



**ARAZİ DENEYLERİNE DAYALI ZEMİN
BÜYÜTMESİ VE SIVILAŞMA ANALİZLERİ:
AFYONKARAHİSAR-UYDUKENT
YERLEŞİM ALANI ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Süleyman GÜCEK

Danışman

Doç. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2020

Bu tez çalışması 17.FENBİL.43 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ARAZİ DENEYLERİNE DAYALI ZEMİN BÜYÜTMESİ VE
SIVILAŞMA ANALİZLERİ: AFYONKARAHİSAR-UYDUKENT
YERLEŞİM ALANI ÖRNEĞİ

Süleyman GÜCEK

Danışman

Doç. Dr. İsmail ZORLUER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2020

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/07/2020



Süleyman GÜCEK

ÖZET

Doktora Tezi

ARAZİ DENEYLERİNE DAYALI ZEMİN BÜYÜTMESİ VE SIVILAŞMA ANALİZLERİ: AFYONKARAHİSAR-UYDUKENT YERLEŞİM ALANI ÖRNEĞİ

Süleyman GÜCEK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail ZORLUER

Dinamik yükler altındaki yapılarda hasara neden olan önemli faktörlerden bir tanesi yerel zemin özellikleridir. Taşıma gücü kaybı, zemin büyütme, sıvılaşma, oturma gibi zemin problemlerinin temel nedeni deprem sırasında bu özelliklerinin değişimidir. Özellikle zemin büyütmesi ve sıvılaşma; ana kaya derinliği, zemin tabakalarının kalınlığı ve cinsi, zeminin dinamik özellikleri, tabakaların süreksizliği ve bölgenin topoğrafik yapısı gibi parametrelerden etkilenmektedir. Bu parametrelere bağlı olarak meydana gelen yapısal hasarların önlenmesi veya olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi için zeminlerin, yerel zemin koşullarına bağlı olarak bu yükler altında nasıl bir davranış sergileyeceğinin araştırılması, zemin büyütme ve sıvılaşma analizlerinin önceden yapılması ve değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla, Ana kaya mostrasındaki yer hareketi olarak 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine uygun olarak seçilmiş olan 11 farklı deprem verisi kullanılarak bir boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle bölgede yapılmış olan 124 farklı sondaj verisi değerlendirilerek yerel zemin özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen yerel zemin özelliklerinin dinamik davranışa etkisini incelemek için bir boyutlu DEEPSOIL analiz programı kullanılmıştır. Bir boyutlu eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapılarak her sondaj için farklı büyütme değerleri elde edilmiştir. Aynı sondaj verileri kullanılarak ampirik yöntemlerle büyütme değerleri

hesaplanarak analiz ve ampirik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan zemin dinamik analizleri sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı oluşum değerleri dikkate alınarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. Bir boyutlu analizler ve ampirik yöntemlere göre elde edilmiş olan sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak ayrı ayrı haritalandırılmıştır. Doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılması; deprem etkisi altında bina temellerinin tasarımı, yerel zemin sınıflarının tanımlanması ve istinat yapıları ile şevlerin tasarımında kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesindeki maliyeti azaltacağı düşünülmektedir. Deprem hasarlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar kapsamında, şehirleşmenin ve nüfusun çalışma bölgesinde yoğunlaştığı dikkate alınarak Afyonkarahisar uydukent bölgesi için güvenli yerleşim alanlarının belirlenmesi planlanmıştır.

2020, xvii + 162 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bir Boyutlu Dinamik Analiz, Eşdeğer Doğrusal Analiz, Doğrusal Olmayan Analiz, Zemin Büyütme, Sıvılaşma, Mikrobölgeleme.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

SITE BASED SOIL AMPLIFICATION AND LIQUEFACTION ANALYSIS: A CASE STUDY ON UYDUKENT SETTLEMENT AREA AFYONKARAHISAR

Süleyman GÜCEK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İsmail ZORLUER

One of the important factors causing damage in structures under dynamic loads is local soil properties. The main reason for ground problems such as loss of bearing power, liquefaction, sitting is the change of these properties during the earthquake. It is particularly affected by parameters such as soil amplification, bedrock depth, thickness and type of ground layers, dynamic properties of the ground, discontinuity of layers and topographic structure of the region. In order to prevent structural damages caused by soil augmentation or to reduce their negative effects, it is of great importance to investigate how soil will behave under these loads depending on local soil conditions, to make and evaluate soil augmentation analyzes in advance.

This study aimed to investigate the effect of local soil conditions on the soil amplification, bedrock outcrops chosen as the place of action in accordance with Regulation 11 Turkey Earthquake Building a dynamic analysis using different dimensional seismic data was conducted. For this purpose, firstly 124 different drilling data made in the region were evaluated and local soil characteristics were determined. DEEPSOIL software was used to examine the effect of the determined local soil properties on dynamic behavior. One-dimensional Equivalent linear and nonlinear analyzes were performed and different amplification values were obtained for each drilling and the results of the analysis were compared. Magnification is applied with the empirical methods analyzed, the analysis and empirical results are compared. For the

formation of pore water pressure obtained as a result of nonlinear ground dynamic analysis. It is mapped separately among Geographic Information Systems. Using nonlinear analysis method; It is thought that it will reduce the cost of designing building foundations under earthquake effect, defining local ground classes and determining the ground parameters to be used in the design of retaining structures and slopes. Within the scope of efforts to reduce earthquake damage, it is planned to determine safe settlements for Afyonkarahisar uydukent region, considering that urbanization and population are concentrated in the study area.

2020, xvii + 162 pages

Keywords: One-Dimensional Dynamic Analysis, Equivalent Linear Analysis, Nonlinear Analysis, Earthquake Ground Motion, Liquefaction, Microzonation.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay te z danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail ZORLUER, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hasan TOSUN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Evren SEYREK, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kamil Bekir AFACAN'a ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Te z çalışmasını 17.FENBİL.43 nolu proje ile destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK birimine,

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teşekkür ederim.

Süleyman GCEK
Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
RESİMLER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	9
2.1 Önceki Çalışmalar.....	9
2.2 Zeminin Dinamik Davranışı	25
2.2.1 Zeminin Dinamik Davranışının Modellenmesi.....	34
2.2.2 Zemin Büyütmesi	35
2.2.3 Sıvılaşma	40
2.2.3.1 Sıvılaşma Türleri	45
2.2.3.2 Zeminlerin Sıvılaşabilirliği.....	46
2.2.3.3 Zemin Sıvılaşması İçin Gerekli Koşullar	48
2.3 Mikrobölgeleme Yöntemi.....	54
2.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....	58
2.5 Çalışma Alanının Genel Karakteristikleri.....	60
2.6 Çalışma Alanının Depremselliği	63
3. MATERYAL ve METOT	72
3.1 Saha Çalışmaları	72
3.2 Laboratuvar Çalışmaları	74
3.3 Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi (V_s).....	76
3.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi	80
3.5 Zemin Davranış Analizlerinde Kullanılan Program ve Parametrelerin Tanıtımı 83	
3.5.1 Zemin Büyütme Analizlerinde Kullanılan Parametreler.....	83
3.5.2 Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Parametreler.....	85

3.5.3 Analiz Programının Genel İşleyişi	89
3.6 Örnek Zemin Profilinin Belirlenmesi ve Analiz Uygulamaları	91
3.6.1 Zemin Büyütme Analizi Örnek Uygulamaları	93
3.6.1.1 Zemin Büyütme Analizi Örnek Program Çıktıları	95
3.6.2 Sıvılaşma Analizi Örnek Uygulaması	98
4. BULGULAR	101
4.1 Zemin Davranış Analizleri İle Belirlenen PGA Değerleri.....	101
4.1.1 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle Belirlenen PGA Sonuçları	101
4.1.1.1 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-1 PGA Sonuçları	102
4.1.1.2 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-2 PGA Sonuçları	102
4.1.1.3 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-3 PGA Sonuçları	103
4.1.1.4 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-4 PGA Sonuçları	104
4.1.2 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle Belirlenen PGA Sonuçları.....	104
4.1.2.1 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-1 PGA Sonuçları	104
4.1.2.2 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-2 PGA Sonuçları	105
4.1.2.3 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-3 PGA Sonuçları	106
4.1.2.4 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-4 PGA Sonuçları	106
4.2 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle Zemin Büyütme Analizi	107
4.1.1 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-1'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	108
4.1.2 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-2'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	109
4.1.3 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-3'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	110
4.1.4 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-4'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	112
4.3 Doğrusal Olmayan Yöntem İle Zemin Büyütme Analizi	113
4.3.1 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-1 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	113
4.3.2 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-2 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	115

4.3.3 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-3 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	116
4.3.4 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-4 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları	117
4.4 Zemin Büyütme Analiz Sonuçlarının TBDY 2018'e Göre Değerlendirilmesi .	119
4.4.1 Eşdeğer Doğrusal Yöntemi Zemin Büyütme Analiz Sonuçlarının TBDY 2018'e Göre Değerlendirilmesi.....	119
4.4.2 Doğrusal Olmayan Yöntemi Zemin Büyütme Analiz Sonuçlarının TBDY 2018'e Göre Değerlendirilmesi.....	121
4.5 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle Sıvılaşma Analizi.....	124
4.5.1 Doğrusal Olmayan Analiz İle DD-1'e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları..	124
4.5.2 Doğrusal Olmayan Analiz İle DD-2'ye Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları	125
4.5.3 Doğrusal Olmayan Analiz İle DD-3'e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları..	126
4.5.4 Doğrusal Olmayan Analiz İle DD-4'e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları..	127
4.6 Zemin Büyütme Oranının Kayma Dalgası Hızından Belirlenmesi	130
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	134
6. KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	160

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

M_w	Moment Büyüklüğü
M_s	Yüzey Dalgası Büyüklüğü
cm	Santimetre
V_s	Kayma dalgası hızı
V_{s30}	En üst 30 metre zemin için ortalama kayma dalga hızı değeri
A	Pik yer hızı için relatif büyütme faktörü
V_1	30 m derinlik için ortalama kayma dalgası hızı
V_2	Yarım periyot dalgası için bir çeyrek dalga boyunun ortalama
M	Metre
Hz	Hertz
G	İvme
N	Ham Standart penetrasyon değeri
N_{30}	Standart penetrasyon deneyinde son iki değerin toplamı
G_{max}	Kayma modülü
G	Dinamik kayma modülü
D	Sönüm oranı
G/G_{max}	Modül azalım
T_0	Periyot
Mm	Milimetre
w_n	Doğal su muhtevası
w	Su muhtevası
M	Magnitüd
Kg	Kilogram
Gr	Gram
cm^3	Santimetre küp
m^3	Metreküp
kN	Kilo Newton
%	Yüzde
km	Kilometre
K_0	Sükunetteki yanal zemin basınç katsayısı
A	İçsel sürtünme açısı
c_v	Konsolidasyon oranı
γ	Birim ağırlık
CO_2	Karbondioksit
H_2S	Hidrojen sülfür
ϕ	İçsel sürtünme açısı
D_{50}	Ortalama dane çapı
Dr	Relatif sıkılık oranı

Kısaltmalar

1-D	Bir boyutlu
2-D	İki boyutlu
3-D	Üç boyutlu
AAG	Afyon-Akşehir Grabeni
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHSA	0,2-0,4 s periyot aralığı için ortalama yatay spektral büyütme
ASFS	Akşehir-Simav Fay Sistemi
ASTM	Uluslararası Standart
B	Batı
BAP	Bilimsel Araştırmalar Birimi
CH	Yüksek plastisiteli kil
CL	Düşük plastisiteli kil
CPT	Koni penetrasyon deneyi
ÇFZ	Çobanlar Fay Zonu
D	Doğu
DBF	Dinamik büyütme faktörü
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
DD-2	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2
DD-3	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3
DD-4	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4
DSİ	Devlet Su İşleri
EQL	Eşdeğer doğrusal
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
ID	Kullanıcı adı
ISFZ	Işıklar Fay Zonu
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
JNPT	Jawaharlal Nehru limanı
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
KiK-net	Kiban-Kyoshin ağı
LI	Likidite indeksi
LL	Likit limit
MASW	Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi
MS	Milattan sonra
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
NL	Doğrusal olmayan
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En yüksek hız değeri
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
PSA	En yüksek spektral ivme
SDMT	Sismik Marchetti Dilatometre deneyi

Kısaltmalar (Devamı)

SK	Sondaj kuyusu
SM	Siltli kum
SC	Killi kum
SPT	Standart penetrasyon deneyi
SSL	Kararlı durum çizgisi
STDS	Standart sapma
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Zemin dinamik davranışı (Özener 2012).	32
Şekil 2.2 Statik ve çevrimli yükleme mekanizması (Özener 2012).	33
Şekil 2.3 Zemin tabakalarında yer hareketlerinin etkisi (Akın 2010).	38
Şekil 2.4 Deprem etkisi altında zemin sıvılaşma süreci (Özaydın 2007).	44
Şekil 2.5 1999 Kocaeli Depremi sonucunda Adapazarı'nda elde edilmiş deney sonuçları (Bray vd. 2004, (a) Seed ve Idriss (1982), Wang (1979), (b) Andrews ve Martin (2000) (c) Seed vd. (2003).	50
Şekil 2.6 Sıvılaşma açısından duyarlı tane boyutu aralığı (Iwasaki, 1986).	52
Şekil 2.7 Aşırı konsolidasyon oranının sıvılaşma direncine etkisi (Ishihara ve Takatsu 1979).	54
Şekil 2.8 Afyonkarahisar merkezi genel jeolojik haritası (Ulutürk 2009).	61
Şekil 2.9 Afyonkarahisar bölgesinin genel jeolojisi (MTA).	63
Şekil 2.10 Türkiye'nin etkisi altında kaldığı plakalar ve diri fay hatları.	64
Şekil 2.11 Akşehir-Simav Fay Sistemi'nin a) Türkiye'nin neotektonik haritası içerisindeki yeri b) sistem içerisindeki fayların ve segmentlerin geometrisini gösteren Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd. 2011).	65
Şekil 2.12 2000 yılı sonrası Afyon-Akşehir Graben'inin sismotektonik haritası. (Özkaymak vd. 2019).	69
Şekil 2.13 Afyonkarahisar ve çevresindeki diri faylar (Emre vd. 2018).	70
Şekil 2.14 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018).	71
Şekil 3.1 Çalışma alanındaki sondaj kuyularının genel dağılımı.	73
Şekil 3.2 Afyonkarahisar'da DSİ tarafından yapılan derin su sondajı zemin profili.	75
Şekil 3.3 Çalışma alanındaki sondaj kuyularının laboratuvar test sonuçlarına göre genel zemin profili.	76
Şekil 3.4 Kayma dalgası hızı (V_s) ve SPT-N arasındaki ilişki.	78
Şekil 3.5 Çalışma alanının kayma dalgası hız değişimleri.	79
Şekil 3.6 Analizlerde kullanılan gerçek deprem kayıtlarının ivme-zaman değişimi.	81
Şekil 3.7 Çalışma alanı ivmelerine göre ölçeklendirilen gerçek deprem kayıtları a) DD-1 deprem yer hareketi düzeyi, b) DD-2 deprem yer hareketi düzeyi, c) DD-3 deprem yer hareketi düzeyi, d) DD-4 deprem yer hareketi düzeyi.	82

Şekil 3.8	Analizlerde kullanılan bir boyutlu (1-D) program.	89
Şekil 3.9	Zemin profili parametrelerinin girişi.	90
Şekil 3.10	Oluşturulan zemin profilinin genel görünümü.	90
Şekil 3.11	Analizler için kullanılan deprem kayıtları.	90
Şekil 3.12	Zemin profilinin programa tanımlanması.	91
Şekil 3.13	Zemin özelliklerinin girilmesi, G/G_{max} ve sönüm değerleri tanımlanması. ..	92
Şekil 3.14	DD-2'ye göre SK62 örnek zemin profili için doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yüzeyde elde edilen spektral ivme değerlerinin değişimi.	94
Şekil 3.15	DD-2'ye göre SK62 örnek zemin profili için eşdeğer doğrusal analiz yöntemi ile yüzeyde elde edilen spektral ivme değerlerinin değişimi.	94
Şekil 3.16	PGA değerlerinin derinlikle değişimi.	95
Şekil 3.17	Maksimum şekil değiştirme değerlerinin derinlikle değişimi.	96
Şekil 3.18	Maksimum gerilme oranı değerlerinin derinlikle değişimi.	97
Şekil 3.19	Deplasman değerlerinin derinlikle değişimi.	98
Şekil 3.20	Deprem yer hareketi DD-2'ye göre örnek sondaj kuyusunun sıvılaşma oranı değerlerinin derinlikle değişimi.	99
Şekil 3.21	Deprem yer hareketi DD-2'ye göre örnek sondaj kuyusunun ortalama. sıvılaşma oranı değerlerinin derinlikle değişimi.	100
Şekil 4.1	Çalışma bölgesi için DD-1'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	102
Şekil 4.2	Çalışma bölgesi için DD-2'ye göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	103
Şekil 4.3	Çalışma bölgesi için DD-3'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	103
Şekil 4.4	Çalışma bölgesi için DD-4'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	104
Şekil 4.5	Çalışma bölgesi için DD-1'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	105
Şekil 4.6	Çalışma bölgesi için DD-2'ye göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	105
Şekil 4.7	Çalışma bölgesi için DD-3'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	106
Şekil 4.8	Çalışma bölgesi için DD-4'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.	107
Şekil 4.9	Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	108
Şekil 4.10	Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	109
Şekil 4.11	Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	111
Şekil 4.12	Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	112
Şekil 4.13	Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	114
Şekil 4.14	Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	115

Şekil 4.15 Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	116
Şekil 4.16 Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.	118
Şekil 4.17 Eşdeğer doğrusal yöntem zemin büyütme analiz sonuçlarının TBDY 2018'e göre değerlendirilmesi a)DD-1 deprem yer hareketine göre b)DD-2 deprem yer hareketine göre c)DD-3 deprem yer hareketine göre d)DD-4 deprem yer hareketine göre.	120
Şekil 4.18 Doğrusal olmayan yöntem zemin büyütme analiz sonuçlarının TBDY 2018'e göre değerlendirilmesi a)DD-1 deprem yer hareketine göre b)DD-2 deprem yer hareketine göre c)DD-3 deprem yer hareketine göre d)DD-4 deprem yer hareketine göre.	122
Şekil 4.19 Deprem yer hareketi DD-1'e göre sınıvlaşma analiz haritası.	125
Şekil 4.20 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre sınıvlaşma analiz haritası.	126
Şekil 4.21 Deprem yer hareketi DD-3'e göre sınıvlaşma analiz haritası.	127
Şekil 4.22 Deprem yer hareketi DD-4'e göre sınıvlaşma analiz haritası.	128
Şekil 4.23 Farklı araştırmacılara göre zemin büyütme faktörlerinin karşılaştırması. (TCEGE 1999).	131
Şekil 4.24 Joyner ve Fumal (1984)'e göre zemin büyütme analizi.	132
Şekil 4.25 Midorikawa (1987)'e göre zemin büyütme analizi.	132
Şekil 4.26 Borcherdt (1991)'e göre zemin büyütme analizi.	133

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Zemin Davranışının Belirlenmesine Yönelik (Jeofizik&Geoteknik)..... Araştırmalar (Özçep ve Gündoğdu 2004).....	27
Çizelge 2.2 Zemin büyütme değerine bağlı tehlike düzeyi..... (ISSMFE 1993, ISSMGE/TC4 1999, Özçep 2007).....	40
Çizelge 2.3 Relatif sıkılık oranının(D_r) zemin sınıflandırılması arasındaki ilişki.....	51
Çizelge 2.4 Mikrobölgeleme esasının genel aşamaları (ISSMFE, 1993).....	58
Çizelge 2.5 ASFS üzerinde meydana gelen M:4.5 üzerindeki depremler..... (www.deprem.gov.tr).....	68
Çizelge 2.6 Afyon-Akşehir Graben'de kaydedilen tarihi ve aletsel dönem depremlerin... listesi (www.deprem.gov.tr).	68
Çizelge 2.7 Afyonkarahisar merkezini etkileyebileceği düşünülen fayların özellikleri... (Emre vd. 2018).	71
Çizelge 3.1 Çalışma alanına ait standart penetrasyon deneyi genel N_{30} değerleri.....	73
Çizelge 3.2 Laboratuvar deneylerine ait genel test sonuçları.....	74
Çizelge 3.3 Kayma dalgası hızı (V_s) ve SPT-N'e bağlı literatür bağıntıları..... (Sönmezer 2016).....	77
Çizelge 3.4 Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018).	79
Çizelge 3.5 Analizlerde kullanılan deprem kayıtları (www.deprem.afad.gov.tr).	80
Çizelge 3.6 Çalışma alanının deprem yer hareketi düzeyine göre belirlenen ivme..... değerleri (https://deprem.afad.gov.tr).	82
Çizelge 3.7 Aşırı boşluk suyu basıncı oluşum model ve parametreleri..... (Hashash vd. 2016).	86
Çizelge 3.8 Dobry / Matasovic model parametrelerinin tanımları.....	87
Çizelge 3.9 Matasovic ve Vucetic model parametrelerinin tanımları.	88
Çizelge 4.1 Deprem yer hareketi DD-1'e göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.	109
Çizelge 4.2 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları. ...	110
Çizelge 4.3 Deprem yer hareketi DD-3'e göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.	111
Çizelge 4.4 Deprem yer hareketi DD-4'e göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.	113
Çizelge 4.5 Deprem yer hareketi DD-1'e göre doğrusal olmayan analiz sonuçları.....	114

