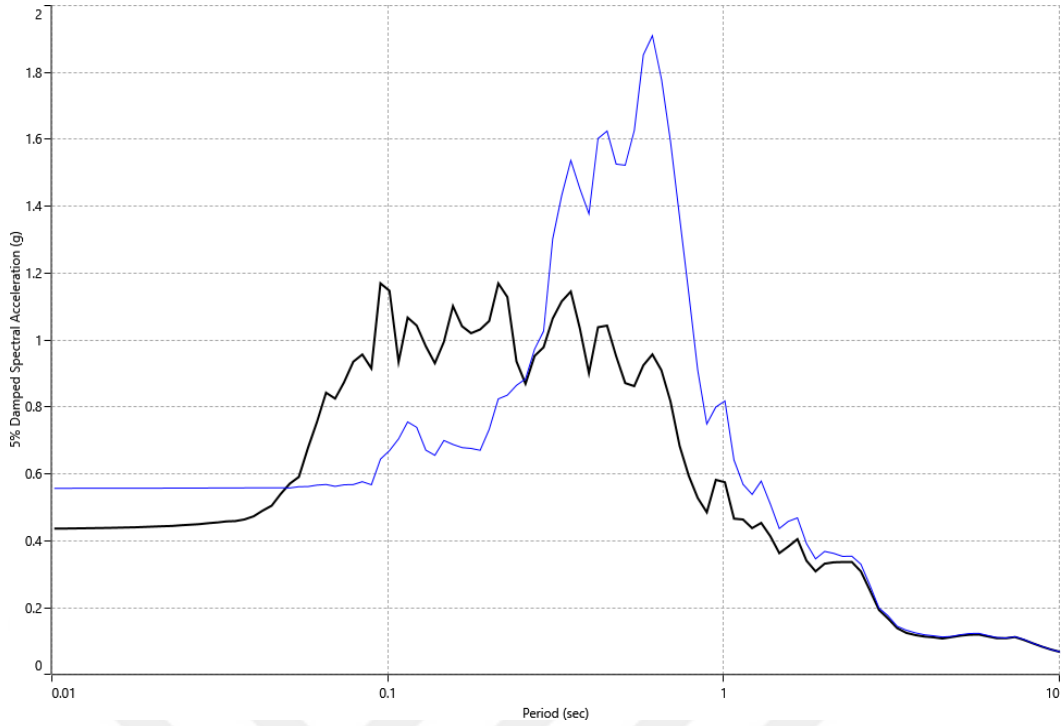
Doğrusal analiz sonucu büyütme oranları 0,2-0,5 s periyot aralığında 1 ile 2 değerlerindedir. En yüksek ivme (PGA) 0,5-1 g aralığında değişmektedir. Yer değiştirme (PGD) 0,05-0,07 m arasında değerler almaktadır.



Şekil 5.19. 3137 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

3137 nolu istasyona ait doğu-batı doğrultulu kayıtlar kullanılarak yapılan analiz sonucu kısa periyot seviyelerinde sönümleme görülmüştür. 0,0996 s periyodunda sönümleme oranı 1,56' dır. Şekil 5.20. 'de görüldüğü gibi periyot 0,2 saniyenin üstüne çıktıkça büyütme baskın olmuştur. 0,3676 s periyodunda yüzeyde 2,3537 g olan spektral ivme 1,43 kat büyötmeye maruz kalmıştır. 0,6043 s periyodunda ana kayada 0,5727 g olan spektral ivme yüzeyde 1,0676 g olarak belirlenmiştir. Bu durumda büyütmenin 1,86 oranında olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.20. 3137 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

Kuzey-güney doğrultulu kayıtlar ile yapılan analizde 0,25 s periyoduna kadar spektral ivme grafiğinde sönümlenme görülmüştür. 0,2102 s periyodunda sönümlenme oranı 1,42 olmuştur. Zeminin hâkim periyoduna yakın 0,4162 s periyodunda ana kayada spektral ivme 1,0434 g olarak belirlenmiştir. Aynı periyotta ivme yüzeyde 1,6075 g olduğundan 1,54 oranında büyütme söz konusudur. 0,6043 s periyodunda yüzeyde ivme 1,9150 g olmuştur ve büyütme oranı 1,99 olarak belirlenmiştir.

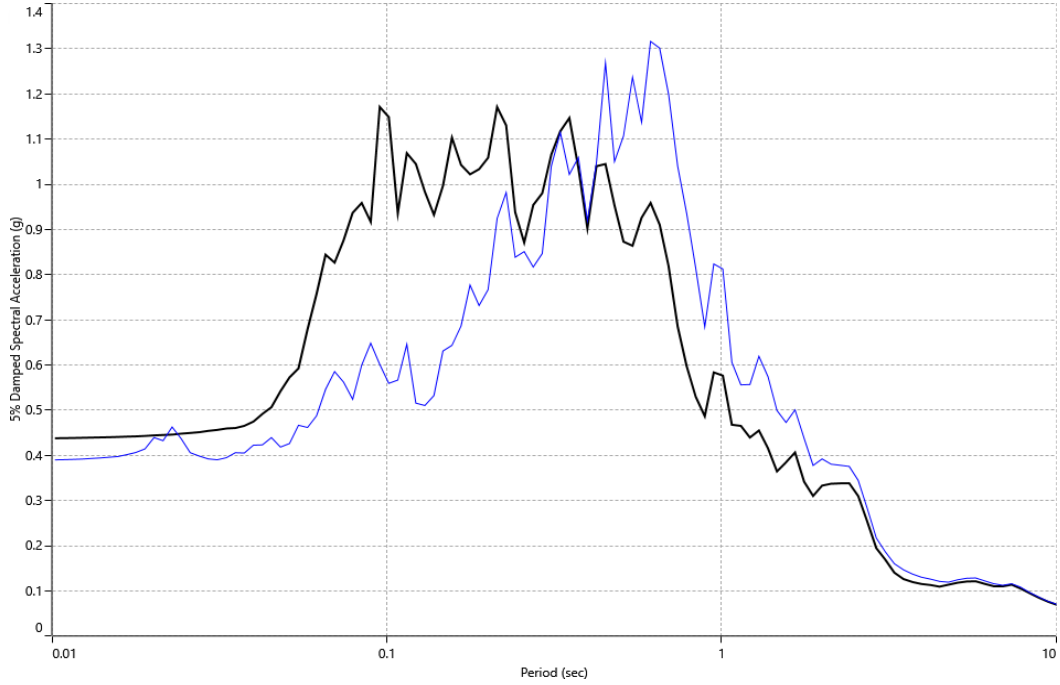
Eşdeğer analiz sonucu 0,2 s periyoduna kadar spektral ivme grafiğinde sönümlenme yaşanırken 0,2 s' den uzun periyotlarda büyütme ağırlıktadır. Büyütme oranları 0,2-0,6 s periyot aralığında 1 ile 2 arasında değişmektedir. PGA değerleri 0,5 g seviyelerindedir. Yer değiştirme değerleri 0,06-0,09 m aralığındadır.

Doğrusal olmayan analiz sonuçları

3137 nolu istasyonun doğu-batı doğrultulu kayıtları ile yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda 0,4 s periyoduna kadar spektral ivme grafiğinde sönümlenme yaşandığı, periyot değeri uzadıkça sönümlenmenin yerini büyütme aldığını görülmüştür. 0,3676 s periyodunda sönümlenme miktarı 1,01 kadardır. 0,6431 s periyodunda ise 0,8422 g 'lik

yüzey ivmesi 1,48 oranında büyötmeye maruz kalmıştır. 0,8775 s periyodunda ana kayada 0,7222 g olan ivme yüzeye 1,1311 g olarak ulaşmıştır. Bu periyotta büyötmeye oranı 1,57 'dir.

Kuzey-güney doğrultulu kayıtlar ile yapılan analiz sonucu Şekil 5.21. 'de göröldüğü şekilde 0,4 s periyodunda kadar ana kaya ivmesi yüzeydeki ivmeden yüksek seyretmiştir. Periyot uzadıkça büyötmeler yaşanmış ve ana kaya ivmesinin yüzeydeki ivmeden düşük kaldığı görölmüştür. 0,2101 s periyodunda 1,27 oranında sönümlleme belirlenmiştir. 0,4429 s periyodunda 1,0483 g olan ana kaya ivmesi yüzeye 1,2722 g olarak yansımış ve 1,21 kat büyümüştür. 0,6043 s periyodunda yüzeyde spektral ivme 1,3197 g olarak belirlenmiş ve büyötmeye 1,37 oranında hesaplanmıştır.