Çizelge 4.6 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre doğrusal olmayan analiz sonuçları...	116
Çizelge 4.7 Deprem yer hareketi DD-3'e göre doğrusal olmayan analiz sonuçları....	117
Çizelge 4.8 Deprem yer hareketi DD-4'e göre doğrusal olmayan analiz sonuçları....	118
Çizelge 4.9 Kat adedine göre yapı titreşim periyodunun yönetmeliğe ve eşdeğer... doğrusal analiz yöntemine göre karşılaştırılması.....	121
Çizelge 4.10 Kat adedine göre yapı titreşim periyodunun yönetmeliğe ve doğrusal..... olmayan analiz yöntemine göre karşılaştırılması.....	123
Çizelge 4.11 Deprem yer hareketi DD-1'e göre mahallelerinin sıvılaşma analiz sonucu.	125
Çizelge 4.12 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.	126
Çizelge 4.13 Deprem yer hareketi DD-3'e göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.	127
Çizelge 4.14 Deprem yer hareketi DD-4'e göre mahallelerin sıvılaşma analiz sonucu.	128
Çizelge 4.15 Kayma dalgası hızı (V_s) ile büyütme faktörü arasındaki ampirik bağıntılar.	131

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1 Niigata depremi sonrasında sivilaşmaya maruz kalan binalar (JNCEE 1965).	42
Resim 2.2 1906 depreminden sonra San Francisco.	43
Resim 2.3 1999 Kocaeli (İzmit) depremi sırasında Adapazarında sivilaşma etkisi ile... hasar görmüş yapılar (Manav vd. 2019).	43



1. GİRİŞ

İnsan Depremler sırasında oluşan kuvvetli yer hareketinin mühendislik yapılarında meydana getirdiği hasarının büyüklüğünü etkileyen faktörler, deprem kaynak özellikleri, yerel zemin koşulları ve üstyapı özellikleridir. Yerel zemin koşulları ve deprem kaynak özellikleri, zemin yüzeyinde oluşan kuvvetli yer hareketinin özelliklerini, bu özelliklerin yerel değişimi ise yapısal hasar dağılımını etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı depreme dayanıklı yapıların tasarımında; deprem kaynak özellikleri, yerel zemin koşulları ve yapıların mühendislik özellikleri birlikte dikkate alınmalıdır (Saita vd. 2012).

Deprem yer hareketi süresince yapıların davranışlarını incelenmesi, depreme dayanıklı yapılar tasarlamak, deprem sırasında zeminlerin nasıl bir davranış sergileyeceğini tahmin edilmesi ve depremin ölümcül sonuçlarını engellemek için birçok mühendislik disiplini ortak çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmalarla oluşabilecek depremin parametrelerinin önceden kestirilmesi ve zeminin buna göre davranışının analizi öncelik kazanmaktadır. Deprem ve zemin hareketinin modellenmesi ve buna göre yapı tasarlanması durumunda can ve mal kayıplarının minimum düzeyde tutulması sağlanabilir. Depremler meydana gelmeden önce deprem sonrası yapılacak işlerin ve alınacak önlemlerin planlanması gerekir. Bu planlama çalışmalarının iyi bir şekilde yapılabilmesi için gelecekte ne kadar büyüklükte bir depremin oluşabileceği ve yerleşim merkezlerinin bu depremden nasıl etkilenebileceği sağlıklı bir şekilde analiz edilmelidir (Tunçel vd. 2019).

Deprem hareketi nedeniyle yüzeye yakın zemin tabakalarında meydana gelen kayma deformasyonlarının seviyesi, yapılarda oluşan hasar dağılımının sahadaki değişiminde etkili olmaktadır. Kuvvetli yer hareketi sırasında yüzeye yakın zemin tabakalarında oluşacak kayma birim şekil değiştirmesinin sismik anakayadaki tasarım hareketinin şiddetine bağlı olarak doğru biçimde öngörülebilmesi, zemin yapılarında ve üstyapılarda deprem sırasında oluşacak olumsuz etkileri en aza indirecek mühendislik çözümlerinin geliştirilmesinde önemli katkı sağlayacaktır (Saita vd. 2012).

Tasarım yer hareketi karşısında yüzeye yakın zemin tabakalarında meydana gelecek kayma deformasyonu değerlerinin yaklaşık olarak belirlenebilmesi amacıyla, farklı malzeme modellerinin ve hesap yöntemlerinin kullanıldığı bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu sayısal dinamik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bir boyutlu analiz yöntemlerinde, zemin kesitindeki tabakaların dinamik özellikleri, kalınlıkları, sismik anakaya derinliği yeterli olmakta, iki ve üç boyutlu analiz yöntemlerinde ise tabakaların iki veya üç boyutlu geometrisi ve sınır şartlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca analizlerde kullanılan sismik anakaya hareketinin karakteristiklerinin depremin kaynak özelliklerini doğru biçimde yansıtması gerekmektedir. Kuvvetli yer hareketi sırasında yüzeye yakın zemin tabakalarında meydana gelecek kayma şekil değiştirmesi değerlerinin; basit ve uygulama kolaylığına sahip yöntemlerle yaklaşık olarak elde edilmesi, deprem hareketinin yüzeyde oluşturacağı etkilerin belirlenmesinde önemli rol oynayacaktır (Subaşı vd. 2019).

Son yıllarda hızla artan nüfus ve göç artışı sebebiyle gelişmekte olan ülkelerde yeni yerleşim bölgelerine olan talebin hızla arttığını görmekteyiz. Fakat bu talebi karşılamak için gerekli önlemlerin alınmadığı yerleşim yerlerinin seçilmiş olması bugüne kadar büyük felaketslere yol açtığı görülmektedir. Özellikle de ülkemizde yaşanmış olan 1999 Marmara depremi ve 2011 Van depremi gibi büyük ölçekli depremler maddi zararlara ve kayıplara sebebiyet vermiştir. Deprem sonrası yapılan araştırmalara göre hasarın boyutları üst yapı özelliklerine, bölgedeki sismik aktiviteye ve zeminin mühendislik özelliklerine bağlıdır (Aydoner ve Maktav 2013). Dünyadaki birçok şehir taşıma gücü düşük olan zeminler üzerine inşa edildiğini görmekteyiz (Değerliyurt 2014). Ülkemiz sismik aktivitesi yüksek bir bölgede olup, depremlerin sebep olduğu dinamik yüklerin oluşturduğu ilave gerilimler, taşıma gücünün düşük olduğu zeminlerde büyük yıkıcı hasarlara neden olmaktadır (Ulusay 2000).

Üst yapıları inşa ederken yapı yüklerini ve çevresel etkileri dikkate alarak en güvenli şekilde zemine aktaran temel tipinin seçimi için, inşa bölgesindeki zemin davranışlarının ve özelliklerinin çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir (Kurnaz ve Ramazanoğlu 2014). Geline nokta depremlerin neden olduğu hasarlar ve yıkımlar zemin davranışlarının ve özelliklerinin yeterince dikkate alınmadığını göstermektedir.

Güvenli yerleşim alanlarının seçilmesi ve bu bölgelerin doğal afetlerden korunması noktasında titiz bir çalışma isteyen zor ve karmaşık bir süreçtir. Zemin mühendis özelliklerinin yanı sıra yerleşim bölgesinin hidrojeolojik ve jeomorfolojik özellikleri de zemin davranışını olumlu ya da olumsuz etkileyen önemli faktörlerdir (Kavurmacı 2017).

Dünyanın sismik aktivitesi yüksek en önemli deprem bölgelerinden olan Türkiye’de bugüne kadar meydana gelmiş olan depremlerde, yerleşim bölgesindeki çoğu yapının hasar görmesindeki en önemli faktörlerin yapılaşmadaki hatalar, jeoteknik ve jeolojik özellikler olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Güvenli yerleşim bölgesi seçiminde, imar ve yapılaşma öncesindeki jeolojik ve jeoteknik çalışmalar günümüzde modern kentleşmenin en önemli ilk aşamalarından birisidir. Özellikle de deprem esnasında, zemin-yapı ilişkisine bağlı olarak dinamik kuvvetlerden meydana gelebilecek tehlike ve risk planlamalarının iyi yapılabilmesi için hayati önem taşıyan bu bilgiler, titiz çalışmalar sonucu üretilen verilerden elde edilmektedir. Bölgedeki yapılaşma öncesinde zemin-yapı-çevre ilişkisinin güvenilir şekilde kurulabilmesi için zeminin özellikleri ile birlikte bölgesel ve çevresel afetlerin oluşturabileceği muhtemel risk ve tehlike analizlerinin yapılabilmesi için mikrobölgeleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Ansal vd. 2004).

Mikrobölgeleme, imara açılması planlanan boş yerleşim bölgelerini ve imara açılmış olan yapılaşma alanlarını etkileyebilecek doğal afet risklerini göz önüne alarak kentsel dönüşüm planlaması esnasında bölgenin öncelikleri ve stratejilerini tespit etmek amacıyla yapılan multidisipliner çalışmalardır. Mikrobölgeleme esasına dayanarak yapılması planlanan çalışmalar özellikle sismik aktivitesi yüksek olan çeşitli şehirlerde yapılmıştır. Bu noktada, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından “Belediyeler için Mikrobölgeleme: El Kitabı” ve “Belediyeler için Mikrobölgeleme: 1. Bilimsel Son Durum” başlıklı mikrobölgeleme çalışmaları yayınlanmış ve buna istinaden bir çok şehirde araştırmalar yapılmıştır (Taşdelen vd. 2016).

Ulaşım kolaylığından ve ekonomik sebeplerden dolayı Dünyanın birçok yerinde ve ülkemizde yerleşim alanı olarak alüvyon zeminler sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte afetler açısından bakıldığında, Türkiye gibi sismik aktivitesi yüksek bir tektonik kuşakta bulunan ülkelerde, depremlerden en çok etkilenen bölgelerin zeminler üzerindeki yerleşim bölgelerinin olduğu açıkça görülmektedir. Örneğin, onbinlerce insanın yaşamını yitirdiği sırasıyla 1939 Erzincan (Mw: 7.9), 1942 Niksar-Erbaa (Mw: 7.0), 1976 Çaldıran (Mw: 7.2), 1999 Adapazarı (Mw: 7.4) ve Düzce (Mw: 7.1) depremleri gösterilebilir (Akın vd. 2013). Mikrobölgeleme çalışması için haritalar oluştururken, doğal afetlerin ve çevresel etkilerin dikkate alınarak değerlendirme yapılması bunun yan sıra mikrobölgeleme çalışmalarının disiplinler arası koordinasyonu önem arz etmektedir. Bu etkenlerin de ötesinde, geoteknik ve jeolojik araştırmalara başvurularak bölgedeki zeminlerin sismik hareketine bağlı olarak davranışlarının mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Kısacası, geoteknik ve jeolojik veriler dikkate alınarak doğal afetlerin tespit edilmesi, kontrolünün sağlanması veya oluşabilecek tehlikelerin önlenmesi de mikrobölgeleme çalışmaları açısından çok önemlidir (Akın vd. 2015).

Sismik aktivitesi yüksek tektonik bölgede bulunan ülkemizde güvenli yapıların tasarımı için zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Yerleşim alanının alüvyon olduğu Afyonkarahisar'da, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde birçok binanın yıkılmış olması, birçok binanın da hasarlı duruma gelmesi nedeniyle Afyonkarahisar yerleşim alanı zemininin dinamik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Afyonkarahisar il merkezinin çevresinde oluşabilecek büyük bir depremden etkilenme olasılığı büyüktür (Civelekler vd. 2018).

Bu nedenlerden dolayı deprem esnasında suya doygun halde bulunan düşük plastisiteli siltlerde ve gevşek kumlarda sıvılaşma meydana gelirken, yüksek plastisiteli killerde ve plastik kıvamdaki siltlerde deprem sonrasında taşıma gücü kaybı meydana gelmektedir. Sıvılaşma olayı, kohezyonsuz zeminlerin deprem etkisine bağlı olarak devirsel kayma gerilmeleri sonucu hızlı bir şekilde kayma mukavemeti kaybı durumudur (Bayrakçı vd. 2013). Nitekim siltli, kumlu ve killi zeminlerin dinamik davranışı ile ilgili çalışmalar ise son 15 yılda literatürde yerini almaktadır. Zeminin dinamik koşullar altındaki

davranışını anlamada en kolay yol zemin yenilmelerinin tanımlanmasıdır. Batık veya doymuş alüvyon zeminin deprem sırası ve hemen sonrasında çevrimsel hareketlilik kazanması, sıvılaşması, temel altında taşıma gücünü yitirmesi, eğimli arazide akması, uzun süren deprem sırasında tekrarlı yükleme sonucu aşırı sıkışmalar göstermesi olaylarını kapsar (Özocak ve Çetin 2016).

Afyonkarahisar'ın Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre yüksek riskli bölgede olması, zemin dağılımının genel olarak siltli, killi ve kumlu zeminlerden oluşması, yer altı su seviyesinin genel olarak yüksek olması gibi nedenlerden dolayı, deprem anında meydana gelen sıvılaşma ve zemin büyütme, Afyon için önemli bir risk faktörü olarak görülmektedir (Bayrakçı vd. 2013). Depremler esnasında meydana gelen sismik tehlikelerin en önemlilerinin başında zeminde sıvılaşma sonucu meydana gelen hasarlardır. Sıvılaşma durumu suya doymuş, gevşek granüler zeminlerin çevrimli yükler altında sıkışma eğilimi sonucunda boşluk suyu basıncının artması, kayma direncinin azalması veya kaybolması ve şekil değişikliklerinin meydana gelmesi olarak tanımlanmaktadır. Sıvılaşma durumunun gerçekleşmesi neticesinde yapılarda zemine batma veya yan dönme gibi kalıcı hasarlar oluşmaktadır. Yer altındaki kanalizasyon ve iletim hatlarının yüzeye çıkması, bağlantı noktalarının hasar görmesi gibi ciddi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sıvılaşmaya bağlı olarak şevlerde akma türü göçmeler meydana gelirken düz ve eğimi az olan arazilerde ise yanal yayılma olarak bilinen hasarlar gerçekleşebilmektedir (Dağdeviren 2019).

Yakın zamanda örnekleri olduğu gibi, Ülkemizde de 1999 Kocaeli depreminde özellikle de Adapazarı bölgesinde sıvılaşmaya bağlı olarak kalıcı hasarlar meydana gelmiştir. Sıvılaşma olayının tanımı ilk olarak 1930 yılında Casagrande tarafından ortaya konulmuştur (Day 2002). 1950'li yıllarda sıvılaşma ve etkileri, sıvılaşmaya bağlı olarak etkilerinin çok net bir şekilde gözlemlendiği iki önemli deprem sonrasında birçok bilim insanı tarafından çalışılmıştır. Bu iki büyük deprem, 1964 yılında meydana gelen Alaska ve Niigata olarak kayıtlara geçmiştir. Bu depremler sonrasında sıvılaşma olayı açısından oldukça önemli veriler ortaya çıkmıştır (Kramer 1996). Yakın zamanda ise 1995 yılındaki Kobe ve ülkemizdeki 1999 Kocaeli depremleri esnasında birçok yapı sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası taşıma gücü kayıplarına maruz kalmıştır (Akın 2019).

Ülkemizde 1999 yılındaki Marmara Depremi sonrasında sıvılaşmaya bağlı gerçekleşmiş hasarlar, sıvılaşma tehlikesi hususunda ciddi araştırmaların yapılması gerektiğini ve bu konuda duyarlılığın artırılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Depremler esnasında zeminde meydana gelen sıvılaşma hassasiyetinin tespit edilmesi ve olası tehlikeli etkilerinin ortadan kaldırılması veya az da olsa azaltılması konuları günümüzde oldukça önemli bir yer edinmiştir (Dağdeviren 2019).

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için genel olarak gerilme esaslı yöntemler kullanılırken, depreme bağlı olarak tekrarlı kayma gerilmeleri ile zeminin sıvılaşmaya karşı hassasiyeti tekrarlı kayma direnci ile karşılaştırılmakta ve zeminin sıvılaşmaya karşı göstermiş olduğu direnci göstermektedir. 1971 yılında ilk olarak Seed ve Idriss tarafından ortaya konulan bu yaklaşım 2000'li yıllardaki çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir (Youd vd. 2001, Cetin vd. 2004, Idriss ve Boulanger 2008, Idriss ve Boulanger 2010, Boulanger ve Idriss 2014). Sıvılaşma olayının gerçekleşmesi çok sayıda parametreye bağlı olmasından dolayı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli arazi deneyleri ve sonrasındaki laboratuvar çalışmalarına dayalı olarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Ülkemizde arazi deneylerinin en başında ise genel olarak kullanılan standart penetrasyon deneyi (SPT) başı çekmektedir. Standart penetrasyon deneyinden elde edilen sonuçlara göre zeminlerin kayma direnci ve sıklık özellikleri sıvılaşma analizlerinde genel olarak kullanılmaktadır (Dağdeviren 2019).

Deprem esnasında meydana gelen sismik tehlikelerin en önemli sonuçlarından bir diğeri de zemin büyütmedir. Deprem esnasında ana kayadan yayılan dalgalar geçtikleri zemin tabakalarının mekanik özelliklerinden etkilenirler. Farklı zemin tabakaları deprem dalgalarını bir sonraki tabakaya aktarırken yatay ve düşey yöndeki deplasman genliklerini değiştirirler. Düşük değere sahip anakaya ivmeleri, yerel zemin koşullarının etkisi ile ivmenin bazı bölgelerde birkaç kat büyüyerek yüzeye çıkması sonucu ağır hasarlara neden olabilmektedir (Kramer 1996). Sismik tehlikeden kaynaklı bu olaya zemin büyütmesi adı verilmektedir (Özyağcıoğlu vd. 2019). Depremler sırasında oluşan ve her yöne hareket eden cisim dalgaları, tabaka sınırlarında gelme açısından daha küçük bir açığa kırılarak (dalga yayılma hızı yüzeye yaklaştıkça genel olarak küçüldüğü için) ilerlemekte ve zemin yüzeyine ulaştıklarında ise, yayılma doğrultuları hemen

hemen yüzeye dik duruma gelmektedir. Bu nedenle incelenen bir bölgede yerel koşullara bağlı olarak deprem dalgalarının özelliklerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde en basit yaklaşım, düşey yönde ilerleyen kayma dalgası yayılımına dayanan bir boyutlu dinamik analizdir. Bu yöntemde ana kaya ve ana kaya üzerindeki bütün zemin tabakalarının yatay yönde sonsuza uzandığı kabul edilmekte ve her tabakaya ait transfer fonksiyonu belirlenerek yüzeydeki hareketin genliği dolayısıyla zemin büyütmesi hesaplanmaktadır (Kramer 1996, Özkan 2017).

Sismik tehlike analizi çalışmalarıyla gelecekte meydana gelebilecek depremin ne kadar büyüklükte olacağını, yerleşim merkezlerinin olası büyüklükteki bir depremden ne derece etkilenebileceği ise farklı deprem senaryolarıyla tahmin edilebilmektedir. Deprem senaryoları ile öngörülen deprem parametrelerinin, zemin ve yapılara ait parametreler ile ortak yorumlanması deprem zararlarını en aza indirmek için izlenmesi gereken önemli bir yoldur. Bir çalışma alanına etki edecek bir depremin öncelikle tahmin edilmesi gereken parametreleri arasında büyüklük, meydana geldiği derinlik ve etki edeceği alana uzaklığı gibi değişkenler yer alır. Deprem dalgalarının kaynağından çıkıp hedefe ulaşması için takip ettiği yolda geçtiği tabakaların yapısal özellikleri de ayrıca önemlidir (Herak 2011). Depremin oluşturduğu sismik dalgalar yer yüzeyindeki bir yapıya ulaşmadan önce en son zemin tabakasından geçer ve bu tabakanın fiziksel özelliklerinden büyük ölçüde etkilenir. Zemin tabakasının hâkim titreşim periyodu, kalınlığı ve makaslama dalgası hızı gibi parametreler deprem-zeminyapı arasındaki ilişkinin aydınlatılması açısından önemlidir. Anakayadan gelen depremin zemin tabakası tarafından ne kadar büyütüleceğini tahmin etmek için ise dinamik büyütme faktörü (DBF) gerekli bir parametredir. Dinamik büyütme faktörü değerleri ölçü alınan yere göre ve meydana gelebilecek deprem özelliklerine göre değişim gösterebilir, yani sabit değil değişken (dinamik) bir parametredir (Özdağ vd. 2015). Zemin büyütme parametresi, hesaplanan zemin yüzeyi PSA (g) değerlerinin, temel kaya mostrasındaki harekete ait PSA (g) değerlerine bölünmesi yoluyla elde edilmektedir (Özyağcıoğlu vd. 2019). Büyütme temel kaya üzerinde yer alan üst zemin katmanları içerisinde gerçekleşir, bu nedenle Afyonkarahisar gibi alüvyon birikintinin 100 metreyi bulduğu bir jeolojik profilde (DSİ sondajlarına göre), zemin yapısının makul bir derinliğe kadar bilinmesi, büyütme analizleri açısından önemlidir.

Zemin açısından güvenli yerleşim bölgeleri seçilirken dikkate alınması gereken en önemli faktörler başında zemin büyütme ve sıvılaşma konusu gelmektedir. Dinamik zemin davranışı ile ilgili bahsedilen parametrelerin çokluğu ve çeşitliliği yerleşim yeri seçim sürecini bir hayli zorlaştırmaktadır. Son zamanlarda bahsedilen bu problemlerin zm için elde veriler kullanılarak yerleşim yeri seçimi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) analizi yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal afetlerin ve bunların oluşturabileceği risklerin belirlenmesi ve verilerin bölgesel dağılımlarının güvenli bir Şekilde analiz edilebilmesi için Coğrafi Bilgi Sisteminin kullanılması faydalı hale gelmiştir (Zarif vd. 2004). Bunların yanı sıra Coğrafi Bilgi Sistemi riskleri azaltmak ve alternatif zmler üretmesi açısından güvenilir ve etkili bir uygulamadır. CBS, konumsal veriyi elde edilen diğer verilerle birleştirebilir. Bu amaç doğrultusunda elde edilen veriler koordine edilerek konumsal verileri bütünleştirerek kullanması avantajlıdır. Coğrafi Bilgi Sistemi birçok araştırmacı tarafından belirlenecek olan yerleşim yerlerinin risk değerlendirmeleri açısından özellikle zemin büyütme ve sıvılaşma analiz çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Kavurmacı 2017).

Bu çalışmada inceleme sahasında yapmış olduğumuz zemin sondaj verileri, daha önce yapılan zemin etüdü sondajı verileri, Afyon Kocatepe niversitesi geoteknik laboratuvarında yapılmış olan deney sonuçları ve daha önceden yaptırılmış olan laboratuvar deneyi sonuçları birlikte değerlendirilerek; bu veriler çerçevesinde çalışma alanının zemin modelleri oluşturulmuştur. Bu zemin modelleri üzerinde de elde edilen tüm verilerle birlikte yönetmeliğe uygun olarak seçilen ve çalışma alanına göre ivmesi ölçeklendirilmiş olan 11 farklı anakaya mostrası ivme zaman geçmişi kullanılarak, bir boyutlu (1D) eşdeğer doğrusal, doğrusal olmayan ve sıvılaşma dinamik analizleri yapılarak ayrı ayrı haritalandırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Önceki Çalışmalar

Güllü ve Ansal (2001) çalışmalarında, Afyonkarahisar Dinar ilçesinde dinamik davranış analizi ve arazi deney verilerini kullanarak coğrafi bilgi sisteminde zemin büyütmesine dayalı mikrobölgeme haritaları oluşturmuştur. CBS kullanılarak bölgedeki hasar dağılımları ile zemin büyütme değerlerini karşılaştırmıştır. Oluşturulan mikrobölgeleme sistemi ile bölgedeki hasarların modellenip modellenemediği araştırılarak bu yöntemin güvenilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda zemin büyütme değerleri arazi deneyleri ve analitik çalışmaları kapsayan yöntemler belirlenmeye çalışılmıştır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan SPT ve CPT arazi deneyleri kullanılmıştır. Literatürdeki birçok çalışmanın ortalamasının uygun olduğu belirlenen İyisan (1996) bağıntısı kullanılmıştır. Bağıntı sayesinde zemin profili boyunca kayma dalgası hızı (V_s) hesaplanmış ve zeminin tabaka kalınlıklarına göre ortalamaları dikkate alınarak eşdeğer kayma dalgası hızı bulunmuştur. Eşdeğer kayma dalgası hızları kullanılarak Midorikawa (1987) bağıntısı ile zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Çalışma bölgesini detaylı olarak analiz edebilecek 95 noktada jeofizik yöntem olan mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Nakamura (1989) yöntemine göre zeminlerin hakim periyotları ve spektral büyütme değerleri belirlenmiştir. Belirlenen yöntemler neticesinde arazi çalışmalarından elde edilen geoteknik veriler sayesinde uygun zemin profilleri oluşturularak SHAKE analiz programı ile belirlenen noktaların bir boyutlu dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında meydana gelebilecek deprem esnasında ve zeminin deprem hareketi altındaki davranışları analiz edilmiştir. Bir boyutlu dinamik analiz programında deprem kaydı olarak 1 Ekim 1995'de Dinarda meydana gelen deprem kaydı kullanılmıştır.

Uyanık (2002) çalışmalarında suya doygun ve gevşek halde zeminlerin sıvılaşmaya potansiyelinin belirlenmesi için kayma dalga hızı (V_s) ölçümlerine bağlı bir hesap yöntemi ortaya koyarak analiz yapılmasının uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Sıvılaşma analiz yönteminde, deprem dalgasının hakim periyodu ve kayma dalgası hız

ölçümlerinin tercih edilmesi sıvılaşma olayını meydana getiren devirsel gerilme oranı olduğu tespit edilmiştir. Bu devirsel gerilme oranı sayesinde daha önceki araştırmacılar tarafından ortaya konulmuş olan yöntemlerle arasında iyi bir uyum olduğunu ortaya koymuştur.

Adatepe ve Yıldırım (2002) çalışmalarında, İstanbul ilinde bulunan Küçükçekmece-Sefaköy yerleşim alanında, yerel zemin koşullarına bağlı meydana gelen hasarlar araştırılarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yardımıyla bölgenin mikrobölgeleme yöntemi ile zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Çalışma bölgesinde standart penetrasyon deneyi (SPT) ile yapılmış olan 64 adet sondaj kuyusundan alınan zemin numuneleri incelenerek veriler elde edilmiştir. Bölge genelinde 30 noktada sismik kırılma deneyi yapılarak zemin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca zeminlerin büyütme ve periyot özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla 11 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler EERA programıyla değerlendirilerek, zeminlerin dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Yapılan bütün deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen büyütme parametreleri Coğrafi Bilgi Sistemlerine yüklenerek zemin büyütme değerlerine göre mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır.

Çavuş (2004) çalışmasında, suya doygun gevşek kumların sıvılaşma potansiyelini, arazi deneylerinden olan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) değerleri ile birlikte zeminin kayma dalgası hızı (V_s), yatay yer ivmesi değeri, zemin tabaka kalınlığını ve yeraltı suyu seviyesi parametreleri kullanarak bulanık mantık modelleme yöntemiyle bölge incelenmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen veriler ile arazi verileri karşılaştırılarak modelin çok uygun olduğu tespit edilerek, makul sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Şen (2004) çalışmasında, Niğde-Gümüşler Belediyesine ait mücavir alanda bulunan bölgeden zemin numuneleri üzerinde arazi ve laboratuvar deneyleri yapmıştır. Deneyler neticesinde zeminlerin kıvam limitleri, elek analizi tane boyutu dağılımlarını belirleyerek birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre zeminleri sınıfları belirlenmiştir. Standart Penetrasyon Deneyinden elde edilen verileri kullanarak zemin profili oluşturulmuştur. Bu verilerle birlikte Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programı kullanılarak sıvılaşma risk indeksi değerleri hesaplanarak eş sıvılaşma eğrileri elde

edilerek sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

İnce ve Özaydın (2005) çalışmalarında, İstanbul ilinde bulunan Fatih ve Eminönü ilçelerindeki bazı bölgelerin zemin koşullarını ortaya koyan mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Yerel zemin koşullarının ve olası depremin de etkisiyle zemin büyütmesi, sıvılaşma ve şev stabilitesi riskleri noktasında üç kısma ayırmak gerekmektedir. Çalışma bölgesinin sismik deprem tehlikesi probablistik açıdan SEISRISKIII yazılım programıyla 50 yılda süreçte %10 ve %40 aşılma olasılığına göre değerlendirme yapılmıştır. Deprem yer hareketini doğru bir şekilde açıklamak için spektrum uyumlu yarıstokastik yöntemi kullanan Tarschts yazılım programından faydalanılmıştır. Dinamik deprem yükünün de etkisiyle yerel zemin davranışlarının analizi için yarı sonsuz tabakalı viskoelastik bir ortamda dalganın yayılması esasına göre tasarlanmış olan EERA programı kullanılmıştır. Analiz için zemin yüzeyinde meydana gelebilecek deprem yer hareketi özellikleri belirlenmiştir. Bölge zeminine ait büyütme değerleri analizden ayrı olarak ampirik bir yöntem olan Midorikawa (1987) formülü ile hesaplanmıştır. Bölgenin sıvılaşma analizi ise Seed (1984,1985) tarafından geliştirilen yöntem ile yapılmıştır. Ortaya çıkan verilerle birlikte Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak çalışma alanının yer hareketini, sıvılaşma potansiyelini, heyelan risk haritaları hazırlanmış ve bölgenin geçmiş yıllarda meydana gelmiş olan depremlerde meydana gelen hasarlar da dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır.

Arslan ve Siyahi (2006) çalışmalarında, doğrusal olduğu düşünülen ve sert anakaya varsayımı ile birlikte çift tabakalı bir zemin kolon çalışmasında yer tepkisini, eşdeğerlineer ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak analizi yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları dikkate alındığında bir boyutlu SHAKE programıyla yapılan eşdeğer doğrusal analizin doğrusal olmayan analize göre, zemin profili derinliği ve spektrum değerleri boyunca daha büyük deprem pik yer ivmesini hesapladığı tespit edilmiştir. Ortaya çıkan mevcut durumun eşdeğer doğrusal analizin yüksek frekansta pik yer ivmesi hesaplamasından dolayı ve zemin profil derinliği ile zemin özelliklerinin depreme bağlı zemin tepkisinin bu analiz tahminlerinde önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Kılıç (2006) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul Zeytinburnu mikrobölgeleme çalışması için elde edilen geoteknik verileri düzenlemek, değerlendirmek ve analiz etmek amacıyla çalışma bölgesi 250*250 m olarak hücelere bölünmüştür. Çalışma alanındaki verileri kullanarak temsili zemin profilleri, yapılmış olan zemin sondajlar dikkate alınarak anakaya seviyesi üzerinde tanımlanmıştır. Temsili zemin profili oluşturmak için, her bir hücre içerisinde yer alan bir veya daha fazla sondaj kuyu verisi dikkate alınarak oluşturulurken, hücre içerisinde sondaj verisinin olmadığı alanlar için komşu hücrelerdeki verilerden faydalanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulaması kullanılarak ve araştırma noktaları arasında doğrusal interpolasyon yapılarak haritalanmıştır. Muhtemel bir deprem anında bölgenin zemin davranışı 1-D davranış analizi yöntemi ile araştırılmıştır. Oluşturulacak olan mikrobölgeleme haritaları, mikrobölgeleme kılavuzuna uygun bir şekilde yer sarsıntısı şiddetine göre hazırlanmıştır.

Hasançebi ve Ulusay (2006) çalışmalarında, Bursa ili Yenişehir ilçesinde veriler üzerinden zemin büyütme oranlarıyla mikrotremor ölçümlerini arasındaki farkı tespit etmek için verileri karşılaştırmışlardır. Ampirik bağıntılardan elde edilen kayma dalgası hızı (V_s), SHAKE adlı programda 1-D davranış analizi ve sismik ölçüm ile elde edilen mikrotremor verileri kullanılarak bölgenin mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Zemin hakim periyodu tespiti için, mikrotremor ölçümlerden elde edilen veriler ile SHAKE programından elde edilmiş olan veriler karşılaştırılarak bir sonuca ulaşılmıştır. Çalışma alanında Yenişehir ilçesinin zemin büyütme oranı ve zemin hakim periyodunu gösteren haritalar elde edilmiştir.

Tonaroğlu (2006) çalışmasında, kalınlığı 20 m olan üniform halde bulunan kum tabakasının davranışını araştırmıştır. Analiz için LASIII programında 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depreminin kaydını kullanarak, deprem yer hareketini anakayadan itibaren zemin profilini etkilediğini varsayarak analiz yapmıştır. Yapılan analizler neticesinde, deprem yer hareketi, permeabilite, zeminin sıklık derecesi, çevresel yükleri, drenaj koşullarını ve deprem yer hareketinin özelliklerinin sınırlama potansiyeline etki ettiğini ifade etmiştir. Bunun yanı sıra, tek yönlü yukarıya doğru iletilen yer hareketi sonucunda etkili sınırlama derinliğinin yaklaşık 10 metreyi

geçmediğini, sıkı kumlarda yaklaşık 6-7 m'yi bulduğunu ve sıvılaşma potansiyelinin derinliğini iki yönlü yer hareketine maruz kaldığında ise 15 m'yi bulabileceğini hatta geçebileceğini ifade etmiştir.

Selçuk vd. (2007) çalışmalarında, İstanbul ilinde Küçükçekmece ve Sefaköy çalışma alanından alınmış olan iki adet en kesit dikkate alınarak yaklaşık 200 m kalınlığındaki zemin profillerinin deprem esnasında meydana gelebilecek yüzey yer hareketi altındaki etkisini DEEPSOIL, EERA ve PLAXIS programları ile sırasıyla bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz, bir boyutlu lineer olmayan analiz ve iki boyutlu doğrusal olmayan analizleri yapılarak detaylı olarak karşılaştırmalı bir şekilde irdelemiştir. Elde edilen analizler neticesinde, DEEPSOIL programı ile yapılan bir boyutlu doğrusal olmayan analizlerden elde edilen yüzeydeki maksimum yer ivmesinin, eşdeğer doğrusal analize göre kıyasla biraz yüksek çıktığı, EERA programı ile analizi yapılan bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarının ise DEEPSOIL programına göre daha büyük olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, bir boyutlu doğrusal olmayan analiz yöntemiyle belirlenen maksimum spektral ivme değerinin, eşdeğer doğrusal analiz yöntem sonuçlarına göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bir boyutlu EERA programı ile analizi yapılan maksimum spektral ivme değerlerinin, bir boyutlu doğrusal olmayan analiz yöntemine göre daha büyük sonuçlar ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. İki boyutlu PLAXIS programı kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre de, kullanılan çeşitli yöntemlerle elde edilen sönüm katsayısına istinaden farklı maksimum yüzey ve spektral ivme sonuçları ortaya koymuştur. Bu çalışmaya göre; arazi topoğrafyasının değişkenlik gösterdiği bölgelerde maksimum yüzey ve spektral ivme sonuçlarının yapılan bir boyutlu analiz yöntemlerine göre daha yüksek sonuçlar vermesi sebebiyle bu bölgelerde iki boyutlu analizlerin daha sağlıklı sonuçlar verebileceğini ifade etmişlerdir.

Kale (2008) çalışmasında, İstanbul ili Zeytinburnu İlçesi sınırları içerisinde yer alan çalışma alanından alınmış olan üç adet en kesit dikkate alınarak deprem esnasında meydana gelebilecek zemin yüzey hareketlerini araştırmak için bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizi yapabilen EERA programı ve bir boyutlu eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini aynı anda yapabilen DEEPSOIL ile birlikte iki boyutlu analiz yapabilen PLAXIS programları kullanımıyla kesitlerin dinamik zemin analizlerini

gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada yapılan dinamik analizlerde, anakaya deprem ivme kaydı olarak meydana geleceği düşünülen İstanbul depremini yansıtan 475 yıllık tekrarlama periyodu kullanılmıştır. Çalışma alanından alınmış olan üç adet en kesit için bir ve iki boyutlu olmak üzere programlardan elde edilen analizler sonucunda maksimum yüzey ve spektral ivmelerini, bölgenin yüzey topoğrafyasını da birlikte kullanarak karşılaştırmıştır. Bir boyutlu olarak yapılan analiz sonuçları maksimum yüzey ivme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bir boyutlu DEEPSOIL ve EERA programlarının eşdeğer doğrusal analiz yöntemleriyle elde edilen verilerin bölgenin topoğrafyasına bağlı olarak değişimi birbirine benzerlik gösterdiği fakat EERA ile elde edilen maksimum yüzey yer ivme değerlerinin, DEEPSOIL programı eşdeğer doğrusal analiz çıktılarına göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir. DEEPSOIL programının eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri birbiri ile karşılaştırıldığında elde edilen maksimum yüzey ivme değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenirken arazi zemin koşullarına ve bölgenin topoğrafik durumuna bağlı olarak doğrusal olmayan analiz sonuçları ile elde edilen verilerin eşdeğer doğrusal analize yöntemine göre daha küçük olabildiği tespit edilmiştir. Farklı programlardan elde edilen 1-D ve 2-D analiz yöntemleri elde edilen maksimum yüzey yer ivme değerlerini karşılatıracak olursak; bir boyutlu analiz yöntemiyle elde edilen sonuçların, bölgenin topoğrafik koşullarına bağlı olarak düzensiz farklılıklar gösterebildiği buna rağmen iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırıldığında ise zemin yüzey topoğrafyası arasında daha iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir. 2-D analiz sonuçlarından elde edilen maksimum yüzey ivme değerlerinin 1-D yöntemlere göre daha büyük olduğu fakat belirli yerlerde bir boyutlu analizler ile elde edilen sonuçların taban sınıra hemen hemen yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bir boyutlu analizlerden elde edilen maksimum spektral ivmeler karşılaştırıldığında ise, bir boyutlu DEEPSOIL programından elde edilen sonuçların EERA programıyla elde edilen sonuçlara göre daha büyük olduğu ve bu sonuçlara göre doğrusal olmayan analizde bu farkın daha belirginleştiği gözlemlenmiştir. DEEPSOIL programının doğrusal olmayan analizi ile elde edilen maksimum spektral ivme sonuçlarının, eşdeğer doğrusal analiziyle hesaplanan sonuçlardan bir miktar daha büyük olduğu ve bu durumun özellikle de yamaç eteklerinde ve topuklarında bu farkın belirginleştiği açıkça tespit edilmiştir.

Karasu ve Özaydın (2009) çalışmalarında, Bakırköy ilçesindeki inceleme alanında zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından 50*50 m seçilen 131 adet noktada yapılan, derinlikleri 30 m ile 40 m arasında değişen sondajlar ve sismik kırılma deneylerinden yararlanılmıştır. Elde edilen veriler EERA programı kullanılarak değerlendirilmiş ve zeminlerin dinamik davranış analizleri yapılmıştır. Ayrıca, bölgedeki farklı zemin koşullarını temsil eden üç hücre için, Deepsoil programı ile lineer ve nonlineer dinamik davranış analizleri yapılmış ve EERA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar Coğrafi bilgi sistemi kullanılarak haritalandırılmıştır.