Şekil 5. 21. 3137 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiğı (Doğrusal olmayan analiz)

Doğrusal olmayan analiz sonuçlarında büyötmeler 0,4-1 s periyot aralığında 1 ile 2 aralığında değerler almaktadır. Analiz türü doğrusal olmayan analize doğru gittikçe büyötmelerin yaşandığı periyot aralığı yükselmektedir. Doğrusal analizde görölmeyen sönümlleme eşdeğer doğrusal analizde 0,2 s periyoduna kadar doğrusal olmayan analizde ise 0,4 s periyoduna kadar görölmektedir. Büyötmelerin zemin hâkim periyodunu kapsayacak aralıkta yaşandığı görölmüştür. En yüksek ivme (PGA) ve yer değıştirme

(PGD) değerleri Çizelge 5.8. 'de analiz türüne göre ayrıntılı gösterilmiştir. En yüksek ivme değerlerinin doğrusal olmayan analiz türüne doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. En yüksek PGA değerleri doğrusal analizde elde edilmiştir. Yer değiştirme değerlerinin ise doğrusal olmayan analize doğru gidildikçe arttığı görülmüştür. En yüksek yer değiştirme değerleri doğrusal olmayan analizde bulunmuştur.

Çizelge 5.8. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

3126 istasyonu zemin profili	PGA (g)			PGD (m)		
	Doğrusal	Eşdeğer doğrusal	Doğrusal olmayan	Doğrusal	Eşdeğer doğrusal	Doğrusal olmayan
3137 D-B	1,0120	0,5572	0,3568	0,0563	0,0624	0,0812
3137 K-G	0,5875	0,5613	0,3868	0,0642	0,0938	0,0887

3126 nolu istasyonun zemini üzerinde 3137 nolu istasyonun kayıtları ile yapılan analiz sonuçları yukarıda detaylıca açıklanmıştır. Çizelge 5.9. 'da incelenen periyotlara göre yüzeydeki spektral ivme ve büyütme değerleri verilmiştir. Kırmızı renkte gösterilen değerler ana kaya ivmesinin yüzeyde azaldığı değerler olduğundan sönümlenme olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.9. Periyotlara göre maksimum spektral ivme (PSA) ve büyütme değerleri

3126 zemin profili	Doğrusal Analiz			Eşdeğer Doğrusal Analiz			Doğrusal Olmayan Analiz		
	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme
3137 D-B	0,2379	2,4706	1,54	0,0996	0,8219	1,56	0,3676	1,6275	1,01
	0,3050	2,8310	1,61	0,3676	2,3537	1,43	0,6431	0,8422	1,48
				0,6043	1,0676	1,86	0,8775	1,1311	1,57
3137 K-G	0,2101	1,7570	1,49	0,2101	0,8291	1,42	0,2101	0,9279	1,27
	0,3246	1,7316	1,54	0,4162	1,6075	1,54	0,4429	1,2722	1,21
	0,4162	1,4009	1,34	0,6043	1,9150	1,99	0,6043	1,3197	1,37

Antakya merkez zemin profili üzerinde 3129 kayıtları ile yapılan analiz sonuçları

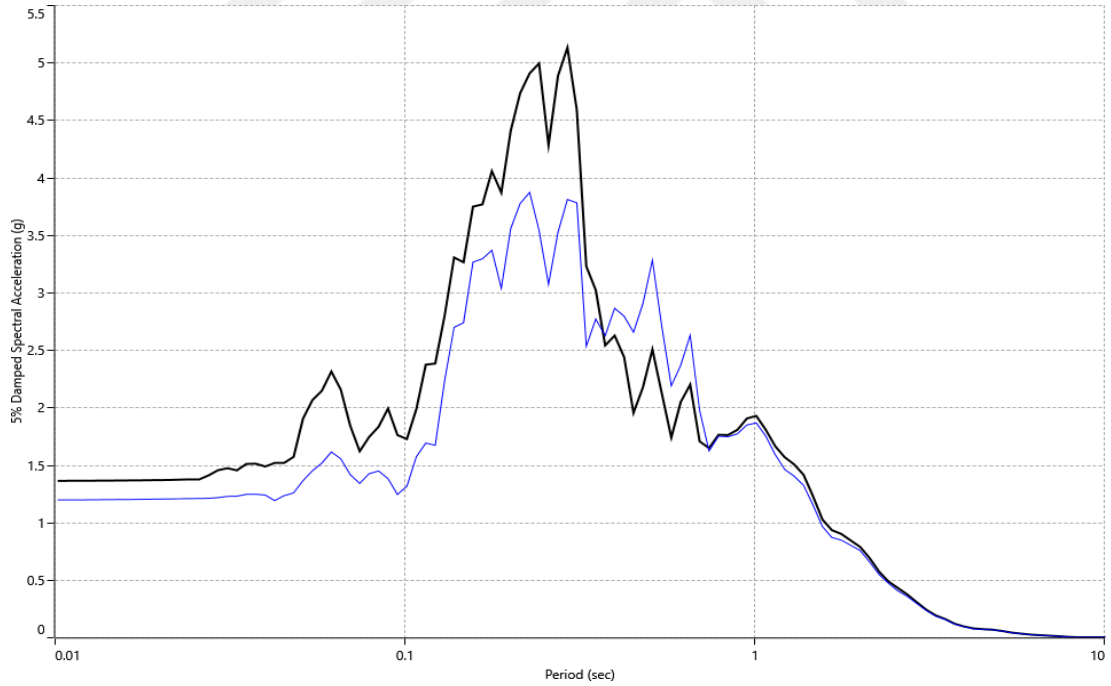
Bu zemin profili üzerinde 3129 nolu istasyona ait deprem kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Ters evrişim işlemi uygulanmadan tüm analiz türleri için aynı şartlarda yapılan doğrusal, eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları zemin

büyütme veya sönümlleme değeri ve periyotları incelenerek analiz türünün sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Doğrusal analiz sonuçları

3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü kaydı kullanılarak yapılan analizlerde zeminde sönümllemenin hâkim olduğu görülmektedir. Zemin yüzeyinde spektral ivmenin 3,5494 g ile maksimuma çıktığı 0,1638 s periyodunda ana kaya ivmesi 4,2046 g olduğundan 1,18 oranında sönümlleme mevcuttur. 0,2379 s periyodunda sönümlleme oranı 1,40 a çıkmaktadır. Büyütmenin görüldüğü dar aralıkta bulunan 0,5337 s periyodunda büyütme değeri 1,34 olarak hesaplanmıştır.

Kuzey-güney yönlü harekette PSA'nın en yüksek değerine 3,8888 g ile ulaştığı 0,2236 s periyodunda 1,27 oranında sönümlleme görülmüştür. 0,2867 s periyodunda sönümlleme oranı 1,34 e çıkmıştır. Şekil 5.22. 'de görüldüğü gibi spektral ivmede 0,5015 s periyodunda ana kayadan daha fazla bir artış yaşanarak 1,31 oranında büyütme görülmüştür.



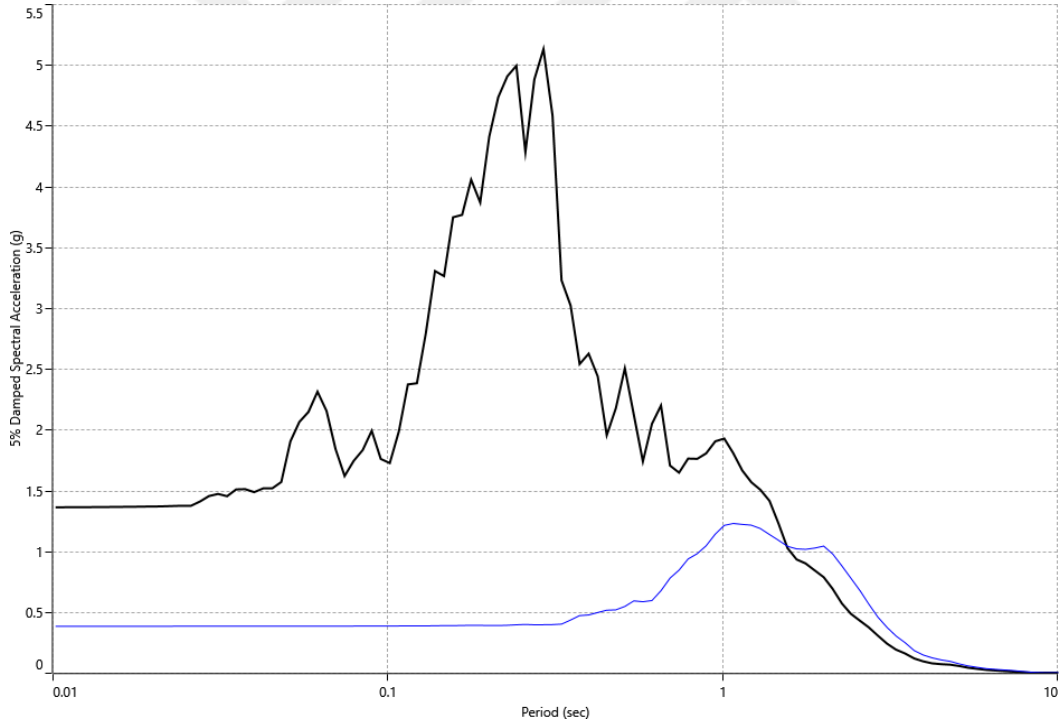
Şekil 5.22. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal analiz)

Doğrusal analiz sonuçları incelendiğinde 0,3-0,8 s periyotları arasında 1-1,5 oranlarında büyütme görülmüş bu periyot aralığı dışındaki periyotlarda sönümlleme spektral ivme grafiğine hâkim olmuştur.

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçları

3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü kayıtları kullanılarak yapılan analizler sonucu elde edilen spektral ivme grafiğinde sönümlemenin hâkim olduğu görülmüştür. 0,1638 s periyodunda 9,54 oranında sönümleme bulunmaktadır. Ana kayanın en yüksek değeri 0,2379 s periyodunda 4,6735 g ile kaydedilmiş ve 6,6 oranında sönümleme yaşanmıştır. Yüzey ivmesi 0,6431 s de 1,0918 g ile maksimum değerine ulaşmıştır. Bu sırada ana kayada ivme 1,7432 g olduğundan 1,6 kadar sönümleme bulunmaktadır. İlerleyen 1,7383 s periyodunda 0,5316 g yüzey ivmesi ile 1,35 oranında büyütme belirlenmiştir.

Kuzey-güney yönlü harekette ana kayada spektral ivme 0,2867 s periyodunda 5,1470 g ile pik yapmıştır. Karşılığında yüzeyde 0,4160 g yüzey ivmesi bulunduğu 12,37 oranında sönümleme görülmüştür. Yüzeyde PSA maksimum 1,2480 g ye 1,0573 s periyodunda ulaşmış ancak 1,46 oranında sönümlemiş 1,9684 s periyodunda Şekil 5.23. 'de görüldüğü gibi 1,0622 g yüzey ivmesi ile 1,32 oranında büyütme yaşanmıştır.



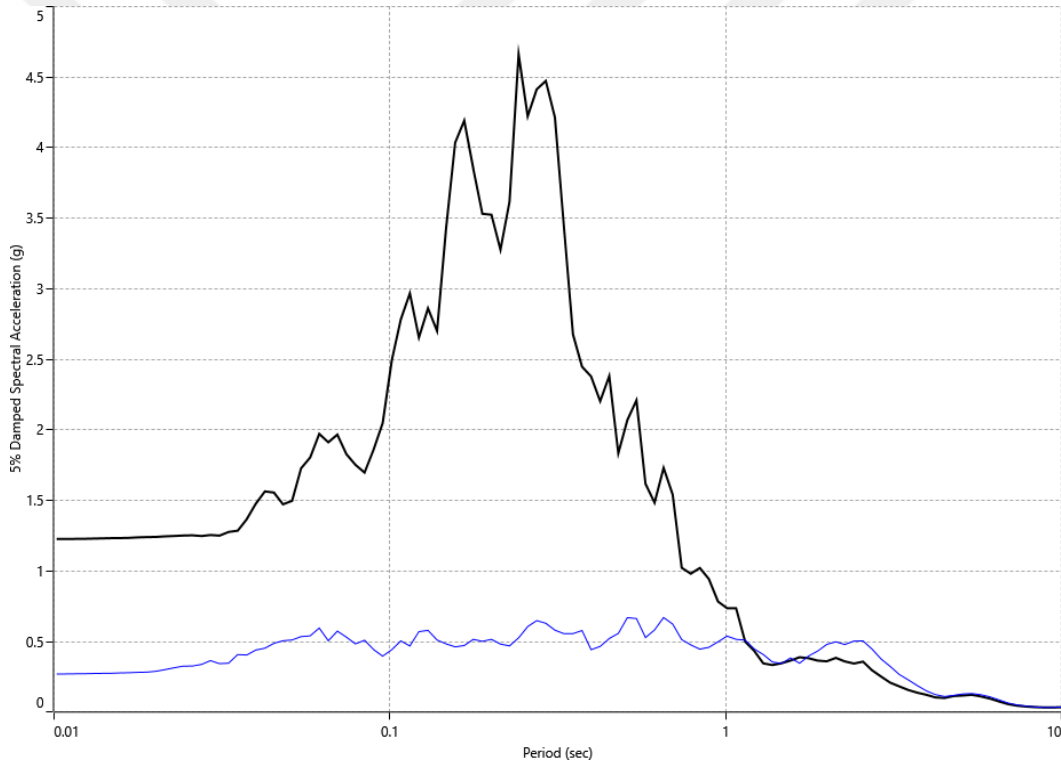
Şekil 5.23. 3129 nolu istasyonun kuzey-güney yönlü spektral ivme grafiği (Eşdeğer doğrusal analiz)

Eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarının genelinde sönümleme yaşandığı görülmüştür. Doğrusal analizde 0,3-0,8 s periyotları arasında görülen büyütme eşdeğer doğrusal

analizde 1 den büyük periyotlarda 1-1,5 oranlarında görülmüştür. İki analiz türünde büyütme arasında çok fark bulunmamaktadır.

Doğrusal olmayan analiz sonuçları

3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü kayıtları kullanılarak yapılan analizlerden spektral ivmelerin 1,5 s periyoduna kadar sönümlendiği görülmüştür. 0,2379 s periyodunda ana kayada spektral ivme 4,6735 g 'ye ulaşmış ve sönümleme 8,67 oranında gerçekleşmiştir. Şekil 5.24. 'te görüldüğü gibi yüzeyde 0,7 g 'yi geçmeyen spektral ivme değeri 0,6431 s periyodunda 0,6830 g 'yi görmüştür. Bu periyotta ana kayada ivme 1,7432 g olduğundan 2,55 oranında sönümleme yaşanmıştır. 2,5239 s periyodunda 0,5175 g yüzey ivmesi ile 1,4 oranında büyütme yaşanmıştır.



Şekil 5.24. 3129 nolu istasyonun doğu-batı yönlü spektral ivme grafiği (Doğrusal olmayan analiz)

Kuzey-güney yönlü hareket kayıtlarının zemin tepkisi incelendiğinde spektral ivme grafiğinde deprem dalgalarının zemin tabakaları tarafından sönümlendiği görülmektedir. Grafiğin genelinde büyütme yaşanmadığı görülmüştür. Sönümlemeler 0,2867 s periyodunda 10,06 0,3246 s periyodunda 4,45 ve 1,0573 s periyodunda 3,24 oranında gerçekleşmiştir. Periyot uzadıkça sönümleme oranı azalmaktadır.

Doğrusal olmayan analiz sonuçları incelendiğinde spektral ivme grafiklerinde genel olarak sönümlenmenin hâkim olduğu görülmüştür. Düşük orandaki büyütme 2 s' den uzun periyotlarda görülmüştür. Sönümlenmelerin doğrusal analizden doğrusal olmayan analize doğru gittikçe daha geniş periyot aralığını kapsadığı tespit edilmiştir. Doğrusal analizde 0,3-0,8 s periyotlarında olan büyütme eşdeğer doğrusal analizde 1 s 'den uzun periyotlarda ve doğrusal olmayan analizde 2 s 'den uzun periyotlarda görülmüştür. Doğrusal olmayan analizde beklendiği üzere büyütme daha uzun periyotlarda oluşmuştur. En yüksek ivme (PGA) değerleri 1 g 'nin üstündedir. Yer değiştirme değerleri ise 0,1-0,3 m aralığındadır. PGA ve PGD değerleri Çizelge 5.10.' da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Maksimum yüzey ivmesi (PGA) ve yer değiştirme (PGD) değerleri

Antakya zemin profili	PGA (g)			PGD (m)		
	Doğrusal	Eşdeğer doğrusal	Doğrusal olmayan	Doğrusal	Eşdeğer doğrusal	Doğrusal olmayan
3129 D-B	1,0447	0,3209	0,2782	0,1332	0,1840	0,2651
3129 K-G	1,2056	0,4029	0,2068	0,2728	0,5076	0,6223