Deepankar ve Purnanand (2009) çalışmalarında, tek boyutlu (1-D) eşdeğer doğrusal analiz, depreme tabi tutulan depolama alanlarının davranışını modellemek için gerçekleştirilmiştir. DEEPSOIL yazılımını kullanarak deprem hareketinin, yüzey ivmeleri açısından sismik tepkiler üzerindeki sonuçlar değerlendirilmiştir. Depolama sahalarının yüksekliği, temel türü ve depolama alanlarının sismik tepkilerine göre değerlendirilmiştir. Depolama alanları için birim ağırlık ve kayma dalgası hızı, maksimum yatay ivme dikkate alınmıştır.

Grasso ve Maugeri (2009), İtalyanın Catania şehrinde 11 Ocak 1693’de meydana gelen depremi oluşabilecek en büyük senaryo depremi kabul ederek, bölgenin oluşturulmuş olan temsili zemin profillerinin üzerinde program kullanarak 1-D eşdeğer doğrusal ve iki boyutlu doğrusal analizler yapılarak, zemin yüzeyindeki spektral ivme ve pik yer ivmesi sonuçlarını elde etmişlerdir. Çalışma bölgesinde bulunan 1200’e yakın sondaj kuyusu ve su sondajı arazi verilerini kullanarak değerlendirme yapılmıştır. Analizler neticesinde Catania şehrinin pik yer ivmesine bağlı olarak mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur.

Hosseini ve Pajouh (2010) çalışmalarında, lineer ve sert temel anakayasası olduğu düşünülerek, farklı kayma dalga hızları (V_s) ile dört farklı zemindeki tek tabakadan oluşturulmuş varsayılan zemin profilinin yer tepki analizini bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yapabilen EERA programıyla, doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanan FLAC programları yardımıyla sonlu fark programlarından birisini değerlendirerek

sayısal olarak karşılaştırmışlardır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, bir boyutlu doğrusal analiz yönteminin yüksek frekans sınırlarında ivme hesaplaması sebebiyle diğer analiz yöntemine göre daha büyük maksimum ivme ve spektrum sonuçları verdiği tahminini tespit etmişlerdir.

Avdan ve Alkış (2011) çalışmalarında, Dünyada ve ülkemizde deprem zararlarını minimum düzeye indirebilmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin en başında bölgede meydana gelebilecek deprem tehlike durumunu tespit ederek mevcut imar planlarının buna göre hazırlanması veya dizayn edilmesi gelmektedir. Bu doğrultuda, il içerisinde yapılması planlanan imar çalışmalarında değerlendirilmek üzere üzere sismik mikrobölgeleme çalışmaları yürütülmektedir. Kentsel veya bölgesel sismik mikrobölgeleme çalışmalarından tespit edilen sonuçların arşivlenmesi, depolanması aynı zamanda coğrafi bilgi sistemi (CBS) veri tabanında değerlendirilmesi gerekmektedir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre oluşturulan haritalara istinaden çalışma alanının yorumlanması noktasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri günümüzde yaygın olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Rathje ve Kottke (2011) çalışmalarında, iki ayrı çalışma bölgesi için eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bir boyutlu iki analiz yöntemi arasındaki farklılıkları analiz yaparak tespit etmeye çalışmışlardır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, doğrusal olmayan analiz yöntemi uygulamasının daha büyük deprem ivmelerinde (0.05 g'den 0.1 g'ye kadar olan durum) ve yüksek frekanslara sahip (25 hertz'den büyük olan durumlar) eşdeğer doğrusal analiz yönteminden daha az amplifikasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Orta frekanslarda ise (5 ile 25 Hertz arasındaki durum için) eşdeğer doğrusal analiz yönteminden daha fazla ve zeminin doğal haldeki frekansında eşdeğer doğrusal analiz yönteminden daha az amplifikasyona sahip bir oranda tahmin ettiğini göstermişlerdir.

Savaş vd. (2012) çalışmalarında, Eskişehir ili Çifteler bölgesinde temel zemininin statik ve dinamik davranış özelliklerini araştırmak için çalışma alanını ve bölgeyi de kapsayacak şekilde daha önceden belirlenmiş olan noktalardaki sondaj kuyuları verileri dikkate alınarak sismik tehlike analizi çalışması yapmışlardır. Elde edilen çalışmalar

neticesinde tespit edilen deprem yer hareketi düzeyi ile beraber arazi ve laboratuvar şartlarında yapılan deneysel çalışmalar neticesinde tespit edilen yerel zemin özellikleri dikkate alınarak, bir boyutlu Shake 2000 programında sınılaşma ve zemin büyütme analizleri gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sınılaşma analizi sonuçlarına göre, inceleme bölgesinde bulunan sınılaşma potansiyeline sahip zeminlerden oluşan birimlerin sınılaşma durumuna karşı sınılaşma potansiyeli riski ve sınılaşma güvenlik sayıları indeksi hesaplanmıştır. Ayrıca bu analizler neticesinde elde edilen veriler ışığında, sınılaşma potansiyeli değerlerine bağlı olarak çalışma alanında belirlenmiş noktalara göre sınılaşma potansiyeline durumuna göre bölgenin mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur.

Zhang vd. (2013) çalışmalarında, Ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fayı (KAF) yakınında bulunan ve sismik aktivite olarak dünyanın en aktif deprem bölgesinin içinde yer alan İzmit Körfezi üzerine düşünülen köprü tasarımı için gerçekleştirilen zemin yer tepki analizi için çalışma bölgesindeki zemin kolonundaki maksimum değerdeki kayma birim deformasyonun tahmin edilebilmesi için bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yapabilen SHAKE programı yardımı ile, doğrusal olmayan bir ve iki boyutlu analiz yöntemleri ile FLAC diye adlandırılan bilgisayar yazılım programı kullanılarak doğrulanması halinde ancak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Eskişar (2014) çalışmasında, İzmir Körfezi çalışma bölgesinde, deterministik ve olasılıksal olarak sismik tehlike analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre meydana gelebilecek en büyük senaryo depremi büyüklüğü Mw: 6.5 olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma bölgesinin, zemin büyütme değerleri, sınılaşma analizi, yüzey spektral ivme değerleri ve pik yer ivmesi haritaları oluşturulmuştur.

Adampira vd. (2014) çalışmalarında, sınılaşma potansiyeli yüksek olan ve bu şekilde değerlendirilen, İran'ın güneyi bölgesinde bulunan Assaluyeh yerleşim alanındaki LNG adlı liman projesi çalışma bölgesinde ve diri fay hattının yakınında bulunan depremler oluşturabilecek potansiyele göre değerlendirilerek bir boyutlu analiz programına göre iki yöntemle karşılaştırılmıştır. Çalışma bölgesinde diri fay hattı yakınında kaydedilen deprem ivme kayıtlarının olmaması sebebiyle bölgede senaryo bir deprem oluşturmak

için simülasyon yöntemi kullanılmış ve diri faya yakın üç adet ivme zaman kayıtları dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Mevcut haldeki veriler DEEPSOIL programında kullanılarak frekansa bağlı eşdeğer doğrusal analiz yöntemi ile zamana bağlı doğrusal olmayan analiz yöntemleri (aşırı boşluk suyu basıncı da dikkate alınarak) ile çalışma alanının analizleri yapılmıştır. Elde edilen çalışmaların sonucuna göre, toplam gerilmeye bağlı olarak eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılan zemin yer tepki analizinde PGA'da belirgin bir artış meydana gelirken, efektif gerilmeye bağlı olarak doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanan zemin yer tepki analizinde eşdeğer doğrusal analizinden kaynaklanan belirgin farktan dolayı PGA değerinde azalma tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlara göre, kayma modülü sonuçlarına ve sönümleme oranına göre hesap yapabilmek için efektif gerilmenin esas alındığı doğrusal olmayan analiz yönteminin eşdeğer doğrusal analiz yöntemine paralel olarak; özellikle de sert kıvamda olmayan veya yumuşak ve sıvılaşıma potansiyeli yüksek zeminlerde ivme değeri büyük kayıtların kullanılması önerilmiştir.

Chandrakanth vd. (2014) çalışmalarında, tüm endüstri odaklı standart eşdeğer doğrusal (SHAKE) ve doğrusal olmayan (DEEPSOIL ve LS-DYNA) programlarının uygulanabilirliğine ışık tutuyor. Sonuçlar, eşdeğer doğrusal yöntemin yüksek frekanslı hızlanma tepkisini yeniden üretemediğini ve bu da kısa dönem aralığında neredeyse sabit spektral hızlanmaya neden olduğunu göstermektedir. LS-DYNA kullanılarak yapılan analizler, zaman zaman doğrusal olmayan omurga eğrisini düzelterek kaldırılabilen gerçekçi olmayan yüksek frekanslı ivme 'gürültüsü' ile sonuçlanır. DEEPSOIL kullanılarak yapılan analiz, zemin tabakalarının pik periyotlarında ani değişiklikler ile sonuçlanır. Özellikle nükleer uygulamalar için önemli olan büyük periyotlar ve daha büyük frekanslar için eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan programlardan saha tepki tahminleri arasında farklılıklar vardır. Doğrusal olmayan programlardan gelen ivme tahminleri çoğu durumda makul ölçüde yakındır, ancak aynı analiz eğrileri kullanılmasına rağmen pik gerilme tahminleri önemli ölçüde farklı olabilir.

Bolisetti vd. (2014) çalışmalarında, güvenli bir şekilde nükleer santrallerin yapımı için uygun görülen, sert olmayan kayalardan sert halde bulunan zeminlere kadar farklı zemin birimlerinden oluşan ve analiz için temsili dört zemin yer tepki yer hareket ivme kayıtlarını kullanarak frekansa dayalı eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle SHAKE programını ve zamana bağlı doğrusal olmayan DEEPSOIL ve LS-DYNA analiz programları kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelemeler yapılmıştır. Elde edilen analizler neticesinde, bir boyutlu SHAKE programıyla analizi yapılan eşdeğer doğrusal yöntemde, yüksek frekansa bağlı ivme yer tepkisi olmadığından ve kısa periyot aralığında sabit bir pektral ivme hareketi olduğu; LS-DYNA kullanılarak yapılan analizlerin gerçeği yansıtmayan ve yüksek frekansa bağlı ivmesi ile neticelendiği bunun yanı sıra DEEPSOIL programı kullanarak yapılan bir boyutlu analizlerde ise ardışık halde bulunan zemin tabakalarında birim deformasyona bağlı hızlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Kaklamanos vd. (2015) çalışmalarında, Japonyada bulunan Kiban-Kyoshin net ağında (KiK-net) sahaya uygun olarak toplamda 191 adet deprem yer hareketi ile birlikte lineer, eşdeğer doğrusal, ve doğrusal olmayan deprem yer tepki durumlarını, eşdeğer doğrusal yer tepki analizi için bir boyutlu SHAKE programı, doğrusal olmayan yer tepki analiz yöntemi için bir boyutlu DEEPSOIL programı ve normal sonlu elemanlar programı Abaqus/Explicit kullanılarak doğrusal olmayan yer tepki analiz modeli kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Elde edilen analizler neticesinde; sahaya özel olarak %0.01 ile %0.1 arasında kayma birim deformasyonları halinde lineer yer tepki modelinin kullanımı, kısa periyotlu olarak yer tepki hareketini doğru olarak tahmin edilemediği eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan modellerin, bu aralığın üstündeki seviyede birim deformasyon durumlarında dikkate değer bir ilerleme sağladığı, doğrusal olmayan yöntemde ise yaklaşık %0.05'den daha büyük birim deformasyon durumlarında ise eşdeğer doğrusal modellere kıyasla daha az bir gelişme olduğu tespit edilmiştir. Doğrusal olmayan yer tepki modellerinin, lineer ve eşdeğer doğrusal modellerle kıyasladığımızda az bir gelişme eğilimi göstermesine rağmen, doğrusal olmayan zemin davranışını tam olarak sahaya yansıtmanın bundan sonraki süreçlerde karmaşık yer tepki davranışlarının tahminlerini geliştirmeye yönelik atılmış küçük bir adım olduğu öngörüsünde bulunmuşlardır.

Desai ve Choudhury (2015) çalışmalarında, Mumbai şehir merkezinde bulunan Jawaharlal Nehru (JNPT) ve Mumbai limanları için zemine uygun bir boyutlu yer tepki analizini, zemin profilinde anakaya seviyesi olarak varsayarak ve frekansa bağlı eşdeğer doğrusal (EQL) ile birlikte zamana bağlı doğrusal olmayan (NL) yöntemler kullanılarak bir boyutlu analizler gerçekleştirmişlerdir. Program analizi için, kayma dalga hızı (V_s) değerleri standart penetrasyon deneyi değerlerinden ampirik yöntemlere bağlı olarak hesaplanmıştır. Elde analiz sonuçlarına göre, liman bölgesi çalışma sahaları için hem eşdeğer doğrusal analiz hem de doğrusal olmayan bir boyutlu analizlerde yer tepkisinin nispeten sert kıvamdaki zeminler için değişmeyeceği fakat sert olmayan, yumuşak zeminli çalışma alanı için doğrusal olmayan analiz yöntemine kıyasla eşdeğer doğrusal analizin daha büyük tahminler verdiği tespit edilmiştir.

Kaklamanos ve Bradley (2015) çalışmalarında, Japonyada bulunan Kiban-Kyoshin net ağındaki (KiK-net) belirlenmiş olan 114 noktada toplam 5626 zemin yer hareketi için bir boyutlu doğrusal olmayan analizleri DEEPSOIL yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, zemin hareketlerini bir boyutlu SHAKE programı kullanarak lineer ve eşdeğer doğrusal analizleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre; eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan modellerin genelde %0.05 ila %0.1 sınır aralığında maksimum kayma birim deformasyonları elde edinceye kadar önemli bir ölçüde birbirlerine yakın değerler verdiği, daha büyük kayma birim deformasyonlarında ise doğrusal olmayan analiz sonuçları, tahmin etme durumları göz önüne alındığında eşdeğer doğrusal analiz modeline göre az da olsa olumlu bir gelişme gösterdiği tespit edilmiştir.

Mirshekari ve Ghayoomi (2015) çalışmalarında, farklı su emme potansiyellerine göre tamamen kuru zemin ve kısmen doygun halde bulunan kum ve silt tabakalarının program aracılığıyla ölçeklenmiş halde ele alınan Northridge deprem yer hareketi altında eşdeğer doğrusal ile doğrusal olmayan yer tepki analizleri karşılaştırılmıştır. Çalışma bölgesinde her iki farklı zemin tabakası için eşdeğer doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analizler karşılaştırıldığında analiz sonuçlarına göre önemli derecede daha yüksek amplifikasyon parametreleri ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre belirlenen yanal deformasyonların doğrusal olmayan

analiz yöntemine göre, sırasıyla Bonny bölgesi siltli zeminde daha yüksek bunun yanı sıra da Ottawa bölgesi kumunun daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Iswanto ve Yee (2016) çalışmalarında, nükleer enerji santrallerinin yerinin belirlenmesine yönelik arazi çalışmaları için, Endonezya sınırları içerisinde yer alan Bangka-Belitung adalarının Batı Bangka (WB) diye adlandırılan çalışma alanı içerisinde, PS Logging Testi ve Standart Penetrasyon Testi (SPT) deney verilerinin kullanımı ile bir boyutlu analiz yapabilen DEEPSOİL programı kullanılmıştır. Analiz yöntemleri olarak Eşdeğer doğrusal (EQL) ve doğrusal olmayan (NL) analiz yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Analiz yapmak için belirlenen zemin profili 34 metrelik sert kıvamlı kil tabakası ve akabindeki tabaka ise granitten oluşmaktadır. Zemin profili boyunca kayma dalgası hızı (V_s) her tabakada farklılık göstermektedir. Deprem veri kaydı olarak 2007 yılında, Batı Sumatra Sikuai isimli adada meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki deprem ivme kaydı Sikuai2 adı verilerek analizde kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre; eşdeğer doğrusal analiz yönteminin, doğrusal olmayan analiz yöntemine benzer yakınlıkta olduğu ve doğrusal olmayan analizin, eşdeğer doğrusal analizine kıyasla spektral ivmenin daha yüksek olduğu ve frekansı daha gerçekçi bir biçimde yansıttığı görülmüştür. Araştırmacılara göre, elde edilen analiz sonuçlarına göre, yer tepkisinin çalışma alanının birebir halini ortaya koyabilmesi için sağlıklı verilerin kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir.

Khalid vd. (2016) çalışmalarında, 2005 Muzaffarabad Depremi sırasında yıkılan İslamabad'daki Margalla Kulesi binasında bir boyutlu eşdeğer doğrusal yer tepki analizi yapılmıştır. Analizler, yeraltı suyu seviyesi etkisi dikkate alınmadan DeepSoil yazılımında gerçekleştirilmiştir. Zemin verileri, saha şartlarına göre 21 m derinlikte anakaya ile saha için yapılan laboratuvar ve saha testlerinden seçilmiştir. Saha ve laboratuvar test verileri, Kule alanının altındaki zeminin birleşik Zemin sınıflandırma sistemine göre siltli kil ile yağsız kil olduğunu göstermiştir. Ana kayaya hedef bölgedeki depremle uyumlu, 0.17 g, 0.15 g, 0.22 g ve 0.21 g PGA değerlerine sahip dört farklı ivme ölçer uygulanmıştır. Yüzey tepki spektrumları, ivme-1 hariç diğer üçünde Zemin büyütmesi görülmüştür. Analizler yüzeyde farklı PGA değerlerinin (0.26 g, 0.21 g, 0.36 g ve 0.21 g) üretildiğini göstermiştir ki bu giriş ivme ölçerlerinin Fourier

genliğindeki farktan dolayı açıklanabilir. Ayrıca, farklı girdi ivme ölçütleri farklı bir kesme kuvveti üretti ve böylece zemin profile derinliği boyunca farklı kesme mukavemetlerini göstermiştir. Son olarak, ivme ölçerlerin hesaplanan tepki spektrumları İslamabad'ın tepki spektrumlarıyla karşılaştırıldı. Hesaplanan spektral ivme değerlerinin Pakistan Yapı Kanunu (0.16 g ila 0.24 g) arasında bildirilenden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Francesco vd. (2016) çalışmalarında, Noto şehrinde yapılan sismik tehlike mikrobölgeleme çalışmaları yapılmıştır. Bölgede beklenen bazı tipik tarihsel senaryo deprem belirlenmiştir. Beklenen depremi tahmin etmek için yer hareketi, sismik sinyalin yüzeydeki yayılma şekli tanımlanmıştır. Yayılma durumu, yerel jeoloji ve incelenen alanın jeoteknik dinamik zemin koşullarından etkilenmektedir. Veri büyük ölçüde yerinde testlerle elde edilen stratigrafik profillerden oluşur. MASW testleri, Down-Hole testleri, SDMT testleri, Üç eksenli deneyler ve Direkt kesme deneyleri, statik ve dinamik laboratuvar testleri yapılmıştır. Tüm bu verilerin işlenmesi, yüzeydeki yer tepki analizine, EERA, STRATA ve DEEPSOIL doğrusal eşdeğer analiz yöntemi kullanılarak şehrin bazı bölgelerinin zaman geçmişi ve tepki spektrumları, sismik mikrobölgeleme yapılmıştır.

Pruiksma (2016) çalışmasında, Hollanda'nın Groningen çalışma bölgesindeki arazi koşullarını temsil edebilecek iki farklı zemin analizi için aynı numune modellerini ve sahaya özel zemin parametrelerini kullanarak eşdeğer doğrusal ile doğrusal olmayan analiz sonuçları incelenmiştir. Çalışma bölgesini yansıtan birinci zemin profili, Loppersum çalışma bölgesindeki zemin şartlarını temsil edebilecek ayrıca diğer zemin profiline göre daha yumuşak killi bir zeminden oluşmaktadır. Seçilen diğer zemin profili ise, Slochteren çalışma alanındaki arazi şartlarını yansıtacak kumlu ve sert kilden oluşan bir yapıdadır. Elde edilen analiz sonuçları dikkate alındığında, doğrusal olmayan analiz yönteminin, eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre PGA ivme düzeylerini dikkat edilecek derecede daha düşük yansıttığı tespit edilmiştir. Analizlere göre yaklaşık olarak 1 saniye ve 2 saniyelik daha büyük spektral periyot sınırları içerisinde, eşdeğer doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri arasındaki meydana gelen belirgin farkların, daha kısa spektrum periyotlarına göre daha küçük olduğu açıkça

görülürken eşdeğer doğrusal analiz yönteminde daha uzun spektrumlu periyot için daha yüksek spektrum ivmesini yansıtmasından dolayı, belirlenecek olan spektral ivmelerin daha dikkatli, güvenli tarafta kalan tahminlere yol açtığı tespit edilmiştir.