Antakya merkezi için oluşturulan zemin profili üzerinde 3129 nolu istasyonun deprem kayıtları ile yapılan analiz sonuçları yukarıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. İncelenen periyotlara göre maksimum spektral ivme ve büyütme değerleri Çizelge 5.11. 'de verilmiştir. Kırmızı renkli değerler ana kaya ivmesinin yüzeyde azaldığı anlamına gelmektedir. Sönümlenme olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.11. Periyotlara göre maksimum spektral ivme (PSA) ve büyütme değerleri

Antakya zemin profili	Doğrusal Analiz			Eşdeğer Doğrusal Analiz			Doğrusal Olmayan Analiz		
	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme	Periyot	Yüzey PSA	Büyütme
3129 D-B	0,1638	3,5494	1,18	0,1638	0,4407	9,54	0,2379	0,5389	8,67
	0,2379	3,3343	1,4	0,2379	0,7069	6,6	0,6431	0,6830	2,55
	0,5337	2,9674	1,34	0,6431	1,0918	1,6	2,5239	0,5175	1,4
3129 K-G	0,2236	3,8888	1,27	0,2867	0,4160	12,37	0,2867	0,5116	10,06
	0,2867	3,8278	1,34	1,0573	1,2480	1,46	0,3246	0,7292	4,45
	0,5015	3,2989	1,31	1,9684	1,0622	1,32	1,0573	0,5628	3,24

Dekonvolüsyonlu ve dekonvolüsyonsuz yapılan analizler karşılaştırıldığında dekonvolüsyon işlemi uygulanmadan yapılan analizde büyütme oranları daha düşük hesaplanmış ve sönümler sıklıkla görülmüştür. Dekonvolüsyon işlemi uygulandığında ise daha yüksek büyütme oranları hesaplanmış ve sönümlerin çok kısa periyotlarda kısa aralıklarda sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Depremi sebep olduğu hasar ve yıkıma bakıldığında dekonvolüsyon işlemi uygulanarak yapılan analiz sonuçları daha gerçekçi kalmaktadır.

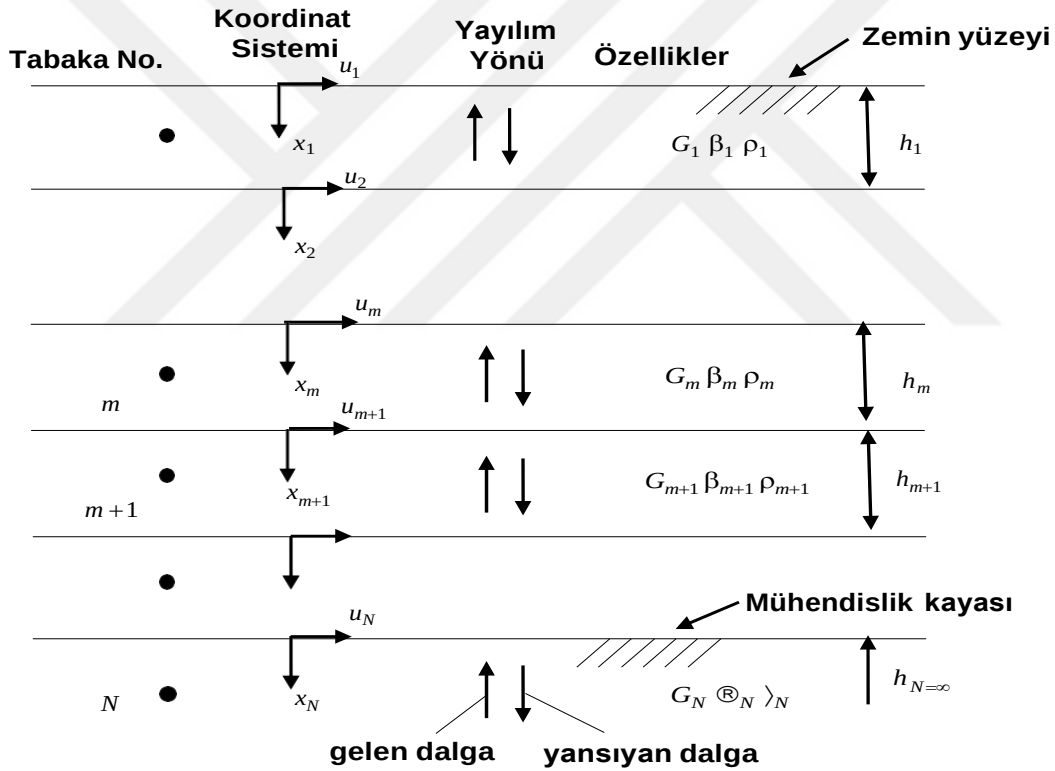




6. TEK BOYUTLU ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİNDE TRANSFER FONKSİYONUNUN DEĞİŞTİRİLMİŞ SONLU ELEMANLAR TAŞIMA MATRİSİ YÖNTEMİ İLE ELDE EDİLMESİ

Zemin büyütmeye analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için literatürde zemin hakim periyodunun bulunmasında kullanılan Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi yönteminden faydalanılmıştır. Klasik sonlu elemanlar yönteminin eleman sayısına bağlı olarak artan sistem matrisi boyutu önerilen DSETM yönteminde eleman sayısından bağımsızdır (Bilican ve diğerleri, 2021). Aşağıda önerilen yöntem kısaca açıklanmıştır.

Elastik kaya üzerinde tabakalı bir zemin modeli Şekil 6.1.' de gösterilmektedir (Kramer, 1996).



Şekil 6.1. Elastik anakaya üzerindeki zemin tabakalarının hareketi

Buna göre en üstteki yer değiştirme ile en alttaki yer değiştirmenin oranı transfer fonksiyonu olarak tanımlanmakta ve 4.1 nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır (Kramer, 1996).

$$F_{1N} = \left| \frac{u_1}{u_N} \right| = \frac{\lambda_1(\omega) + \kappa_1(\omega)}{\lambda_N(\omega) + \kappa_N(\omega)} \quad (4.1)$$

Burada λ ve κ_N fonksiyonları 4.2 ve 4.3 nolu eşitlikler ile ifade edilmiştir (Kramer,1996).

$$\lambda_N(\omega) = \frac{A_N}{A_1} \quad (4.2)$$

$$\kappa_N(\omega) = \frac{B_N}{B_1} \quad (4.3)$$

Burada ω açısal frekansı temsil etmektedir.

Her tabakadaki A ve B değerleri 1'inci tabakadan başlayarak ardışık olarak bulunur (Kramer 1996).

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m \left(1 + \alpha_m^* e^{ik_m^* h_m} \right) + \frac{1}{2} B_m \left(1 - \alpha_m^* e^{-ik_m^* h_m} \right) \quad (4.4)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m \left(1 - \alpha_m^* e^{ik_m^* h_m} \right) + \frac{1}{2} B_m \left(1 + \alpha_m^* e^{-ik_m^* h_m} \right) \quad (4.5)$$

α_m^* m'inci tabaka için empedans sayısı olup 4.6 nolu eşitlikle gösterilmiştir (Kramer, 1996).

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (4.6)$$

Burada adı geçen G^* ve k^* 4.7 ve 4.8 nolu eşitlikleri ile tanımlanmıştır (Kramer, 1996) .

$$G_m^* = G_m (1 + 2i\xi) \quad (4.7)$$

$$k_m^* = \frac{\omega}{v_{sm}^*} \quad (4.8)$$

u_{sm}^* ise 4.9 nolu eşitlikle tanımlıdır.

$$v_{sm}^* = u_{sm} (1 + i\zeta_m) \quad (4.9)$$

Burada G_m m. tabakadaki kayma modülünü, ξ_m sönüm oranını ve v_{sm} kayma dalgası hızını temsil etmektedir. Birinci tabakanın üzerinde kayma gerilmesi sıfır olduğundan 4.10 nolu eşitlik yazılabilir.

$$A_1 = B_1 \quad (4.10)$$

Şekil 4.5.' te gösterilen ve Kelvin Voigt katısının özelliklerine sahip m'inci zemin tabakasının titreşimini gösteren kısmi diferansiyel denklem 4.11 nolu eşitlikteki gibi yazılır (Kramer, 1996; Özkan, 2017).

$$\rho_m \frac{\partial^2 p_m}{\partial t^2} - G_m \frac{\partial^2 p_m}{\partial z_m^2} - \eta_m \frac{\partial^3 p_m}{\partial z_m^2 \partial t} = 0 \quad (4.11)$$