Subaşı ve İyisan (2017) çalışmalarında, Bursa İli Güzelyalı Beldesi'nde mikrobölgeleme çalışması yapılmış ve tek boyutlu analiz ve mikrotremor ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Bölgede daha önceden yapılmış olan 68 sondaj verisi, jeolojik raporlar ve deprem raporları kullanılarak bölgedeki zemin tabakaları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Desing of Structures for Earthquake Resistance (Eurocode 8), National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre sınıflandırılmıştır. Aktif fay hatları ve kırıklar belirlenmiş ve daha önceden yapılmış sismik tehlike analizleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Belirlenen kayma dalgası hızı-derinlik profilleri ve mühendislik anakaya derinliği ve bölgede daha önce yapılmış 68 adet sondaj çalışması ile birlikte incelenerek zemin modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan zemin modellerinin bölgedeki fay mekanizması ve geçmiş depremler göz önünde bulundurularak belirlenen 6 farklı deprem için zemin dinamik analizi yapılmıştır. Bir boyutlu olarak yapılan analizler neticesinde elde edilen kayma şekil değiştirmeler, mikrotremor ölçümlerinden elde edilen kayma şekil değiştirmeleri ile kıyaslanarak coğrafi bilgi sistemleri programı olan ArcGIS ile haritalandırılmıştır. Mikrotremor ölçümleri ve tek boyutlu analizle sonucunda elde edilen kayma şekil değiştirmesi arasında pratik amaçlar doğrultusunda kullanılabilecek bir bağıntı önerilmiştir.

Civelekler vd. (2018) çalışmasında, zemin tabakalarındaki farklılıklar, depreme bağlı yer hareketinin yapıya aktarılma biçimi ve depremin büyüklüğü yapıya gelecek olan dinamik yükleri etkilemektedir. Yapılmış olan bu çalışmanın temel amacı, daha önce çalışma bölgesinde yapılmamış olan bir boyutlu (1-D) eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılarak, alüvyon zemin üzerinde yer alan Eskişehir il merkezini kapsayan zemin profili için zemin büyütme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen zemin büyütme oranlarını kullanarak coğrafi bilgi sistemi (CBS) tekniği ile haritalandırılmış ve kamu yararına kullanımı sağlanmıştır.

Nitish vd. (2018) çalışmasında, Haryana Eyaleti'nde (Hindistan) eşdeğer doğrusal yaklaşımı benimseyerek deprem tepki analizi yapılmıştır. Bu amaçla, farklı kurum ve özel kuruluşlardan jeoteknik veriler toplanmıştır. Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programı (NEHRP) hükümlerine göre, tüm sahalarda zemin profili için ortalama N değeri (N_{30}) kullanılarak sınıflandırılmıştır. Zemin profilindeki tabakaların kayma modülü (G_{max}) değerleri standart korelasyonlar kullanılarak tahmin edilmiştir. Döngüsel olarak, standart kesme modülü degradasyonu ve sönümlenme eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Himalaya ivme sisteminden zaman-ivme verileri kullanılmış ve yüzeyde DeepSoil yazılımı kullanılarak zemin davranışı tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonuçları zemin büyütme haritası, tepki spektrumları, derinlik boyunca PGA, yüzey zaman ivmeleri ve derinlik boyunca gerilme açısından değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar, dinamik analizler ve yapıların tasarımı, gelişmiş dinamik laboratuvar testinin planlanması vb. analizler için kullanılabilir. Ayrıca, Haryana'daki alanların yer hareketlerini önemli ölçüde artırabildiği ve bu nedenle önemli yapılar için sahaya özel bir tasarım yaklaşımının benimsenmesi gerektiği gözlenmiştir.

Mert (2018) çalışmasında, Çifteler ilçesi sınırları içerisinde bulunan çalışma alanından elde edilen arazi ve laboratuvar deneysel verileri ile birlikte yerel zemin özellikleri kullanılarak sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zemin profilinden oluşan hücrelerin bir boyutlu DEEPSOİL analiz programında frekansa bağlı olarak eşdeğer doğrusal analiz yöntemi ile zamana bağlı doğrusal olmayan analiz yöntemleri karşılaştırılarak zemin dinamik davranışı ile sıvılaşma potansiyelleri araştırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına istinaden, zemin yüzeyinde meydana gelebilecek ivme değerlerinin değişimi tespit edilerek söz konusu zemin hücrelerinin sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı ile birlikte sıvılaşma potansiyel indeks değerleri hesaplanmıştır. Analiz çalışmaları kapsamında, eşdeğer doğrusal analiz yöntemi sonucunda belirlenen sıvılaşma potansiyeli indeks değerleri de analizde kullanılarak çalışma bölgesinin sıvılaşma riski tespit edilerek, doğrusal olmayan analiz sonucuna göre de boşluk suyu basıncı değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Her iki analiz için de inceleme bölgesi için zeminlerin sıvılaşma potansiyelleri karşılaştırılarak riskler tespit edilmiştir.

Uzunoğlu ve Sezer (2019) çalışmalarında, Aydın ili Efeler İlçesi'nin dinamik zemin özelliklerinin incelenmesinden elde edilen veriler kullanılarak, sismik mikrobölgeleme çalışması yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, inceleme alanında yakın zamanda yapılan 144 sığ ve 4 derin sondajdan elde edilen geoteknik veriler derlenmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere, NEHRP ve TBDY-2018'e göre zemin sınıflarını, zemin profilinin üst yüzey tabakasından yani 30 metreyi kapsayan ortalaması alınan kayma dalgası hızını (V_{s30}), spektral ivmeleri, spektral büyütmeleri içeren veri tabanı oluşturulmuştur. Bölgedeki deprem kaynakları belirlenerek, probabilistik sismik tehlike analizi yapılmıştır. Geoteknik zemin profillerinin ölçeklendirilmiş sismik taban kaya hareketlerine tepkisi, bir boyutlu eşdeğer doğrusal zemin tepki analizi yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerden elde edilen tahmini zemin tepki spektrumu değerleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki (2018) kriterlere göre hesaplanmıştır. Zemin büyütmesi, yüzey spektral ivmesi ve yer sarsıntı tehlikesinin inceleme alanındaki değişimi haritalanmıştır. Analiz sonuçları kullanılarak, inceleme sahasının Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı sismik mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur. NEHRP zemin sınıflandırmasına göre, inceleme alanının sadece C ve D sınıfı zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir.

2.2 Zeminin Dinamik Davranışı

Yeryüzünde kayalık ortamların rüzgar, su ve buz gibi aşındırıcı etkilere maruz kalarak mekanik olarak ya da kimyasal süreçler neticesinde ayrışma veya bozuşmaya uğraması sonucu bir şekilde taşınarak zemin taneleri oluşmaktadır. Deprem etkileri altında zeminlerin nasıl davranacağına detaylı şekilde incelenmesi her türlü yapının başlangıcı ve üretimi çok önemli bir yer teşkil eder. Mühendislik parametrelerine bağlı olarak tasarımın önemli bir parçası olan temel veriye ulaşabilmek için birçok analiz yapılmaktadır. Mühendislik alanını bilimsel ilkelere dayandıran, doğada var olan kaynakların sağlıklı ve verimli bir şekilde yapılara, sistemlere, yaşam alanlarına, makinalara dönüştürülmesi amacıyla belirli kurallar çerçevesinde uygulamaya geçirebilme sanatı olarak tanımlanamamız gerekmektedir. Zeminin davranışı noktasında verim, güvenlik, sağlık ve konfor sınırları içerisinde belirleyici kriterler oluşturularak zeminde meydana gelebilecek sorunları çözmek gerekir. Başka bir deyişle durumu ele

alacak olursak, dinamik ve statik yüklere maruz kalan zeminlerin davranışının irdelenmesi, projeye dönüştürülmesi ve sonrasında üretim sürecine geçilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle de zeminin veya yapının deprem gibi, dinamik yüklere maruz kaldığında nasıl bir davranış göstereceğinin tahmin edilmesi ve buna göre hareket edilmesi mühendislerin ve araştırmacıların en temel ödevlerinden biri olmalıdır. Zemin profili içerisinde bulunan farklı veya aynı tabakalar, içinden geçen deprem dalgalarının karakteristik özelliklerini etkilerken buna tepki olarak deprem dalgaları da, zeminde şev kayması ve sıvılaşma durumlarında görüldüğü gibi zemin tabakalarının şekil değiştirme ve mukavemeti noktasında belirleyici etkileri gözlenmektedir (Ansal 2004, Das 1993, Gündoğdu ve Özçep 2003, Kramer 1996, Richard vd. 1970, Whu, 1971). Yeryüzünde bulunan zeminlerin, mühendislik biliminde tane çaplarına, boyutlarına göre yapılan, yaygın bir şekilde kullanma alanı olan zemin sınıflandırılmasında iki temel grup yer almaktadır. Terzaghi ve Peck (1967)'e göre bu gruplar aşağıda yer aldığı gibidir;

- Kohezyonlu veya ince daneli zeminler
- Kohezyonsuz veya iri daneli zeminler

Depreme dayanıklı herhangi bir yapı inşa etmek için üç önemli özellik dikkate alınması ve çok iyi incelenmesi gerekmektedir;

- a) Depremin kendi özellikleri
- b) Zeminin yapısı ve dinamiği
- c) Yapının kendi özellikleri

Zemin tabakalarının statik veya dinamik davranışının belirlenmesine yönelik olarak farklı mühendislik çalışmalarını da kapsayan (geoteknik, jeolojik ve jeofizik) sınırları aşama aşama belirlenmiştir (Çizelge 2.1). Statik ve dinamik yükler altında inşaa edilecek yapıların modern yöntemlerle tasarımının yapılması ve projelendirilmesi noktasında zemin ve deprem etkilerine bağlı olarak karşılaşılabilecek problemler; Dinamik yüklerden kaynaklı problemler ve statik yüklerden kaynaklı problemler olarak genel anlamda iki başlık halinde sınıflandırılabilirler. Deprem gibi dinamik yüklere maruz kalan zeminlerde oluşan problemler; zemin büyütmesi, sıvılaşma ve şev stabilitesi iken, statik yüklerden kaynaklı problemler ise; zeminde oturma, taşıma gücü, şev (yamaç) stabilitesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 2.1 Zemin Davranışının Belirlenmesine Yönelik (Jeofizik & Geoteknik) Araştırmalar (Özçep ve Gündoğdu 2004).

<p style="text-align: center;">VAROLAN BİLGİLERİN DERLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ Hava Fotoğrafları, Jeolojik Harita ve Kayıtlar, Topoğrafik Haritalar, Jeofizik (Deprem) Haritaları ve Veriler, Maden Haritaları, Daha Önceki Zemin Araştırmaları, vb.</p>
<p style="text-align: center;">YAPI YERİ İNCELEMELERİ VE DENEYLERİ Yapı yeri İncelemeleri: Araştırma Çukurları, Sondajlar ve Jeofizik incelemeler Yapı yeri Deneyleri: SPT, CPT, Jeofizik Deneyler, Plaka Yükleme Deneyi, Presiyometre Deneyi vb.</p>
<p style="text-align: center;">LABORATUVAR DENEYLERİ Elek Analizi, Islak Analiz, Su İçeriği, Birim Hacim Ağırlığı, Permeabilite Deneyleri, Konsolidasyon Deneyi, Kayma Mukavemeti Deneyleri, Dinamik deneyler (Sonik Deneyler, Rezonans Kolonu Deneyi)</p>
<p style="text-align: center;">MÜHENDİSLİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ Likit Limit, Su İçeriği, Plastik Limit, Uniformluluk Katsayısı, Derecelenme Katsayısı/Eğrilik Katsayısı, Plastisite İndisi, Kayma (Enine) Dalga Hızı, Poison Oranı, Elastisite Modülü, Bulk Modülü, Permeabilite Katsayısı, Kayma ya da Rijidite Modülü, Elektriksel Özdirenç, Tasarım Depremi Magnitudü, Episantr Uzaklığı ve İvmesi, Bağlı Sıklık Oranı/ İzafe Yoğunluk, Boşluk Oranı, Gözeneklilik / Porozite, Zemin Hakim Titreşim Peryodu, Serbest Basınç Dayanımı, Üçgenli Basınç Dayanımı, Kohezyon, İçsel Sürtünme Açısı, Tane Boyu, SPT Vuruş Sayısı, Birim Hacim Ağırlıklar (Kuru ve Islak), Tabaka Kalınlıkları, Yeraltısuyu Düzeyi, Efektif, Gerilme, Boşluksuyu Basıncı, Devirsel Kayma Gerilmesi Oranı</p>
<p style="text-align: center;">STATİK YÜKLERİN OLUŞTURDUĞU TEMEL PROBLEMLER Taşıma Gücü, Oturma, Yamaç Stabilitesi vb.</p>
<p style="text-align: center;">DİNAMİK (DEPREM) YÜKLERİN OLUŞTURDUĞU TEMEL PROBLEMLER Büyütme, Sıvılaşma, Dinamik Yamaç Stabilitesi, vb.</p>
<p style="text-align: center;">TASARLANAN YAPI VE BEKLENEN DİNAMİK (DEPREM) YÜKÜ İLE TEMEL SİSTEMİ GÖZÖNÜNDE TUTULURAK PROBLEMLERİN İRDELENMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ Jeofizik, Jeoloji ve Geoteknik (İnşaat) Mühendisleri arasında İşbirliği ile</p>

Yapı temelinin en önemli görevi yapı yüklerini güvenli bir şekilde zemin tabakalarına aşağıya doğru iletmektir. Bir yapı temelinin veya zeminin göçmesi ancak iki şekilde meydana gelir:

- a) Kayma mukavemeti, maruz bırakılan yükü desteklemekte yetersiz kalması halinde temelin altında bulunan zemin katastrofik olarak çöker.
- b) Kısmen zemine uygulanan kayma gerilmesine maruz kalması sonucu zemin kütle yapısının bozulması, kısmen de artan normal gerilmenin neticesinde zeminin konsolidasyonu sebebiyle yapının aşırı tasman yapması halinde oluşur.

Zeminin kayma ve oturma yenilmesine karşı direnci, temelin boyutu ve şekli ile onun yüzeyden itibaren derinliğine bağlıdır. Bir yapı temelinin tasarımında yenilmenin farklı yönleri ele alınarak her iki biçimde de olma ihtimalinin mutlaka belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda zeminlerin nihai taşıma gücünü tespit etmeye yönelik olarak Terzaghi ve Peck (1967), kayma kırılmasına dayanan bir teori geliştirmiştir. Tabii zemin üzerine inşa edilen her yapı için zeminde oturma durumu söz konusudur. Buna istinaden zemindeki oturmalar arazi şartlarına bağlı olarak engellenmesi mümkün olmamakla birlikte bazıları ise tolere edilebilir sınırlar içinde kalması şartıyla minimum boyuttadır. Zemin üzerine inşa edilen yapılarda, zeminde meydana gelebilecek oturmaların ne boyutta olduğu, nasıl oluştuğu ve nasıl davranacağı, belirli bir duruma bağlı olarak oturma hızının ne kadar hızlı ve ne derecede oluşacağı yapının sağlığı için mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Oturmayı etkileyen başlıca önemli faktörler sırasıyla aşağıda verilmiştir (Gündoğdu ve Özçep 2003);

- Zeminin permabilitesi (Geçirgenliği)
- Zeminin drenaj durumu
- Zemine iletilen yük
- Zeminde meydana gelebilecek yüklerin gelişimi
- Yeraltı su seviyesi

Zeminde meydana gelebilecek tabakalanma durumu ve içindeki kayma direncini gibi parametrelerin irdelenmesi bazı zorlukları beraberinde getirmektedir. Eğer kayma gerilmesi, zeminin kayma direncini yenersen diğer bir deyişle durumu tetikleyici kuvvetler, zeminin hareketine karşı direnç gösteren kuvvetten daha büyükse şevin (yamaç) altında bulunan zemin tabakasında kırılmalar meydana getirip göçecektir. Zeminde meydana gelebilecek yenilmeler veya kayma durumları öncelikle aşağıdaki nedenlerden dolayı oluşturulurlar (Gündoğdu ve Özçep 2003);

- Şevin oluştuğu zeminin türü veya özellikleri
- Şevin düşey kesitinin geometrisi
- Zemin yüzeyindeki yükler ve ağırlıklar
- Zeminin içerisindeki nemin artması

- Suyun sebebiyet verebileceği durumlardan dolayı zeminin kayma direncinin azalması
- Gerilme çatlakları
- Sızıntı kuvvetleri ve akımı
- Depremler ve titreşim
- Bilinmeyen veya görünmeyen bir neden

Deprem tehlikesi, can kaybı, maddi ve manevi hasar kaybı meydana getirebilecek büyüklükteki bir depremden kaynaklanan, yer hareketinin belirli bir bölgede ve bir zaman aralığı içerisinde belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Deprem sebebiyle can, mal ve hasar kaybı olasılığı olarak tanımlanan, deprem riski kelimesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Erdik vd. 2000). Meydana gelebilecek depremlerin zamanı, konumu, oluş süresi, deprem büyüklüğü ve diğer özellikleri belirsizlik durumu ortaya koyduğu için deprem riskinin belirlenmesinde olasılık hesaplarına dayanan tahminler önemli bir karar mekanizmasını oluşturmaktadır. Yerleşim bölgelerinde deprem riskinin belirlenmesi amacıyla probabilistik ve deterministik olasılıklı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ve alt yapıyla birlikte Ülkemizde 2019 yeni deprem yönetmeliğine göre revize edilen güncel diri fay hatlarının konumuna göre herhangi bir çalışma bölgesi için ara yüz sistemi üzerinden noktasal olarak yatay veya dikey ivme değerleri alınarak da farklı programlara uygulanması durumunda da analizler yapılmaktadır.

Deprem esnasında sismik dalgaların sebep olduğu özellikle de kayma dalgalarının etkisine maruz kalması sonucu genellikle drenajsız halde bulunan suya doygun ve sıkı olmayan zemin taneleri içerisinde hareket ederken birbirine göre kayma kuvvetleri oluşturarak zemin taneciklerinin yer değiştirmesine sebebiyet verirler. Belirtilen şartlar altında doygun ve gevşek zemin taneciklerinin birbirlerine doğru yaklaşma eğilimi gösterirler. Bu haldeki taneciklerin birbirine temas noktasındaki gerilimler tanecikleri çevreleyen suyla iletilir. Deprem boyunca sismik dalgalar etkisiyle çok kısa sürede ani hareketlere maruz kalmasından dolayı, taneler arasındaki suya drene olmak için yeterli süreyi tanımamaktadır. Bu sebepten dolayı bulunduğu ortamdan drene olamayan, uzaklaşamayan su, gözeneklerdeki basıncı aniden artmaktadır. Gözenekte meydana

gelen ani basınç artışı, zemin tanelerini bir arada tutan temas noktalarındaki kuvvetleri yok ederek partiküllerin birbirinden uzaklaşmasına sebep olur. Sonuç itibariyle de zemin dayanımını yitirmektedir. Başka bir ifade ile efektif düşey basıncın sıfır olduğu mevcut koşullar etkisinde zemin taneleri, deprem hareketi öncesinde göstermiş olduğu katı zemin davranışı durumu yerine sanki bir sıvı gibi hareket ederek suyla birlikte yüzeye doğru hareket eder ve bulunduğu boşluklardan yüzeye doğru fişkırmaya başlar. Zeminin dinamik yükler etkisi altında ortaya koymuş olduğu bu davranış biçimi literatürde sıvılaşma olarak tanımlanmaktadır. Kısacası zemin sıvılaşması durumu, yeraltı su seviyesinin de etkisiyle zemin tabakalarının geçici olarak mukavemetlerini kaybetmesi bunun neticesinde katı hal yerine viskoz sıvı gibi davranmasıdır. Genel itibariyle bünyesinde kil bulunmayan silt ve kumlar, bazen de granüler çakıllar sıvılaşma potansiyeline sahip oldukları bilinmektedir.