Burada η zemin tabakalarının yatay yer değiştirme fonksiyonunu, G_m m. tabakanın kayma modülünü, z_m m'inci zemin tabakası boyunca uzanan eksen takımını, t zamanı belirtmektedir. η_m ise sönümü içeren değişken olup 4.12 nolu eşitlik ile gösterilmiştir.

$$\eta_m = \frac{2G_m}{\omega^2} = \frac{2G_m}{\omega} \zeta_m \quad (4.12)$$

4.12 nolu eşitlik 4.11 nolu eşitlikte yerine yazılırsa 4.13 nolu diferansiyel denklem bulunur.

$$\rho_m \frac{\partial^2 p_m}{\partial t^2} - G_m \frac{\partial^2 p_m}{\partial z_m^2} - \frac{2G_m}{\omega} \zeta_m \frac{\partial^3 p_m}{\partial z_m^2 \partial t} = 0 \quad (4.13)$$

4.13 nolu kısmi diferansiyel denkleme 4.14 nolu eşitlik yerleştirilirse 4.15 nolu adi diferansiyel denklem elde edilir.

$$p_m(z_m, t) = u_m(z_m) e^{i\omega t} \quad (4.14)$$

$$G_m (1 + 2i\zeta_m) \frac{\partial^2 u_m}{\partial z_m^2} + \rho_m \omega^2 u_m = 0 \quad (4.15)$$

4.15 nolu adi diferansiyel denklem 4.16 nolu şekilde gösterilebilir.

$$\frac{\partial^2 u_m}{\partial z_m^2} + \frac{\omega^2}{v_{sm}^2} u_m = 0 \quad (4.16)$$

Buradaki u_{sm}^* ise 4.17 nolu eşitlik ile belirlenir.

$$v_{sm}^* = \sqrt{\frac{G_m(1+2i\zeta_m)}{\rho_m}} \quad (4.17)$$

4.16 nolu ikinci mertebeden adi diferansiyel denklemin çözümü 4.18 nolu eşitlikte gösterilmiştir.

$$u_m(z_m) = c_1 \sin(\alpha_m z_m) + c_2 \cos(\alpha_m z_m) \quad (4.18)$$

Burada α_m 4.19 nolu eşitlikle tanımlanmıştır.

$$\alpha_m = \sqrt{\frac{\omega}{v_{sm}^*}} \quad (4.19)$$

m'inci tabakanın başlangıcında aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$z_m = 0 \Rightarrow u_m = c_2 \quad (4.20)$$

Tabakanın en altında ise 4.21 eşitliği yazılabilir.

$$z_m = h_m \Rightarrow u_{m+1} = c_1 \sin(\alpha_m h_m) + c_2 \cos(\alpha_m h_m) \quad (4.21)$$

4.20 ve 4.21 nolu denklemler matris formda 4.22 nolu eşitlikle gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \sin(\alpha_m h_m) & \cos(\alpha_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

m'inci tabaka için kayma gerilmesi 4.23 nolu eşitlik ile hesaplanabilir.

$$r_m(z) = G_m^* \frac{du_m}{dz_m} = G_m^* \frac{du_m}{dz_m} = G_m^* \left[c_1 \cos(\alpha_m z_m) - c_2 \alpha_m \sin(\alpha_m z_m) \right] \quad (4.23)$$

m'inci tabakanın başlangıç ve bitiş noktalarındaki kayma gerilmeleri 4.24 ve 4.25 nolu eşitlikler ile belirlenebilir.

$$r_m = -G_m^* a_m \quad (4.24)$$

$$r_{m+1} = G_m^* [c_1 a_m \cos(\alpha_m h_m) - c_2 a_m \sin(\alpha_m h_m)] \quad (4.25)$$

4.24 ve 4.25 nolu eşitlikler matris formda 4.26 nolu eşitlik şeklinde gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} r_m \\ r_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G_m^* a_m & 0 \\ G_m^* a_m \sin(\alpha_m h_m) & -G_m^* a_m \sin(\alpha_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

4.22 ve 4.26 nolu matris denklemlerden 4.27 nolu matris denklem elde edilir.

$$\begin{bmatrix} r_m \\ r_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) & -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m) \\ -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m) & G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

4.27 numaralı denkleme 4.28 ve 4.29 nolu Ricatti dönüşümleri uygulanırsa 4.30 nolu matris denklem elde edilir (Choi, 2003; Rong ve diğerleri, 2011; Ozturk ve Bozdoğan, 2017).

$$r_m = -S_{m-1} u_m \quad (4.28)$$

$$r_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (4.29)$$

$$\begin{bmatrix} G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) & -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m) \\ -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m) & G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -S_{m-1} u_m \\ S_m u_{m+1} \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

4.30 nolu matris denklemin ilk satırı 4.31 nolu eşitlikte gösterildiği şekilde yazılabilir:

$$G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) u_m - G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m) u_{m+1} = -S_{m-1} u_m \quad (4.31)$$

4.31 nolu matris denklemden u_m çekilirse 4.32 nolu eşitlik bulunur.

$$u_m = \frac{G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) + S_{m-1}]} u_{m+1} \quad (4.32)$$

4.30 nolu matris denklemden 4.33 nolu eşitliğe ulaşılabilir.

$$-G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m) u_m + G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) u_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (4.33)$$

4.32 nolu eşitlik 4.33 nolu denklemde yerine yazılırsa 4.34 nolu eşitlik elde edilir.

$$\frac{-G_m^* a_m^2 \operatorname{cosec}^2(\alpha_m h_m)}{G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) + S_{m-1}} u_{m+1} + G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) u_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (4.34)$$

4.34 nolu denklemden 4.35 nolu eşitlik elde edilir.

$$S_m = \frac{-G_m^* a_m^2 + S_{m-1} G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m)}{G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m) + S_{m-1}} \quad (4.35)$$

Sınır koşulları sebebiyle en üst tabakanın üstünde kayma gerilmesi sıfırdır. Buradan 4.36 nolu eşitlik yazılabilir.

$$r_1 = 0 \quad (4.36)$$

4.36 nolu eşitlik 4.30 nolu matris denklemde yerine konursa S_1 4.37 nolu eşitlik şeklinde elde edilir.

$$S_1 = \frac{-G_1^* a_1 \operatorname{cosec}^2(\alpha_1 h_1)}{\cot(\alpha_1 h_1)} + G_1^* a_1 \cot(\alpha_1 h_1) \quad (4.37)$$

4.30 nolu matris denklemden 4.38 nolu eşitlik yazılabilir.

$$u_m = \frac{[G_m^* a_m \cot(\alpha_m h_m)] - S_{m-1}}{G_m^* a_m \operatorname{cosec}(\alpha_m h_m)} u_{m+1} \quad (4.38)$$

N'inci tabakanın üzerindeki yer değiştirme 4.39 nolu denklemde gösterildiği gibi 1 birim alınırsa 4.38 nolu eşitliğin ardışık olarak uygulanmasıyla u_1 elde edilir.

$$u_{N-1} = 1 \quad (4.39)$$

U_N 'in bulunması için ise 4.40 nolu denklemden yararlanılabilir.

$$r_{N-1} = S_{n-2}u_{n-1} = S_{n-2} \quad (4.40)$$

Son tabaka için Kramer'in yönteminde geçen yaklaşımdan faydalanılacaktır. Buna göre

$$A_{N-1} + B_{N-1} = 1 \quad (4.41)$$

$$A_{N-1} - B_{N-1} = \frac{S_{N-2}}{k_{N-1}^* G_{N-1}^* i} \quad (4.42)$$

eşitlikleri yazılabilir. Buna göre 4.41 ve 4.42 nolu eşitliklerden A_{N-1} ve B_{N-1} aşağıdaki 4.43 ve 4.44 nolu eşitliklerle sağlanır.

$$A_{N-1} = \frac{S_{N-2}}{2k_{N-1}^* G_{N-1}^* i} + \frac{1}{2} \quad (4.43)$$

$$B_{N-1} = 1 - A_{N-1} \quad (4.44)$$

N'nci tabaka için ise 4.45 ve 4.46 nolu eşitlikler oluşturulur.

$$A_N = \frac{1}{2} A_{N-1} (1 + a_{N-1}^* e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}}) \quad (4.45)$$

$$B_N = \frac{1}{2} A_{N-1} (1 - a_{N-1}^*) e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}} + \frac{1}{2} B_{N-1} (1 + a_{N-1}^*) e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}} \quad (4.46)$$

U_N bu durumda 4.47 nolu eşitlikle sağlanır.

$$u_n = |A_n| + |B_n| \quad (4.47)$$

En üstteki yer değiştirme ile en alttaki yer değiştirmenin oranı olarak tanımlanan transfer fonksiyonu ise 4.48 nolu eşitlik ile elde edilmiş olur.

$$F_{1N} = \left| \frac{u_1}{u_N} \right| \quad (4.48)$$

Bu tez kapsamında sunulan yöntemle kısa sürede elde edilen transfer fonksiyonlarından yararlanılarak frekans alanında doğrusal ve eşdeğer doğrusal analizler kolaylıkla yapılabilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 30 Ekim 2020 Sisam ve 6 Şubat 2023 Pazarcık depremlerinde meydana gelen zemin büyütme incelenmiştir. Çalışmada ele alınan zemin profillerinin bir boyutlu dinamik analizleri Deepsoil programı kullanılarak yapılarak zemin büyütme incelenmiştir. Analizler dekonvolüsyon işlemi uygulanarak ve dekonvolüsyonsuz olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Frekans alanında doğrusal ve eşdeğer doğrusal ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sisam depremi altında Bayraklı bölgesinde analiz sonuçları incelendiğinde büyütme değerlerinin 2 ile 7,5 oranları arasında değiştiği gözlenmiştir. Zemin hâkim periyodu ile yıkılan binaların doğal periyotlarının çakıştığı anlaşılmıştır.

Pazarcık depreminin etkili olduğu çeşitli bölgelerde yapılan analiz sonucu büyütme oranları 1-6 oranları arasında değerler aldığı görülmüştür. Tüm istasyonlara ve Antakya merkeze ait zemin profillerinin analiz sonuçları incelendiğinde büyütme oranlarının zeminlerin hâkim periyotlarını içeren periyot aralıklarında yoğunlaştıkları görülmektedir.

Zeminler ile yapıların doğal titreşim periyotlarının çakıştığı periyot aralığında rezonans etkisi sebebiyle depremin etkisinin arttığı ve binalara etkiyen ivmelerin büyüdüğü bilinmektedir. Bu sebeple zemin büyütmesinin yapı tasarımında mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği anlaşılmıştır.

Dekonvolüsyon işlemi uygulanan analiz sonuçları dekonvolüsyon işlemi uygulanmamış analiz sonuçlarından daha yüksek büyütme değerleri vermiştir. Ayrıca ana kaya kayma dalgası hızının da sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Analiz türü değişikçe ivmelerin en yüksek değeri, periyot içeriği ve büyütme oranları değişmektedir. Bu da zeminlerin dinamik davranışının analizinde analiz türünün etkisini göstermektedir. Sahaya özel tepki analizi yapılacağı zaman tüm analiz türleriyle analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

Zeminlerin yerel koşulları ve geoteknik özelliklerinin deprem yükleri üzerindeki sönümleyici veya büyütücü etkisi dikkate alınmalıdır. Özellikle deprem aktivitesi yüksek ve/veya zayıf zemine sahip bölgelerde yapılacak projelerde statik hesaplamaların yanı sıra yapı-zemin etkileşimini de dikkate alan dinamik analizlerin yapılması şiddetle tavsiye

edilmektedir. Çalışma kapsamında önerilen Değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi ileriki çalışmalarda geliştirilerek zeminlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizine uygulanabili



KAYNAKLAR

- Afacan, K. B. & Güler, E.** (2019). Yeni Deprem Yönetmeliği Performansının Zemin Büyütme Analizi İle Belirlenmesi. 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES),Ankara.
- AFAD.** (2022). <https://tadas.afad.gov.tr/>
- Akdoğan, P.** (2019). *Dynamic Soil Amplification in Saturated Soil Profiles Using Effective Stress Based Nonlinear Methods*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül University, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Alcık, H.** (2018). “Investigation of local site responses at the Bodrum peninsula (Southwest of Turkey) using the mainshock and aftershocks of the 20 July 2017 MW6.6 Bodrum-Kos earthquake. *Annals of Geophysics*, 61(3). doi:10.4401/ag-7637
- Alielahi, H. & Adampira, M.** (2016). Effect of twin-parallel tunnels on seismic ground response due to vertically in-plane waves. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 85, 67–83. doi:10.1016/j.ijrmms.2016.03.010
- Alvarado, P., Christiansen, R., Gregori, S. D. & Saez, M.** (2020). Evidence of site amplification from ground motion of the last two large crustal earthquakes in central-western Argentina. *Natural Hazards*, 102(3), 1011–1031. doi:10.1007/s11069-020-03943-8
- Amir-Faryar, B., Aggour, M. S., & McCuen, R. H.** (2016). Universal model forms for predicting the shear modulus and material damping of soils. *Geomechanics and Geoengineering*, 12(1), 60–71. doi:10.1080/17486025.2016.1162332
- Arslan, E.** (2019). *Zemin Büyütmesinin Eşdeğer Lineer Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi: Bursa Osmangazi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Asimaki, D., Mohammadi, K., Ayoubi, P., Mayoral, J. M. & Montalva, G.** (2020). Investigating the spatial variability of ground motions during the 2017 Mw 7.1 Puebla-Mexico City earthquake via idealized simulations of basin effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 132(February), 106073. doi:10.1016/j.soildyn.2020.106073
- Ates, E.** (2020). Comparison of Horizontal/Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya. *Türk Deprem Arastırma Dergisi*, 2(2), 160–175. doi:10.46464/tdad.746926
- Aydın, C.** (2018). *Dinamik Özellikleri Belirlenen Sıkıştırılmış Killi Kalın Bir Zemin Tabakasının Tek Boyutlu Sismik Yer Tepki Analizleri* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Burcu, A., Hasal, M. E., Özaslan, B., & Iyisan, R.** (2019). Alüvyon Bir Saha İçin

Düzenlenen Dinamik Davranış Analizlerinde Deprem Giriş Hareketi Yeri Seçiminin Tasarım Spektrumuna Etkisi, 8. *Uluslararası Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye: 13-15 Kasım.

- Bajaj, K. & Anbazhagan, P.** (2019). Comprehensive amplification estimation of the Indo Gangetic Basin deep soil sites in the seismically active area. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 127. doi:10.1016/j.soildyn.2019.105855
- Basu, D., Boga, M. & Dey, A.** (2019). A time-domain nonlinear effective-stress non-Masing approach of ground response analysis of Guwahati city, India. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 18(1), 61–75. doi:10.1007/s11803-019-0490-0
- Bergamo, P., Panzera, F., Perron, V. & Fah, D.** (2022). A national ground motion amplification model for Switzerland based on site proxies and incorporating local response observations at instrumented sites. 3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology, Bucharest, Romania.
- Bilican, O., Bozdoğan, K.B., Keskin, E.** (2021). Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transport Matrix Method, *Turk. J. Earthq. Res.* 3 (1), 53- 74, <https://doi.org/10.46464/tdad.929449>
- Borcherdt, R. D.** (1991). On the observation, characterisation, and predictive GIS mapping of strong ground shaking for seismic zonation. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 24(4), 287–305. doi:10.5459/bnzsee.24.4.287-305
- Stambouli, A. B., Zendagui, D., Bard, P. Y. ve Dif, H.** (2020). Influence of site parameters on fourier amplification application for 1d linear viscoelastic method. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 65(1), 229–241. doi:10.3311/PPci.12601
- Bowden, D. C. & Tsai, V. C.** (2017). Earthquake ground motion amplification for surface waves. *Geophysical Research Letters*, 44(1), 121–127. doi:10.1002/2016GL071885
- Ceren, K. & Karakan, E.** (2020). Zemin Analizleriyle Dinamik Davranış Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Pilot Bir Çalışma: Kahramanmaraş İli Üngüt Mahallesi Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1), 146–156. doi:10.21324/dacd.582328
- Cetin, K. O., Cakir, E., & Zarzour, M.** (2022). Historical and Futuristic Perspectives on Seismic Site Effects in Türkiye- İzmir-Bayraklı Basin. doi:10.21203/rs.3.rs-2251104/v1
- Chen, H., Tsai, V. C. & Niu, F.** (2018). Observations and Modeling of Long-Period Ground-Motion Amplification Across Northeast China. *Geophysical Research Letters*, 45(12), 5968–5976. doi:10.1029/2018GL078212
- Choi, M.S.** (2003). Free Vibration Analysis of Plate Structures Using Finite Element-Transfer Stiffness Coefficient Method, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 17(6), pp. 805-815.
- Choudhury, D. & Savoikar, P.** (2009). Equivalent-linear seismic analyses of MSW

landfills using DEEPSOIL. *Engineering Geology*, 107(3–4), 98–108.
doi:10.1016/j.enggeo.2009.05.004