Deprem esnasında sismik dalgaların özellikle de kayma dalgalarının suya doymuş halde daneli zemin tabakalarından geçerken danelerin yerleşme düzenini değiştirmekle birlikte gevşek halde bulunan danelerin göçerek sıklaşmasına ve yerleşmesine neden olurlar. Kayma dalgalarının etkisiyle yerleşme esnasında daneler arasında eğer su kendisine bir yol bulup kaçamazsa bu durumda boşluk suyu basıncını yükseltir. Yükselen boşluk suyu basıncı üstte bulunan zemin tabakalarının ağırlığına eşit veya yakın bir seviyeye ulaşması halinde daneli zemin tabakası geçici olarak sıvı (viskoz) gibi davranarak sıvılaşma durumunu meydana getirir. Zeminde meydana gelen sıvılaşma sonucu hafif yapılarda yukarı doğru hareket gözlenirken, yapıda ise zemine batma eğilimi gözlenebilmektedir. Sıvılaşan zeminler çok küçük kayma gerilmeleri altında büyük şekil değiştirmelere neden olmakla birlikte yapılarda zemin göçmesi dediğimiz hasarları meydana getirebilir. Kısacası zeminin sıvılaşması durumu; boşluk suyu drenajının engellenmesi, kil miktarına ve daneler arasındaki bağın engellenmesi ve gevşek bir yerleşime sahip danelerin olup olması durumlarına bağlıdır (Uyanık 2002, Aşçı vd. 2003, Aşçı vd 2004, Özçep vd. 2004, Zarif vd. 2004).

Yeryüzeyine yakın çok sağlam bir kayaç üzerinde tabakalanan zemin, deprem etkisi sebebiyle meydana gelen sismik dalgaları süzgeçten geçirerek bazı periyotlarda genlikleri artırırken, bazı periyottaki genlikleri ise azaltabilmektedir. Bahsedilen bur

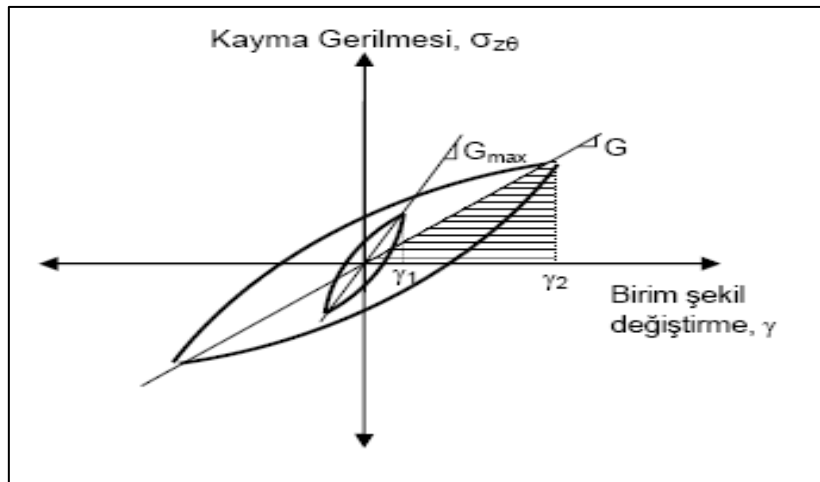
durumun gelişimi genellikle “zemin büyütmesi” olarak ifade edilmektedir (Eyidoğan 2002). Yer kabuğu içerisinde bir deprem meydana geldiğinde, tabakaları etkileyecek olan sismik dalgalar ana kaynaktan yola çıkarak zemin tabakaları içerisinde hızla yayılırlar. Bu sismik dalgalar yer yüzeyine ulaştıklarında bir kaç saniyeden dakikalara ulaşabilen süre zarfında titreşim hareketleri üretirler. Belirli bir noktadaki zemin tabakalarının titreşim şiddeti ve süresi, depremin büyüklüğüne, depremin meydana geldiği ana kaynağa olan mesafeye ve bölgede bulunan zeminin özelliklerine bağlıdır. Deprem esnasında sismik dalgalar, deprem kaynağından yeryüzüne kadar olan yolculuğunun önemli bir kısmını yer kabuğunu meydana getiren anakaya veya sert kaya içerisinde geçirmelerine karşın, yolculuğunun son bölümünde zemin özellikleri sert kayaya göre oldukça farklı ve yumuşak olan zemin tabakaları arasında hareket etmektedir. Büyük ölçüde titreşimin şiddetini zemin tabakalarının karakteristik özellikleri belirlemektedir.

Zemin tabakaları ve taneler arasındaki boşluk, sismik dalgalar için sanki bir süzgeç görevi yapıyormuş gibi davranırlar. Bazı frekanstaki sismik dalgalar zemin tabakaları içerisinde sönmülmektedirken bazıları da büyütülmektedir. Sismik dalgaların, zemin tabakaları içerisindeki hareketi ve buna bağlı olarak geçirmiş olduğu değişimlerin tümü “lokal zemin etkisi” olarak adlandırılır. Meydana gelen bu değişim genliklerin artması biçiminde gözlemlendiğinden “lokal zemin etkisi” ifadesi yerine literatürde zemin transferi, zemin büyütmesi veya zemin tepkisi olarak ifade edilmektedir. Teorik olarak zemin büyütmesi ifadesi, deprem etkisiyle oluşan sismik dalgaların yeryüzüne yakın, yumuşak halde bulunan zemin tabakaları içerisinde hareket ederken genliklerinin artmasına karşılık geldiği ifade edilir. Bu ifadenin sebebi ise zemin tabakalarının sahip olduğu düşük yoğunluk ve hız kısacası düşük empedans değeri olarak bilinir. Zemin büyütmesi teriminin pratikte kullanılan anlamı ise, sismik dalgaların iki yakın bölge arasında göstermiş olduğu, sebebi empedans kaynaklı fark olsun olmasın, bölgedeki herhangi bir farkı ifade etmek için kullanılmaktadır (Yalçınkaya 2002). Zemin büyütmesini etkileyen etkenler şu şekilde sıralanabilir:

- Rezonans etkisi ve Empedans oranı,
- Doğrusal olmayan zemin davranışı,

- Basen kenarlarında oluşan yüzey dalgaları,
- Basen altı topografyasına bağlı olarak oluşan odaklanma,
- Topografyanın etkisi.

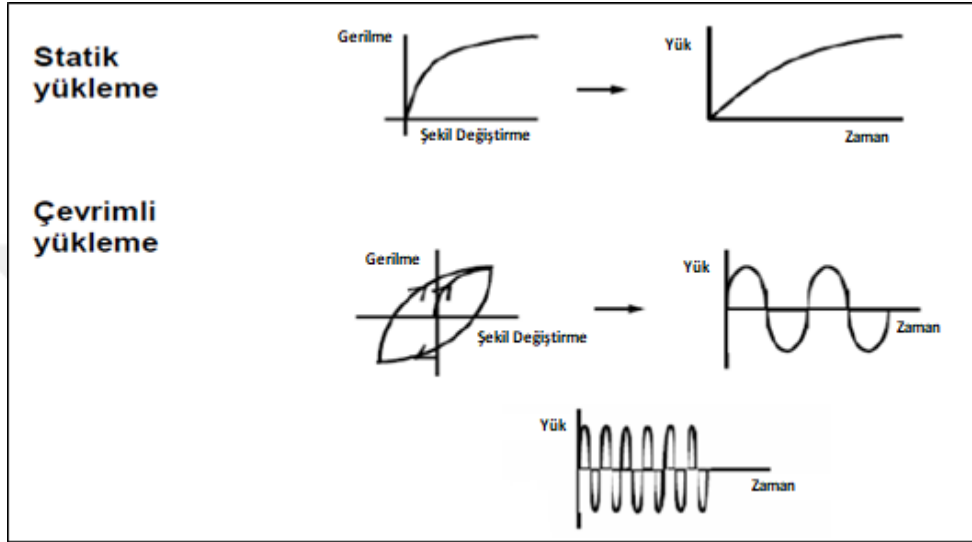
Depremler, sismik hareketler veya dalga yükleri gibi tekrarlı yüklemelere maruz kalan zeminlerin davranışlarının araştırılmasında zeminin dinamik özelliklerinin mutlaka belirlenmesi gerekir. Zeminin drenajsız halde tekrarlı yüklere maruz kalması, kohesyonsuz zemin tabakalarında sıvılaşma, mukavemet kaybı, kohezyonlu zemin tabakalarında ise aşırı deformasyonlar ve buna bağlı olarak göçme durumlarının mutlaka araştırılması gerekir. Zemin tabakalarının deprem dalgaları gibi tekrarlı yüklere maruz kalması durumunda ise mukavemet değeri, gerilme-şekil değiştirme karakteristikleri dikkate alınarak incelenmesi gereklidir. Gerilme-şekil değiştirme davranışlarının şekli, histerezis ilmikleri gibi meydana gelmektedir (Özener 2012). Kayma modülü de, histerezis ilmiklerinin uç noktasından geçen doğrunun eğimi olarak ifade edilmektedir. Kayma modülü, birim şekil değiştirme düzeyine göre değişkenlik göstermektedir. Şekilde de görüldüğü üzere; dinamik kayma gerilmesi oranı, birim şekil değiştirme düzeyi arttıkça ters orantılı bir şekilde azalmakta ve sonuç itibarıyla doğrusal olmayan bir davranış göstermektedir.



Şekil 2.1 Zemin dinamik davranışı (Özener 2012).

Zemin tabakalarının dinamik davranış özellikleri, zeminde meydana gelen deformasyonların seviyesi ile yakın ilişkilidir. Elasto-plastik davranış ve elastik

davranış şartları altındaki şekil değiştirme düzeylerinde zeminlerin gerilme-şekil değiştirme durumundaki özellikleri ön plana çıkarmaktadır. Şekil değiştirme düzeylerinin büyük olması durumunda ise, uygulanan yüke maruz bırakılan zeminlerde plastik şekil değiştirme özellikleri ile birlikte mukavemet kayıpları daha da önemli hale gelmektedir (Özener 2012).



Şekil 2.2 Statik ve çevrimli yükleme mekanizması (Özener 2012).

Deformasyon seviyelerinde düşük olduğu durumlarda ise sönümlenme, rijitlik hali, poisson oranı ve yoğunluk gibi değişkenler deprem dalgasının yayılmasını etkileyen önemli zemin özellikleri olarak bilinmektedir. Bu değişkenler arasında zemin tabakalarındaki sönümlenme oranı ve rijitlik çok önemlidir. Dinamik zemin davranış özelliklerini etkileyen etkenler ise, uygulanan yüklemenin çevrim sayısı, yükleme frekansı, ortalama efektif çevre gerilmesi, zeminde taneleri arasındaki boşluk oranı, zeminin suya doygunluk derecesi, aşırı konsolidasyon oranı (OCR), plastisite indeksi, dane çapı dağılımı ve deneyler için kullanılan deneysel yöntemler, yükleme doğrultusunun nasıl olacağı ve yükleme biçimi olarak sıralanabilir (Özener 2012).

Zeminin kayma dalgası hızı değeri (V_s), zemin büyütme değerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Zemin büyütme etkisinin, ana kaya zemin tabakası, sismik kayma dalgası hızı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Anakayanın kayma dalga hızı, geniş bir bölgede nispeten sabit olarak

bulunduğu yerlerde her bir bölge için bağıl zemin büyütme miktarı, zemin tabakalarının kayma dalgası hızından veya Shake, DeepSoil vb. bir boyutlu analiz programlarından da hesaplanabilir. Zeminin dinamik davranışı pratikte veya literatürde karşımıza, zemin büyütme ve sıvılaşma konusu olarak çıkmaktadır. Çalışmamızın temelini oluşturan zemin büyütme ve sıvılaşma konusu aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2.1 Zeminin Dinamik Davranışının Modellenmesi

Zemin davranış analizlerinde dinamik zemin özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Tekrarlı yüklemeler altında zeminlerin davranışı, dinamik zemin özellikleri ile açıklanmaktadır. Saha davranışı ve yenilmesi, çoğunlukla tekrarlı yükleme koşulları altında, zeminlerin davranışından etkilenmektedir. Dalga yayılımı tarafından kontrol edilen zemin davranışı, zeminlerin sönümleme özellikleri ve rijitliğine bağlıdır. Ayrıca, zeminin kayma mukavemeti de zemin yenilmesini kontrol eden önemli bir parametredir. Kayma dalgası hızı (V_s), kayma modülü (G), sönüm oranı ile birlikte kayma birim deformasyonu ile değişimi, zeminlerin dinamik kayma deformasyon özellikleri olarak dikkate alınmaktadır. Deformasyonla rijitliğin değişimi, sönüm oranı (D) ve modül azalımı (G/G_{max}) eğrileri ile belirlenmektedir. Zeminlerin sönüm ve rijitlik özellikleri, depremle ilgili problemlerin değerlendirilmesi aşamasında kullanılabilir (Kramer 1996).

Tasarım amaçlı yapılan zemin davranış analizleri, zemin davranış spektrumunu ve depremler sırasında zemin koşullarının etkisini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Zemin katmanlarının davranışı, anakaya üzerinde bulunan malzeme özelliklerine, yer hareketi özelliklerine ve geometrisine bağlıdır (Sitharam ve Anbazhagan 2007). Zemin büyütmesi ve sıvılaşma, zemin özellikleri ve deprem etkisi nedeniyle meydana gelen zeminin davranışının bir sonucudur. Kısacası sismik dalgaların sağlam zemin ana kayadan itibaren yüzeye seyahati sırasında oluşmaktadır (Stewart vd. 2003).

2.2.2 Zemin Büyütmesi

Küçük ivme değerine sahip anakaya kayıtları, zemin tabakalarının özelliklerinin de etkisiyle bazı alanlarda ivme değeri yüzeye çıkarken bir kaç kat büyümesi yapılara çok ağır kalıcı hasara sebep olabilmektedir. Yaşanılan bu zemin olayına zemin büyütmesi denilmektedir (Kramer 1996). Çalışma alanındaki zemin tabakalarının, deprem yükleri altında zemin yüzeyindeki davranışa etkisini belirlemek için yerel sismik tehlike çalışmaları noktasında zemin büyütme analizleri yapılmaktadır. Zemin büyütme analizi yaparken uygulanması gereken adımlar şu şekilde sıralanabilir (Ansal vd. 2011).

a) Zemin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi: Geoteknik, jeolojik ve jeofiziksel incelemelere dayalı olarak sahadan alınan zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri ve bu duruma ilişkili temsili olarak zemin profillerinin seçilmesi gerekmektedir. Kayma modülünün derinliğe bağlı olarak değişimini ifade eden kayma dalgası hız (V_s), kayma modülü ve zemin profili ile birlikte sönüm oranı değerinin şekil-değiştirme genliği ile beraber değişimleri de belirlenir.

b) İvme-zaman kayıtlarının seçimi: Saha için sismik tehlike analizi yapılarak öngörülen depremin büyüklüğü, faylanma mekanizması ve olası bir depremin bölgeye olan mesafesi ile uyumlu olabilecek kayıtların seçilmesine dikkat edilmelidir (Ansal ve Tönük 2007). Bununla birlikte sismik tehlike analizi çalışmalarında belirlenmiş ivme spektrumu ve en büyük ivmeyle de mutlaka uyumluluk aranmalıdır. Tasarım hesaplarına göre, bölgede meydana gelebilecek depreme uyumlu hale gelmesi için, kaydedilmiş ivme büyüklükleri analiz programı üzerinden veya başka yöntemlerle belirlenen sabit bir katsayının kullanımı ile ölçeklendirilmesi ile yapılabilir. Çoğunlukla yer hareketinin kayıtlar üzerinden modellenmesi sahada farazi olarak yüzeylenmiş derinlikte anakayanın varlığı kabul edilerek analizler yapılır.

c) Zemin büyütme analizleri: Dinamik zemin özelliklerini ifade eden değişkenlerin tanımlanması noktasındaki belirsizlik göz önüne alınmak üzere, yapılması planlanan analizlerde genellikle bu değişkenlerin ortalamasının alınması daha sağlıklı sonuçlar verir. Yüzeydeki deprem özellikleri için hesaplanan en büyük ivme değerleri ve ivme

davranış spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilerek mühendislik tasarımına yönelik en büyük ivme değeri ve ivme davranış spektrumu geliştirilir.

Zeminlerde büyütme analizi yapmak için, zeminlerin gerilme şekil değiştirme ilişkilerinin belirlenmesinde ve dalga yayılım denkleminin hesaplanmasında tercih edilen yöntemlerde sadeleştirici varsayımlara dayalı değişen farklı yöntemler mevcuttur. Zemin davranışının bir boyutlu dalga yayılımı analizleri, sade olmasının yanı sıra güvenli tarafta kalması sebebiyle sağlıklı sonuçlar vermesinden dolayı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür büyütme analizi yöntemlerine dayanarak tasarlanmış birçok projenin, meydana gelen depremler sonucu yeterli dayanımı gösterdiği görülmüştür (Ansal vd. 2011).

Zemin büyütme oranları yerleşim alanların sismik tehlike analizi hesaplamalarında kullanılabilir. Bu oranlar, çalışma alanının zemin büyütmesini sınıflandırmak ve zemin koşullarının etkisini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Büyütme amaçlı saha sınıflandırması; geoteknik veriler, zemin profili, V_s değerleri ve zemin parametreleri kullanılarak yapılabilmektedir. Kayma dalgası hızı (V_s), geoteknik çalışmalarda zeminlerin önemli dinamik özelliklerindedir. V_s değeri genellikle zemin rijitliği, zemin tabakalarının yoğunluğu, sismik zemin davranışı, sıvılaşma potansiyeli, zemin stratigrafisi ve temel oturmalarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Kramer ve Stewart 2004).

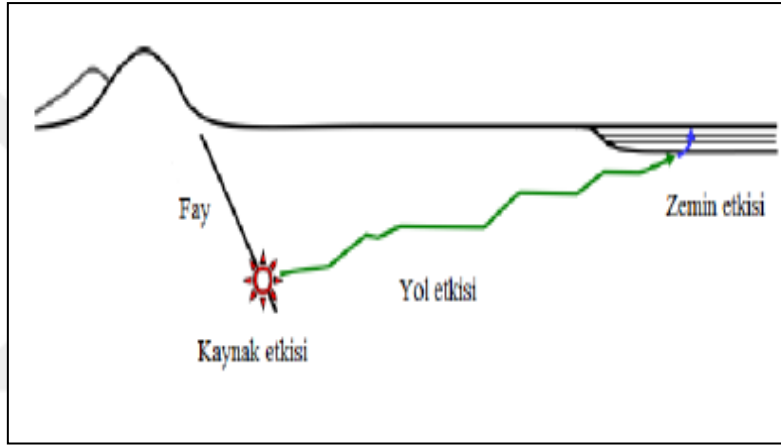
Maksimum kayma modülü ve kayma modülü, efektif çevre basıncı ve zemin plastikliğinden etkilenebilen modül azalım (G_{max}/G) eğrisi ile değerlendirilmektedir. Sönüm oranı (D) zemin davranış analizlerinde önemli bir parametredir. Literatürde farklı tip zeminler için tanımlanmış sönüm oranı kayma birim deformasyon ilişkileri mevcuttur (Luna ve Jadi 2000). Deprem esnasında ana kayadan yayılan dalgalar geçtikleri zemin tabakalarının mekanik özelliklerinden etkilenirler ve yeryüzüne ulaştıklarında daha şiddetli hissedilebilirler. Farklı zemin tabakaları deprem dalgalarını bir sonraki tabakaya aktarırken yatay ve düşey yöndeki deplasman genliklerini değiştirirler (Kramer 1996).

Depremler sırasında oluşan ve her yöne hareket eden cisim dalgaları, tabaka sınırlarında gelme açısından daha küçük bir açıya kırılarak (dalga yayılma hızı yüzeye yaklaştıkça genel olarak küçüldüğü için) ilerlemekte ve zemin yüzeyine ulaştıklarında ise, yayılma doğrultuları hemen hemen yüzeye dik duruma gelmektedir. Bu nedenle incelenen bir bölgede yerel koşullara bağlı olarak deprem dalgalarının özelliklerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde en basit yaklaşım, düşey yönde ilerleyen kayma dalgası yayılımına dayanan bir boyutlu dinamik analizdir. Bu yöntemde ana kaya ve ana kaya üzerindeki bütün zemin tabakalarının yatay yönde sonsuza uzandığı kabul edilmekte ve her tabakaya ait transfer fonksiyonu belirlenerek yüzeydeki hareketin genliği dolayısıyla zemin büyütmesi hesaplanmaktadır (Kramer 1996, Özkan 2017).