- Cıvelekler, E., Okur, D. V. & Afacan, K. B.** (2018). Eşdeğer Analiz Yöntemi İle Belirlenen Zeminin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği, *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018)*, (1824), 18–21, 2018, Eskişehir.
- Darendeli, B. M.** (2001). *Develope of a new family of normalize modulus reduction and material damping curves* (Doktora Tezi). Univ. of Texas at Austin., 362 p.
- Ding, Y., Wang, G. & Yang, F.** (2020). Parametric investigation on the effect of near-surface soil properties on the topographic amplification of ground motions. *Engineering Geology*, 273(105687), 105687.
doi:10.1016/j.enggeo.2020.105687
- Du, W. ve Pan, T. C.** (2016). Site response analyses using downhole arrays at various seismic hazard levels of Singapore. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 90, 169–182. doi:10.1016/j.soildyn.2016.08.033
- Feyizoğlu, T.** (2020). *Yerel Zemin Sınıfı ve Deprem Özelliklerinin Tek Boyutlu Dinamik Davranışa Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Gelis, C., Cauchie, L., Cushing, E. M. ve Froment, B.** (2022). Estimation of the Local Seismic Amplification on an Industrialized Site in the French Rhône Valley. *Pure and Applied Geophysics*, 179(6–7), 2119–2145.
doi:10.1007/s00024-022-03069-x
- Gok, E., Chávez-García, F. J. ve Polat, O.** (2014). Effect of soil conditions on predicted ground motion: Case study from Western Anatolia, Turkey. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 229, 88–97.
doi:10.1016/j.pepi.2014.01.011
- Gücek, S.** (2020). *Arazi Deneylerine Dayalı Zein Büyütmesi ve Sıvılaştırma Analizleri: Afyonkarahisar- Uydükent Yerleşim Örneği* (Doktora Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Gürtürk, C. C. ve Selçuk, M. E.** (2021). Investigation of parameters affecting the soil amplification by means of 1-D analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1141(1), 012030. doi:10.1088/1757-899x/1141/1/012030
- Güzel, M., Bozdağ, Ş. ve Özçep, F.** (2009). Mikrobölgeleme Çalışmalarında Zemin Büyütmesi Ölçütü (Kuzey Adana Örneği). *Ç.Ü. MÜH. MİM. FAK. DERGİSİ*, 24(1-2), 229–236.
- Han, C., Yu, J., Liu, W. Z., Yuan, J. L., Fu, X. B. ve Hou, X. P.** (2019). Numerical simulation of ground motion amplification in Modong area, Lushan. *Applied Geophysics*, 16(3), 277–290. doi:10.1007/s11770-019-0776-z
- Hardin, B. O., & Drnevich, V. P.** (1972). Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 98(7), 667–692. doi:10.1061/jsfeaq.0001760
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D.** (2020). DEEPSOIL 7.0, User Manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois

at Urbana-Champaign.

- Huang, D., Sun, P., Jin, F. ve Du, C.** (2021). Topographic amplification of ground motions incorporating uncertainty in subsurface soils with extensive geological borehole data. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141(May 2020), 106441. doi:10.1016/j.soildyn.2020.106441
- Ishibashi, I.** (1992). Discussion of “effect of soil plasticity on cyclic response” by Vucetic, M. and Dobry, R. *Journal of Geotechnical Engineering*, 118(5), 830–832.
- İyisan, R.** (1996). Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı İle Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıklar. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, Cilt 7, Sayı 2, s.1187-1199.
- Jeong, S. ve Bradley, B. A.** (2017). Amplification of strong ground motions at Heathcote Valley during the 2010–2011 Canterbury earthquakes: Observation and 1D site response analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100(May), 345–356. doi:10.1016/j.soildyn.2017.06.004
- Kaptan, K., Tezcan, S.** (2012) Deprem Dalgalarının Zemin Büyütmesi Üzerine Örnekler. *TÜBAV Bilim Dergisi* , 5 (4) , 17-32
- Kham, M., Semblat, J. F. ve Bouden-Romdhane, N.** (2013). Amplification of seismic ground motion in the tunis basin: Numerical BEM simulations vs experimental evidences. *Engineering Geology*, 155, 80–86. doi:10.1016/j.enggeo.2012.12.016
- Kim, B.** (2019). Mapping of ground motion amplifications for the Fraser River delta in Greater Vancouver, Canada. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 18(4), 703–717. doi:10.1007/s11803-019-0531-8
- Kim, S., Hwang, Y., Seo, H. ve Kim, B.** (2020). Ground motion amplification models for Japan using machine learning techniques. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 132(2020), 106095. doi:10.1016/j.soildyn.2020.106095
- Kramer, S. L.** (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. (k. kayabalı, Çev.) new jersey: prentice hall.
- Kumar, L. ve Narayan, J. P.** (2020). Computation of Ground Motion Amplification Scenario in NCT Delhi for Earthquake Engineering Purposes and Seismic Microzonation. *Pure and Applied Geophysics*, 177(8), 3797–3829. doi:10.1007/s00024-020-02420-4
- Kwak, D., Ahn, J. K., Seo, H., Kang, S. ve Kim, B.** (2022). Single-path ground motion amplifications during the 2020 Haenam, South Korea, swarm. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(10), 4937–4959. doi:10.1007/s10518-022-01386-z
- Li, P. & Zhou, K.** (2022). The study of ground motion amplification based on an SMASS array site. *Front. Earth Sci.* 10:934206. doi: 10.3389/feart.2022.934206
- Liang, J., Zhang, J. ve Ba, Z.** (2012). Amplification of in-plane seismic ground motion by group cavities in layered half-space (I). *Earthquake Science*, 25(4), 275–285. doi:10.1007/s11589-012-0853-3
- Ma, N., Wang, G., Kamai, T., Doi, I., & Chigira, M.** (2019). Amplification of seismic

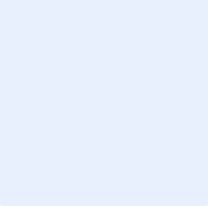
- response of a large deep-seated landslide in Tokushima, Japan. *Engineering Geology*, 249, 218–234. doi:10.1016/j.enggeo.2019.01.002
- Mahmood, K., Khan, S. A., Iqbal, Q., Karim, F. ve Iqbal, S.** (2020). Equivalent Linear and Nonlinear Site-Specific Ground Response Analysis of Pashto Cultural Museum Peshawar, Pakistan. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 44(s1), 179–191. doi:10.1007/s40996-020-00346-4
- Mahmood, K., Rehman, Z., Farooq, K., Memon, S. A.** (2016). One dimensional equivalent linear ground response analysis - A case study of collapsed Margalla Tower in Islamabad during 2005 Muzaffarabad Earthquake. *Journal of Applied Geophysics*, 130, 110–117. doi:10.1016/j.jappgeo.2016.04.015
- Matassoni, L. ve Fiaschi, A.** (2020). Assessment of seismic ground motion amplification and liquefaction at a volcanic area characterized by residual soils. *Journal of Mountain Science*, 17(3), 740–752. doi:10.1007/s11629-019-5753-8
- Mendicelli, A., Falcone, G., Acunzo, G., Mori, F., Naso, G., Peronace, E., Porchia, A., Romagnoli, G., Moscatelli, M.** (2022). Italian seismic amplification factors for peak ground acceleration and peak ground velocity. *Journal of Maps*. doi:10.1080/17445647.2022.2101947
- Menq, F. Y.** (2003). *Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils* (doktora tezi). Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas, Austin, Texas.
- Midorikawa, S.** (1987). Prediction of Isoseismal Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake. *Journal of Structural Dynamics*, 33(B), 43–48.
- Nar, D.** (2016). *Kocaeli Gölcük İlçesi Çöküntü Bölgesi Yerel Zemin Özelliklerinin Sismolojik ve Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri ile Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması* (Doktora Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Nuhoğlu, A., Erener, M. F., Hızal, Ç., Kıncal, C., Erdoğan, D. Ş., Özdağ, Ö. C., Akgün, M., Ercan, E., Kalfa, E., Köksal, D., İpek, Y. & Sezer, A.** (2021). A reconnaissance study in Izmir (Bornova Plain) affected by October 30, 2020 Samos earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction: IJDRR*, (102465), 102465. doi:10.1016/j.ijdr.2021.102465
- Özaslan, B., Karadoğan, Ü., Seyedi-viand, S. M. ve Fard, M. M.** (2016). DYNAMIC SOIL BEHAVIOR AROUND TUNNELS UNDER EARTHQUAKE EXCITATION. *Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu*, Karabük, Türkiye: Mart 2-4.
- Ozer, C.** (2017). Analysis of Soil Transfer Function in Izmir Metropolitan Area, Turkey. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, 5(1), 63–70. doi:10.9790/0990-0501026370
- Özer, Ç.** (2019). Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik Dergisi*, 21(61), 247–257. doi:10.21205/deufmd.2019216124
- Özkan M.Y.** (2017) *Zemin Dinamiğine Giriş*. Nobel Yayın Dağıtım, 316, Ankara.