Zemin koşulları, kuvvetli yer sarsıntısının frekans içeriği, genlik ve süre kaynaklı oluşan önemli zemin özelliklerinin çoğunu etkilemektedir. Etki derecesi, yer altındaki zemin tabakalarının yapısı, şekli ve özellikleri, bölgenin arazi topografyası ve elde edilen hareket verilerinin özelliklerine kapsamaktadır. Yerel zemin koşullarının depremlerle ilişkili hasarlar üzerindeki olumsuz etkisi uzun süredir bilinmekle birlikte, bu konuyla ilgili aletsel dönem ölçümlerinde ve hesaplamalarında son 40 yılda kayda değer ciddi gelişmeler kaydedilmiştir. Bu husustaki ilk önemli bilgiler 1957 yılında yaşanan San Fransisco depreminde değişik noktalarda kaydedilen birbirine çok yakın alanlarda oluşan yer ivmesinde aralarındaki kıyaslamaya göre %100'e varan değişkenlikler görüldüğü ve bunun da büyük ihtimalle ölçüm istasyonlarının üzerinde buldukları zeminin özelliklerinden kaynaklandığı ortaya konmuştur (İdriss 1992).

Yerel zemin etkisi, 1985 Michoacan, 1995 Kobe, 1999 Düzce ve 1999 Kocaeli depremleri gibi sismolojik olarak aktif bölgelerde yıkıcı sonuçlara sebebiyet verdiği açıkça görülmüştür. Dünyadaki birçok yıkıcı deprem, sismik zemin davranışında jeomorfolojik ve jeolojik şartların ne kadar önemli olduğunu birçok kez göstermiştir. 1985 Michoacan depremi (M_s : 8.1), özellikle pasifik okyanusundaki üst merkezinden tahmini olarak 350 km uzaklıkta Mexico vadisinde bulunan Mexico şehrinde ciddi hasarların oluşmasına sebep olmuştur (Vucetic ve Dobry 1991). Meydana gelen hasarın dağılımı, yerel zemin koşullarının deprem davranışı üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Araştırmalara göre genellikle 0.04 g'den düşük olan anakaya

maksimum (pik) ivme değerleri, yerleşke olarak eski bir gl kenarında bulunan kalın kil tabakalarındaki ivme değerinin yaklaşık olarak 5 kat büyüdüğü ve periyotları ise zemin hakim periyoduna hemen hemen yakın olan yapılar da ise çok büyük kalıcı hasarlar meydana getirmiştir (Stone 1987). Bu depremle birlikte sismik tabakalarda meydana gelen aşırı zemin büyütmeler, sıvılaşma durumunu, zemin etkisinin önemini ve zemin büyütme olayının etkisinin anlaşılmasına çok açık örneklerden birisidir (Vucetic ve Dobry 1991). Bu süreç içerisinde kaynağın zemine uzaklığı, deprem etkisinin zemine ulaşabilmek için katettiği yolun etkisi ve gelen bu deprem etkisine göre zeminin göstereceği davranış çok önemlidir (şekil 2.3).



şekil 2.3 Zemin tabakalarında yer hareketlerinin etkisi(Akın 2010).

Kaynak etkileri, farklı fay hatları için kırık şekline, kırık başlangıcının yerine ve faylanma oranına göre değişebilir. Bölge ve kaynak arasındaki sismik dalgaların yerkabuğu içerisinde yayılması önemli derecede yol etkisini belirleyebilir. Son olarak topoğrafik etkiler tarafından etkilenen ve sismik dalgaların büyütülmesi ve sönümlenmesi ile sonuçlanan yerel zemin etkileri, sismik dalgaların anakayadan yzeyeye doğru küçülmesine veya büyümesine sebep olabilir. Zemin davranış analizleri, yer hareketleri üzerinde zemin tabakalarının etkisini ölçmede genel olarak kullanılan analiz yöntemleridir. Bu yöntemler iki temel sınıfa ayırmak mümkündür.

- a) Frekans tanım alanında analizler
- b) Zaman tanım alanında analizler

Genel olarak kullanılan yöntemlerin başında Frekansa bağlı analizler gelmektedir. Çünkü bu yöntem, esnekliği, basitliği ve fazla hesaplama gerektirmediği için yaygın olarak kullanılmaktadır (Phillips ve Hashash 2009). Dinamik zemin parametrelerinden olan, Kayma modülü (G), kayma dalgası hızı (V_s) ve sönüm oranı (D) zemin davranış analizlerinde sıkça kullanılmaktadır. Yüksek deformasyon seviyelerinin özellikleri, artan sönümleme ve azalan rijitlik şeklinde doğrusal olmayan inelastik davranışla temsil edilmektedir. Düşük deformasyon seviyelerinin özellikleri ise rijitlik, yoğunluk, Poisson oranı, ve sönümlemedir. Zeminler tekrarlı yükleme koşulları altında doğrusal olmayan gerilme deformasyon davranışı gösterirler. Rijitlik ve sönümleme oranlarına bağlı olarak yüksek ve düşük deformasyon seviyelerinde davranışları farklılık göstermektedir. Buna nedenle, gerilme deformasyon modelleri, geoteknik deprem mühendisliği analizleri için; eşdeğer doğrusal modeller, tekrarlı doğrusal olmayan modellerin yanı sıra gelişmiş yapıcı modeller olarak üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır (Sönmezer 2016).

Yüksek plastisiteli zeminler, aynı tekrarlı deformasyon genliklerinde düşük sönüm oranına sahiptirler. Sönüm oranı efektif çevre basıncı, boşluk oranı, jeolojik yaş ve boşluk oranından etkilenebilmektedir. Plastisite indisinin de, sönüm oranına önemli bir etkisi vardır (Vucetic ve Dobry 1991). Zemin etkisi, sismik dalgaların yayılmasında yerel jeoloji özelliklerinin etkisini göstermesi bakımından önemlidir. Yerel jeoloji, yüzey topoğrafyasından ve zemin tabaka kalınlığından etkilenebilmektedir. Zemin etkisi, zemin tabakalarının ve yüzey topoğrafyasının özellikleri nedeniyle sismik dalgaların neden olduğu yüzey yer hareket bileşenlerindeki değişimi kontrol eder. Bu değişim neticesinde yüzey yer hareketinin genliklerinde sönümleme veya büyütme olarak tanımlanmaktadır (Pitilakis 2004).

Zemin büyütmesi, kuvvetli depremler sırasında yaşam alanlarında depremden kaynaklı zararları kontrol edebilen önemli faktörlerden birisidir. Deprem esnasında yumuşak zemin üzerindeki yapıların, sert zeminlere göre daha çok hasar görmesinin en önemli sebeplerinden birisi de zemin büyütme etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu etkinin ana kaya ile istenen derinlikteki sayısal değerlendirmesi ise zemin büyütme oranı olarak tanımlanmaktadır.

Aslında zemin büyütmesi deprem anında, deprem kaynak noktasından ana kaya içerisine doğru dağılan ve yüzeye doğru zemin tabakaları içinde seyahat eden sismik dalgaların, seyahatlerinin son bölümünde az önce bahsetmiş olduğumuz gibi ana kayaya göre yumuşak zemin tabakaları içerisinde hareketi sırasında genliklerinde meydana gelen artış olarak da tanımlayabiliriz. Geçiş sırasındaki zemin tabakalarının fiziksel özellikleri ve göstermiş olduğu direnç zemin yüzeyindeki hareketin karakteristiğini de belirler. Zemin büyütmesi depremin frekansına bağlıdır. Çünkü yumuşak zemin tabakaları farklı periyotlarda meydana gelen sismik dalgalara benzer tepkiyi vermesi mümkün değildir. Bazı frekanslarda zemin içerisinde sismik dalgalar büyütülürken bazı frekanslarda ise sismik dalgalar sönümlenmektedir. En fazla zemin büyütmesinin hangi periyotlarda ne kadar olacağı, sismik dalganın hızı ve sert olmayan zemin tabakalarının kalınlığına bağlıdır. Analizler sonucunda en yüksek büyütmenin tespit edildiği periyot (T_0) zemin hakim periyodu olarak tanımlanmaktadır.

Zemin büyütme değeri ile ilgili çalışma alanında yüzey spektrumunun anakaya spektrumuna oranlanması ile belirlenmektedir. Ayrıca zemin büyütme analiz sonuçlarına göre büyütme ölçütüne bağlı tehlike düzeyi belirlemiştir (Ansal vd. 2002).

Çizelge 2.2 Zemin büyütme değerine bağlı tehlike düzeyi (ISSMFE 1993, ISSMGE/TC4 1999, Özçep 2007).

Büyütme Değeri	Tehlike Düzeyi
0.00 – 2.00	C (düşük tehlike)
2.00 – 4.00	B (orta tehlike)
4.00 – 6.50	A (yüksek tehlike)

2.2.3 Sıvılaşma

1960'lı yıllardan bu yana zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışı birçok kez incelenmiştir. Özellikle yakın tarihte 1995 yılındaki Kobe ve 1999 yılındaki Kocaeli depremleri ile taşıma gücü kayıpları ve sıvılaşma olayları zeminin dinamik davranışının önceden bilinmesinin önemini bir kez daha net bir şekilde ortaya koymuştur. Depremden dolayı zeminlerde görülen davranışlar zeminin mekanik ve fiziksel

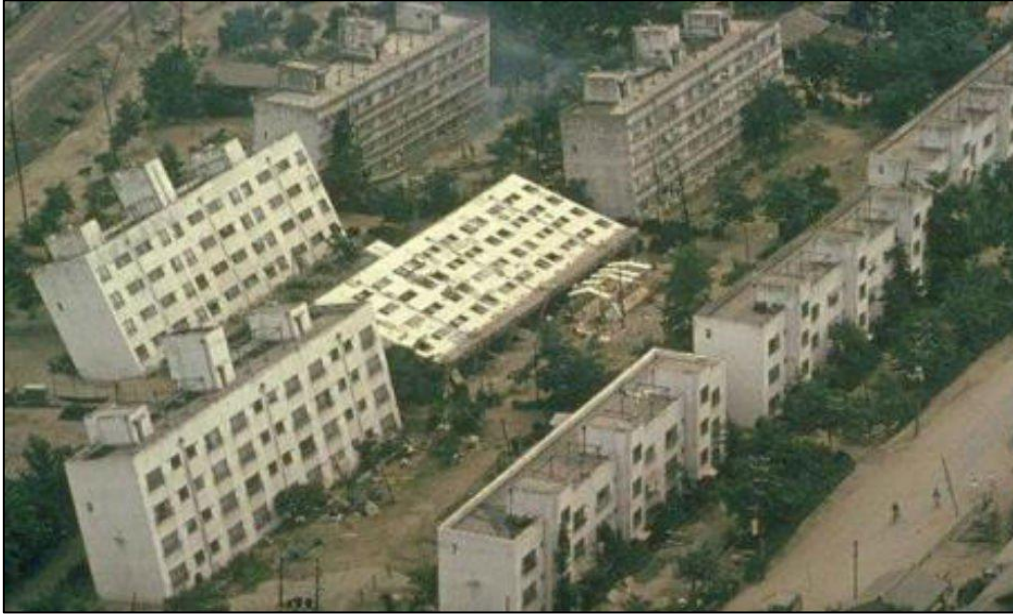
özelliklerine bağı olarak aksel deformasyon ve boşluk suyu basıncı değerlerinde farklılık açıkça görülmektedir. Bu durumlardan dolayı suya doymun olan kum ve siltlerde görülen zemin problemlerinin araştırılmasında dinamik analiz deneylerinin önemi artmıştır. Deprem anında düşük plastisiteli siltler ve suya doymun kumlu zeminlerde sıvılaşma görülürken, yumuşak siltler ve killerde taşıma gücü kaybı meydana gelmektedir (Savaş vd. 2012). Büyüklüğü M: 7.4 olan 17 Ağustos 1999 yılında Kocaeli depreminde, Adapazarı bölgesinde çok fazla yapısal hasarlar ve bu duruma bağı olarak büyük can kayıpları görülmüştür. Yapısal hasarlarda, yapılarda kullanılan malzeme kalitelerinin yanı sıra zeminin dinamik yükler altındaki davranışının da ne kadar etkili olduğu görülmüştür (Ural ve Gündüz 2007).

Deprem hareketi sonrasında sıvılaşma gözlemlenen bölgelerde zemine gömülü yapılar ve binalar üzerinde ciddi anlamda hasarların oluşması sebebiyle son yıllarda sıvılaşmaya sebep olan etkenler ciddi bir araştırma konusu haline gelmiştir. Tarih boyunca dünyada zemin sıvılaşmasının meydana geldiği bölgeler; 1920 yılında California Calvers, 1938 yılında Montana Fort Peck, 1948 yılında Fukui, 1964 yılında Niigata, 1964 yılında Alaska Anchorage, 1971 yılında California San Fernando, 1980 yılında Mino-Owari, 2001 yılında Japonya, 2011 yılında Christchurch olarak sıralanabilir. Ülkemizde sıvılaşmanın meydana geldiği depremlerden büyük olanları örnek verecek olursak Düzce depremi ve 1999 yılındaki Kocaeli (İzmit) depremleridir. Son yıllarda önemli bir çalışma konusu haline gelen sıvılaşma, birçok araştırmacı tarafından sıvılaşmaya sebep olan faktörler ve sıvılaşmanın tahmin yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Toprak ve Jinguuji 2006, Yasuda vd. 2012, Yamaguchi vd. 2012, Bray vd. 2014, Toprak vd. 2014, Toprak vd. 2015, Toprak vd. 2016).

Sıvılaşma potansiyeli incelemesi ilgili bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. 1970'li yıllardan bugüne kadar geçen zaman içerisinde tekrarlı üç aksel gelişmiş deneyin avantajları ve dezavantajları, bunların yanı sıra arazide yapılan deneylerin önemi ve bunlara bağı olarak geliştirilen ampirik eşitliklerin geçerliliği noktasında çok sayıda detaylı incelemeler yapılmış ve bu çalışma alanları ile ilgili ara sıra farklı fikirler ortaya atılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli ile ilgili yapılan tüm araştırmalar, “deprem yükleri için

gerekli olan direncin, zeminin mevcut direnciyle karşılaştırılması” esası üzerine kurulmuştur (Tosun 2002).

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması, mühendislik yapılarının altındaki kohezyonsuz zeminlerde geleneksel tedavi yöntemlerinin değerlendirilmesi sismik açıdan iyi bir mühendislik muhakemesi gerektirir (Çavuş vd. 2019). Zemin sıvılaşması sonucu meydana gelen çökmeler, zeminin taşıma gücü kaybından ve yanal yayılma hasarlarından oluşmaktadır. Resim 2.1’de tüm dünyada zemin sıvılaşmasının ne derece önemli olduğunu 1964 Niigata depremi sonrasında, sıvılaşma nedeniyle yapılarda meydana gelen ağır hasarlar açıkça görülmektedir (JNCEE 1965).



Resim 2.1 Niigata depremi sonrasında sıvılaşmaya maruz kalan binalar (JNCEE 1965).

Zemin sıvılaşması zemin yüzeyinde ve yapılarda ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Sıvılaşma nedeniyle meydana gelen hasarlar, özellikle son yıllarda kentsel alanların yakınında meydana gelen depremler tarafından kanıtlanmıştır. Depremler sonrası yerleşim bölgesinde, binada ve zeminlerde meydana gelen hasarlar örneklerde görülmektedir (Resim 2.2 ve Resim 2.3).



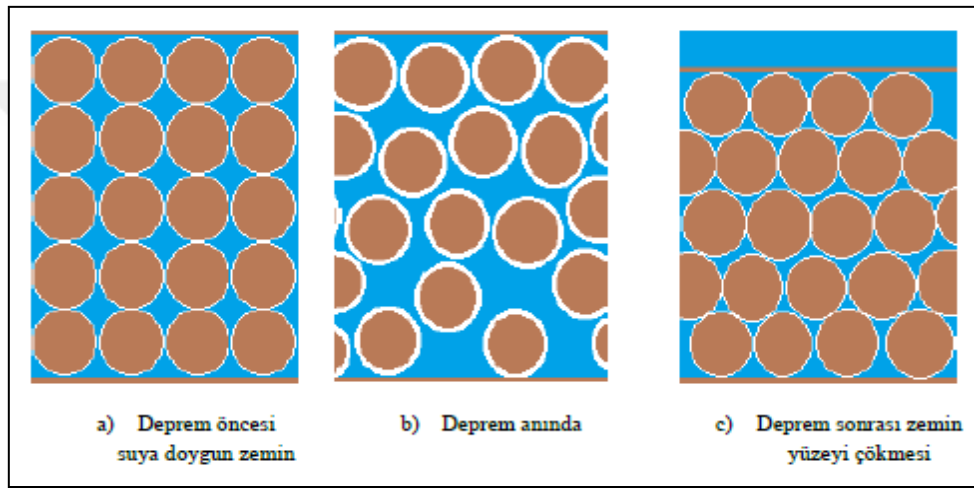
Resim 2.2 1906 depreminden sonra San Francisco.



Resim 2.3 1999 Kocaeli (İzmit) depremi sırasında Adapazarında sıvılaşma etkisi ile hasar görmüş yapılar (Manav vd. 2019).

Sıvılaşma durumu, granüler halde bulunan bir zeminde boşluk suyu basıncı artması ve buna karşılık taneler arasındaki efektif gerilmenin azalması sonucu katı halde bulunan zeminin sıvı gibi davranması olarak tanımlanmaktadır. Artan boşluk suyu basıncı, tekrarlı kayma şekil değiştirme durumunda granüler haldeki zeminin sıkışmasından kaynaklanmaktadır. Bir zeminin sıvılaşma özelliği, yer ivmesi, zemin dane büyüklüğü dağılımı, zemin yoğunluğu, tabaka kalınlığı, yeraltı su seviyesi ve depremle ilişkilidir (Tosun vd. 2011).

Yükleme çevrimlerinin ani ve hızlı olmasından kaynaklı zemin içerisinde bulunan su dışarı çıkacak bir yol bulamamakta ve bununla birlikte sıkışmaya zorlanan suda yüksek basınç artışları oluşmaktadır. Katı halden sıvı (viskoz) hale dönüşen, orta sıkı gevşek siltli kumlar veya geçirimi az malzeme ile kaplanmış veya ara tabakalardan dolayı boşluklardaki suyun drene olması engellenen çakıllı kumlu zeminlerde aniz ve hızlı bir şekilde meydana gelmekte, sıvılaşma durumu halinde ise zemin yumuşaması ile birlikte büyük kayma şekil değiştirmeleri meydana gelmektedir. Deprem etkisi altında zeminin sıvılaşma süreci Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4 Deprem etkisi altında zemin sıvılaşma süreci (Özaydın 2007).

Gevşek zeminlerde yumuşama ile birlikte kayma mukavemeti kaybindan dolayı büyük kayma şekil değiştirmeleri hatta akma sıvılaşması (flow liquefaction) ve akma göçmesi şeklinde oluşmaktadır. Orta sıkı haldeki zeminlerde ise sıvılaşma durumu, artan çevrimli kayma şekil değiştirmelere ve geçici yumuşamaya yol açmaktadır. Bunun yanı sıra genleşme eğilimi büyük şekil değiştirmeler ve mukavemet kaybının meydana gelmesini kısıtlamaktadır. Bu tür zeminlerin olduğu bölgelerde çevrimli sıvılaşma (cyclic liquefaction) veya çevrimli oynaklık (cyclic mobility) durumu meydana gelebilmektedir (Özaydın 2007).

Suya doymuş halde bulunan sıkı olmayan kum veya kumlu zeminler, maruz kaldığı tekrarlı yükler etkisi altında hacim daralması ve sıkışma eğilimi gösterirler. Bu olay neticesinde suyun drene olmadığı veya olamadığı şartlarda boşluk suyu basıncını

artırmaktadır. Tekrarlı yükler etkisi altında, kum tabakası içindeki boşluk suyu basıncının artması durumunu desteklediği sırada, toplam gerilme boşluk suyu basıncına yakın veya eşit değerlere ulaşabilmektedir. Sonuç itibariyle, kohezyonsuz zeminler kayma direncini kaybeder ve zemin sıvı gibi hareket ederek büyük yer değiştirmelerine maruz kalır. Böylece, sıvılaşma aşamasına geçilmiş olur (Das 1983).