- Öztürk, D., & Bozdoğan, K. B.** (2017). A Method for Determination of the Fundamental Period of Layered Soil Profiles. *J Appl.Comp.Mech.* 3 (2017), No.4, 267-273.
- Özyazıcıoğlu, M., Dönmezçelik, K., Orhan, S. N. ve Özkan, M. Y.** (2019). Erzincan İli Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Mikrobölgeleme Çalışması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 90(442), 1–6. doi:10.21324/dacd.457438
- Pamuk, E.** (2019). Investigation of the local site effects in the northern part of the eastern anatolian region, Turkey. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 60(4), 549–568. doi:10.4430/bgta0291
- Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., Tunçel, A., Özyalın, Ş. ve Akgün, M.** (2018). Local site effects evaluation for Aliağa/İzmir using HVSR (Nakamura technique) and MASW methods. *Natural Hazards*, 90(2), 887–899. doi:10.1007/s11069-017-3077-y
- Panzer, F., Halldorsson, B. ve Vogfjörð, K.** (2017). Directional effects of tectonic fractures on ground motion site amplification from earthquake and ambient noise data: A case study in South Iceland. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97(March), 143–154. doi:10.1016/j.soildyn.2017.03.024
- Perk, Ş. ve Özer, Ç.** (2019). İvme-Ölçer istasyonları altındaki Zemin Özelliklerinin Deprem Kaydı Kullanılarak İncelenmesi: Hatay Örneği, Türkiye. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 167–179. doi:10.46464/tdad.652332
- Poursartip, B., Fathi, A. ve Kallivokas, L. F.** (2017). Seismic wave amplification by topographic features: A parametric study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92(July 2016), 503–527. doi:10.1016/j.soildyn.2016.10.031
- Psarropoulos, P. N., Tazoh, T., Gazetas, G. ve Apostolou, M.** (2007). Linear and nonlinear valley amplification effects on seismic ground motion. *Soils and Foundations*, 47(5), 857–871. doi:10.3208/sandf.47.857
- Puri, N., Jain, A., Mohanty, P. ve Bhattacharya, S.** (2018). Earthquake Response Analysis of Sites in State of Haryana using DEEPSOIL Software. *Procedia Computer Science*, 125, 357–366. doi:10.1016/j.procs.2017.12.047
- Roblee, C., & Chiou, B.** (2004). *A proposed Geindex model for design selection of non-linear properties for site response analysis*. The International Workshop on Uncertainties in Nonlinear Soil Properties and Their Impact on Modelling Dynamic Soil Response.
- Rong, B., Rui, X.T., Wang, G.P.** (2011). Modified Finite Element Transfer Matrix Method for Eigenvalue Problem of Flexible Structures, *Journal of Applied Mechanics*, 78(2), 021016.
- Saban, Ö.** (2010). *Hatay İli Merkezinin Antakya Belediye Sınırları İçerisinde Zeminin “Kırılma Mikrotremor (ReMi)” Yöntemi İle İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Saraçoğlu, F.** (2017). *Farklı Zeminlerde Üst Yapıya Etkiyen Deprem Yüğü Hesabı İçin Normalize Davranış Spektrumu Önerisi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul.

- Sedaghati, F., Pezeshk, S. ve Nazemi, N.** (2018). Site amplification within the Mississippi embayment of the central United States: Investigation of possible differences among various phases of seismic waves and presence of basin waves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 534–544. doi:10.1016/j.soildyn.2018.04.017
- Seed, H.B., Idriss, I. M.** (1970). Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses (Rep. No. EERC-70/10). Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Selçuk, L. ve Aydın, H.** (2012). Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Zeminlerin Kuvvetli Yer Hareketine Etkisi: 2011 Van Depremleri. *Jeoloji Muhendisligi Dergisi*, 36(2), 75–97.
- Semblat, J. F., Lokmane, N., Driad-Lebeau, L. ve Bonnet, G.** (2010). Local amplification of deep mining induced vibrations part.2: Simulation of ground motion in a coal basin. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(10), 947–957. doi:10.1016/j.soildyn.2010.04.006
- Shani-Kadmiel, S., Volk, O., Gvirtzman, Z. ve Tsesarsky, M.** (2020). Ground motion amplification atop the complex sedimentary basin of Haifa Bay (Israel). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(3), 821–836. doi:10.1007/s10518-018-00533-9
- Shima, E.** (1978). Seismic microzonation map of Tokyo, Proceeding 2nd International Earthquake Microzonation Conference, San Francisco, CA, 1433-443.
- Sica, S., Dello Russo, A., Rotili, F. ve Simonelli, A. L.** (2014). Ground motion amplification due to shallow cavities in nonlinear soils. *Natural Hazards*, 71(3), 1913–1935. doi:10.1007/s11069-013-0989-z
- Şişman, F. N.** (2013). *Estimation of dynamic soil properties and soil amplification ratios with alternative techniques* (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Subaşı, O., Haşal, M. E., Özaslan, B., İyisan, R., Yamanaka, H. ve Chimoto, K.** (2019). Bir Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması. *Teknik Dergi*, 30(5), 9459–9481. doi:10.18400/TEKDERG.399710
- Sun, Q., Dias, D., Guo, X. ve Li, P.** (2019). Numerical study on the effect of a subway station on the surface ground motion. *Computers and Geotechnics*, 111(October 2018), 243–254. doi:10.1016/j.compgeo.2019.03.026
- Trifunac, M. D., & Todorovska, M. I.** (2000). Can aftershock studies predict site amplification factors? Northridge, CA, Earthquake of 17 January 1994. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 233-25.
- Tunçel, A., Özdağ, Ö. C., Pamuk, E. ve Akgün, M.** (2019). Mikrotremor Verisi Kullanılarak Zeminlerin Dinamik Büyütme Faktörü Değerlerinin Hesaplanması: İzmir (Kuzey) Örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 43–52. doi:10.17341/gazimmfd.416459
- Türköz, M.** (2019). The Effect of Soil Type and Different In-situ Test Results on Soil Amplification Analysis. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1187–1196. doi:10.24012/dumf.589196

- Ulutaş, E., Livaoğlu, H.** (2018). Tek İstasyon Kuvvetli Yer Hareketi Kullanılarak Homojen Sönümlü Zeminler için Yer Transfer Fonksiyonu. *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli.
- Vucetic, M., & Dobry, R.** (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(1), 89–107. doi:10.1061/(asce)0733-9410(1991)117:1(89)
- Wang, L., Wu, Z., Xia, K., Liu, K., Wang, P., Pu, X. ve Li, L.** (2018). Amplification of thickness and topography of loess deposit on seismic ground motion and its seismic design methods. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 126. doi:10.1016/j.soildyn.2018.02.021
- Yalçınkaya E.** 2010. Zemin neden bu kadar önemli. *Jeofizik Bülteni* 63, 77-80.
- Yalçınkaya, E. ve Alptekin, Ö.** (2003). Dinar’da Zemin Büyütmesi ve 1 Ekim 1995 Depreminde Gözlenen Hasarla İlişkisi. *Yerbilimleri* , 24 (27) , 1-13 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yerbilimleri/issue/13623/165073>
- Yayla, F. O.** (2011). *Antakya Kent Merkezinde Sismik Hızlardan Hareketle Zemin Parametrelerinin Elde Edilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Hatay.
- Yeşil, Y.** (2012). *Zemin Büyütmesinin Sismik Hızlardan Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yılmazoğlu, M. U. ve İnce, G. Ç.** (2022). Investigation of the soil behaviour of Fethiye District, Mesudiye, Muğla, by one-dimensional equivalent linear analysis method. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9), 0–14. doi:10.1007/s12517-022-10054-0
- Zhang, Z., Fleurisson, J. A. ve Pellet, F. L.** (2018). A case study of site effects on seismic ground motions at Xishan Park ridge in Zigong, Sichuan, China. *Engineering Geology*, 243, 308–319. doi:10.1016/j.enggeo.2018.07.004

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı		
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Doktora	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Program Adı	

Makale ve Bildiriler