Sıvılaşma olayının meydana gelmesi durumunda temel altındaki zeminler ve şevli zemin profillerinde akma türü denilen göçme olayı meydana gelebilmektedir. Düz, az ve çok az eğimli arazilerde ise yanal yayılma durumu ve yer hareketi titreşiminin ortaya çıkması muhtemeldir. Gevşek halde bulunan zeminlerde, sıvılaşma esnasında boşluk suyu basıncının sönümlenmesi neticesinde kum kaynaması durumu ve sonrasında zeminde oturma (tasman) meydana gelebilme ihtimalini artırmaktadır (Özaydın, 2007).

2.2.3.1 Sıvılaşma Türleri

Sıvılaşma sonucu zeminde meydana gelen hasarların özelliğine bağlı olarak, “Akma sıvılaşması (flow liquefaction)” ve “Çevrimli sıvılaşma (cyclic liquefaction)” olmak üzere iki tür sıvılaşma durumu vardır (Mollamahmutoğlu ve Babuçu 2006).

Akma sıvılaşması

Sıvılaşmış durumdaki zemin kayma mukavemetinin, zemin tabakasının statik halde kalabilmesi için gerekli olan kayma direnci değerinden daha az olduğu koşullarda meydana gelmektedir. Akma sıvılaşması neticesinde meydana gelen büyük şekil değiştirmelerin başlıca sebeplerinden birisi statik kayma gerilmeleri olarak bilinmektedir. Akma sıvılaşması ani ve hızlı bir şekilde meydana çıkmakla birlikte çabuk gelişmekte ve sıvılaşmış haldeki zeminde çok büyük oranlarda yer değiştirmelere sebep olmaktadır (Özaydın 2007, Kramer 1996).

Çevrimli sıvılaşma

Sıvılaşmış durumdaki zeminin kayma direncinin, zemin tabakasının statik halde kalabilmesi için gerekli olan kayma direncinden çok daha büyük olduğu durumlarda oluşmaktadır. Akma sıvılaşması durumunun tersine; devirsel hareketlilik sonucu meydana gelen büyük şekil değiştirmelerin asıl sebebi çevrimsel ve statik kayma gerilmeleridir. Devirsel hareketlik sonucunda meydana gelen şekil değiştirmeler, çok az eğimi bulunan arazilerde yanal yayılmalar, eğimi olmayan yani düz arazilerde ise deprem esnasında zemin salınımlarına neden olabilmektedir (Özaydın 2007, Kramer 1996).

Deprem esnasında çevrimli sıvılaşma olayı aşama aşama şekil değiştirmelere maruz kalarak zeminde göçmelere neden olabilmektedir. Çok az eğimli arazilerde bile Çevrimsel ve Statik kayma gerilmelerinden kaynaklanan şekil değiştirmelerle birlikte yayılmalara veya yanal akmalara sebep olabilmektedir. Eğimsiz arazilerde ise, çevrimli sıvılaşma olayı yanal akmalara sebep olmasa bile deprem esnasında zemin salınım hareketlerine yol açabilmektedir. Belirli bir bölgede oluşacak olan çevrimli sıvılaşma veya akma sıvılaşması durumlarında ciddi hasarlara ve zararlara neden olabilmektedir. Zeminde meydana gelebilecek sıvılaşma durumunun olası zararlı etkilerini minimum düzeye indirebilmek için, yapı alanındaki veya bölgedeki zeminlerin sıvılaşabilirliği ve bunun neticesinde sıvılaşmanın olayının hızlanmasına yol açacak şartlar ve sıvılaşmanın meydana gelmesi halinde meydana gelebilecek hasarların tüm yönleriyle dikkate alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir (Özaydın 2007)

2.2.3.2 Zeminlerin Sıvılaşabilirliği

Sıvılaşmanın durumu zeminin tüm tabakalarında meydana gelmediği bilinmektedir. Bu sebepten dolayı sıvılaşma risk analizlerinde öncelikli olarak sıvılaşma olayının meydana gelmesi için uygun arazi koşullarının detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu koşullar içerisinde en önemlileri; deprem büyüklüğü, depremin merkeze uzaklığı, zemin profilinin bileşenleri, bölgenin jeolojik tarihçesi, zeminin taşıma gücü ve sıkılık durumu olarak ifade edilebilir.

Geçmiş dönemlerde arazide gözlenmiş olan sıvılaşma olaylarına baktığımızda sıvılaşabilirliğin, depremin bölgeye olan uzaklığı ve büyüklüğü arasında bir sınırlama olduğunu dikkate almalıyız. Bu durumun yanı sıra zemin tabakasının jeolojik yaşı, hidrolojik koşullar ve çökme sıvılaşma üzerinde önemli bilgiler verdiği için dikkate alınması gerekmektedir. Arazideki yeraltı su seviyesi ve zeminin üniform dane çapı dağılımına ve gevşek halde bulunmasına yol açan jeolojik ortamların sıvılaşma riskinin daha yüksek oluşunun bilinmesi gerekmektedir. Çevrimli yüklemeler neticesinde meydana gelen artık boşluk suyu basıncı, zeminin hacim değişim potansiyeli ve dane boyutuna ve dağılımına bağlı olarak sıvılaşabilirlik üzerine yapılacak olan değerlendirmelerde önemli bir yer tutmaktadır. Geçmiş yıllardaki çalışmalara baktığımızda sıvılaşma olayının sadece kohezyonsuz kumlu zeminlerde meydana geldiği düşünülüyordu fakat son yıllarda yapılan araştırmalar ve arazideki gözlemler üzerinden yapılan laboratuvar çalışmalarına göre, kohezyonu düşük siltler (Ishihara 1984, 1985) ve çakıllı zeminlerde de (Youd vd. 1985, Yegian vd. 1994, Evans ve Seed 1987) sıvılaşma olayının meydana gelebileceğini ortaya koymuştur. Genel olarak killi zeminlerde ise sıvılaşma durumunun oluşmadığı kabul edilmektedir.

Düşük plastisiteli ve ince daneli zeminlerin sıvılaşabilirlik durumu için yaygın olarak kullanılan Çin kriterlerine göre (Wang 1979) zeminin kil yüzde oranı ($< 0.005\text{mm}$) ve likit limit değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar arazi gözlem ve deneyleri geliştirilerek (Seed ve Idriss 1982, Marcuson vd. 1990, Youd vd. 2001) belirlenmiş olan kriterlere ek olarak zeminlerin sıvılaşabilir duruma gelebilmesi için $LL < \%35$, Kil Oranı $< \%15$, $w_n > 0.9LL$ ve $LI \leq 0.75$ şartlarının sağlanması gerektiği birçok araştırmacı tarafından genel kabul görmektedir. Her geçen gün kriterlerin iyileştiği ve eklemeler yapıldığını 1999 yılında yaşanan Kocaeli depreminden sonra yapılan çalışmalar neticesinde Adapazarı siltli zeminlerinin sıvılaşabilirliğinin incelendiği araştırmada, Önalp ve Arel (2002) belirlenen Çin kriterlerinin $LL < \%30$, Kil oranı $< \%10$, $w_n > LL$ ve $LI < \%1$ olarak uygulanabileceğini ortaya koymuş; Önalp, Bol ve Ural (2006) tarafından öne sürülen $LL < \%33$, Kil Oranı $< \%10$, $LI < 0.90$ ve $D_{50} < 0.02 \text{ mm}$ olarak kullanılmasının daha faydalı olacağını çalışmalarında belirtmişlerdir.

Sıvılaşmaya sebep olacak olan boşluk suyu basınç artışları zeminin başlangıç gerilme durumu ve sıklık derecesi ile yakından ilişkilidir. 1936 yılında Casagrande tarafından kumlu zeminlerde yapılan deneysel çalışmalarda, kesme sırasında drenajlı olarak kayma gerilmeleri altında meydana gelecek olan hacim değişiminin, kumun çevre basıncı ve sıklık derecesi ile çok yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Kritik boşluk oranı çizgisi olarak belirlenen sınır durum eğrisi altında bulunan zeminlerde kesme deneyi sırasında genleşme görülürken, üstündeki zeminlerde ise sıkışma durumunun olduğu görülmüştür. Castro (1969) sıklık derecesi ve başlangıç gerilme durumu üzerine yaptığı çevrimli üç eksenli deneyler ve drenajsız statik deneyler sonucunda kararlı durum çizgisi (SSL) belirlemiş ve bu çizgiye göre çizginin tam üzerinde kalan kumlu zeminlerde akma sıvılaşması meydana gelebileceği, belirlenmiş olan çizginin altında ve üstünde kalan zeminlerde ise çevrimli sıvılaşmanın olabileceğini göstermiştir (Dobry vd.1982).

Kumlu zeminlerde drenajlı yüklemelerde hacim değişimi, drenajsız yüklemelerde ise artık boşluk suyu basınç artışının çevrimli gerilmelerden daha çok çevrimli şekil değiştirmelerin sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Bu gözlem neticesinde sıvılaşma olayının oluşumu ile birlikte çevrimli kayma şekil değiştirmeleri arasında kullanılabilir bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır (Mert 2018). Bu yaklaşımın tercih edilmesindeki en önemli zorluk deprem esnasında oluşabilecek çevrimli kayma şekil değiştirmelerinin belirlenmesi olarak gözümüze çarpmaktadır. Akma sıvılaşması ve çevrimsel sıvılaşma sonucu meydana gelen şekil değiştirmeler ve kayma mukavemeti kaybı çeşitli hasarlara neden olmaktadır. Sıvılaşma olayı nedeniyle zeminde; Akma göçmesi, Kum kaynaması olayı, Taşıma gücü kaybı, Yanal yayılma ve Gömülü yapı yüzeylenmesi hasarları görülmektedir (Ulusay 2000).

2.2.3.3 Zemin Sıvılaşması İçin Gerekli Koşullar

Bazı araştırmacılar tarafından yapılmış olan arazi ve laboratuvar çalışmalarına göre zemin tiplerinin hepsi sıvılaşmaya karşı hassas değildir. Sıvılaşma durumunun meydana gelebilmesi için gerekli olan şartların oluşması gerekmektedir. Zemin sıvılaşmasını etkileyen faktörler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Depremiñ büyüklüğü ve süresi

Deprem sırasında oluşan sismik enerjinin de etkisi ile oluşan tekrarlı kayma gerilmeleri neticesinde boşluk suyu basıncının artmasıyla birlikte sıvılaşma durumu oluşmaktadır. Depremiñ süresi ve büyüklüğü arttıkça, meydana gelen sismik enerjinin de artış göstermesine bağlı olarak zeminde deformasyonlara yol açacak yer sarsıntısı ve büyük yer ivmesi meydana gelmektedir. Yer sarsıntısının da etkisiyle artan yer ivmesiyle meydana gelen kayma değişimleri, zemin içerisindeki tanelerin aralarında yer değiştirilmesi, boşluk suyunun da artmasına bağlı olarak sıvılaşma olayı meydana gelmektedir. Netice olarak, depremiñ büyüklüğünün ve süresinin artmasına da bağlı olarak zeminde belirli tabakalarda sıvılaşma potansiyelini de artıracaktır (Mert 2018).

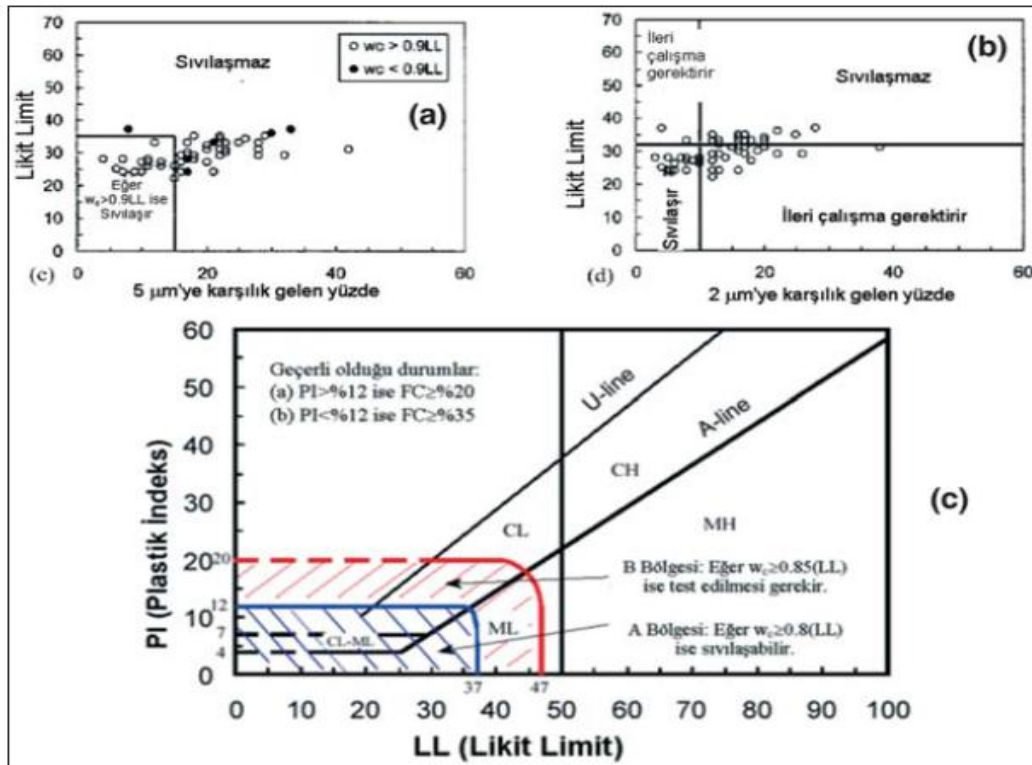
Yeraltı su seviyesi

Sıvılaşma olayı, suya doygun halde bulunan kohezyonsuz zeminlerde meydana gelmektedir. Bu sebepten dolayı bölgedeki yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması sıvılaşma tehlikesini daha da artırmaktadır. Obermeier (1996)'ya göre yeraltı su düzeyinin zemin yüzeyinden itibaren birkaç metre derinlikte olduğu durumda sıvılaşma olabileceğini ve buna ek olarak sıvılaşma için uygun olan derinliğin zeminden itibaren yaklaşık 2 ile 4 metre arasında olduğunu ifade etmiştir (Tosun 2002). Yeraltı su seviyesinin üstünde kalan, zemin içerisinde su bulunmayan veya suya doygun olmayan zeminlerde sıvılaşma olayı mümkün olmadığından, literatüre göre bu tür zeminler genelde sıvılaşma durumu için değerlendirmeye alınmamaktadır (Mollamahmutoğlu ve Babuçu 2006).

Zeminin tipi

Kohezyonsuz (plastik olmayan) zeminler, sıvılaşma potansiyeli yüksek zemin türleridir. Bu tür zemin profiline örnek olarak; plastik olmayan siltli kumlar, plastik olmayan siltler, temiz kumlar ve çakıllar verilebilir (Mollamahmutoğlu ve Babuçu 2006). Siltli ve killi zeminlerde ise, permeabilite katsayısı düşük olduğundan genel hatlarıyla ön sıvılaşma durumunun oluşmadığı kabul edilmektedir (Mert 2018).

Literatür çalışmalarına da baktığımızda ince taneli, kohezyonlu kil ve siltli zeminlerinin sıvılaşıp sıvılaşmadığı konusunda tartışmalar hala devam etmektedir. Fakat yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilen kriterlerden biri olan Çin kriterlerine (Wang 1979) göre; düşük plastisiteye sahip ince taneli halde bulunan zeminlerin sıvılaşılabirliği konusunda genel anlamda zeminin kil içeriği yüzdesinin ($< 0.005\text{mm}$ 'den küçük tane yüzdesi) $< \%15$, likit limit değerinin (LL) $< \%35$ ve su muhtevasının (w) likit limit değerinin $\%90$ 'ına eşit veya daha fazla olması halinde zeminlerin sıvılaşılabileceği ifade edilmektedir. Şimdiye kadar tarif edilmeye çalışılan sıvılaşıma kriterleri, tüm zemin türlerinin sıvılaşıma potansiyelinin belirlenmesi için yeterli değildir. Örneğin, 2004 yılında Bray ve arkadaşları tarafından 1999 yılında meydana gelen Kocaeli Depremi sonrasında Adapazarı'nda yapılan bir araştırmanın neticesinde, Çin kriterlerince sıvılaşmaz diye tahmin edilen zeminlerin de sıvılaşılabileceği Şekil 2.5'de gösterilmiştir (Çetin ve Unutmaz 2004).



Şekil 2.5 1999 Kocaeli Depremi sonucunda Adapazarı'nda elde edilmiş deney sonuçları (Bray vd. 2004, (a) Seed ve Idriss (1982), Wang (1979), (b) Andrews ve Martin (2000) (c) Seed vd. (2003).

Zeminin sıklık derecesi

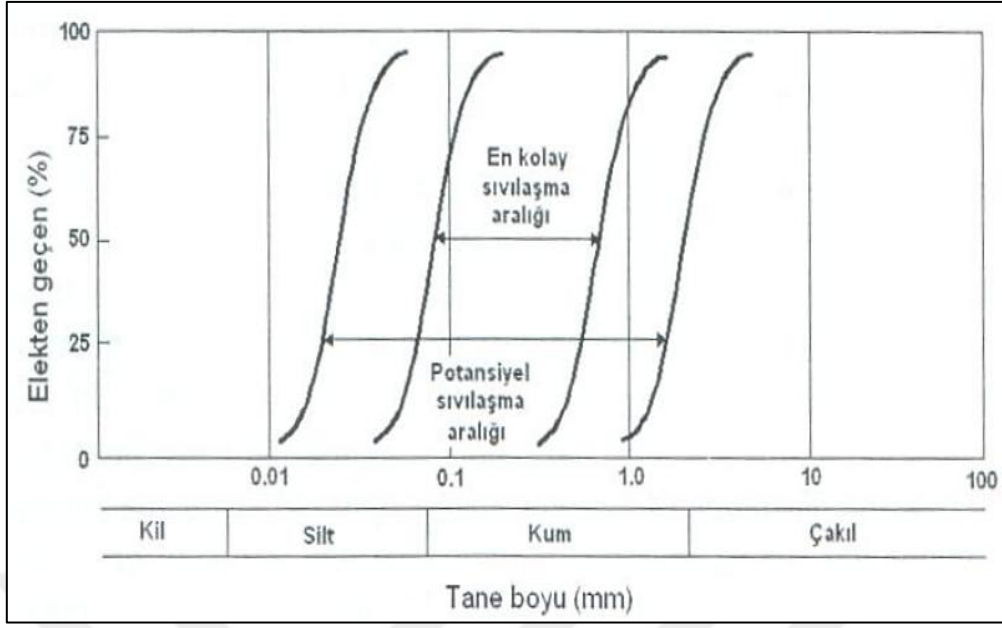
Zemin tanelerinin yerleşme şekli; boşluk suyu basıncı üzerinde, oluşumunda ve zeminin sıvılaştırılabilirliği noktasında çok büyük etkisi vardır. Tekrarlı yüklere maruz kalan kohezyonsuz zeminlerin dinamik davranışını etkileyen en önemli faktörlerden birisi de zeminin sıklık derecesi oranıdır. Bu çalışmalar neticesinde Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen relatif sıklık oranının zemin sınıflandırılması arasındaki ilişki Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Relatif sıklık oranının (D_r) zemin sınıflandırılması arasındaki ilişki.

Relatif Sıklık (D_r)	Açıklama
0-15	Çok Gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta Sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok Sıkı

Zeminin tane boyutu ve dağılımı

Literatür çalışmalarına göre kohezyonsuz (plastik olmayan) zeminlerin, dinamik yükler etkisi altındaki davranışı üzerinde tane dağılımının ve boyutunun önemli derecede etkin olduğunu göstermiştir. Gevşek halde bulunan temiz (kil, silt veya farklı bağlayıcı madde içermeyen) ve kohezyonsuz kum zeminler, sıvılaşma açısından en uygun zeminler olarak gösterilebilir. Şekil 2.6’da, zeminler için potansiyel olarak sıvılaşabilir ve kolay sıvılaşabilir durumdaki tane boyutu aralıkları sunulmaktadır. Bu şekle detaylı olarak baktığımızda, orta ve ince boyutlu kum zeminler hızlı ve kolayca sıvılaşabilir olduğu görülmektedir. Ayrıca; Evans ve Zhou tarafından 1995 yılında yapılan çalışma neticesinde, kum-çakıl karışımlarının sıvılaşmaya karşı direncin, zeminde çakıl oranının artması ile birlikte olumlu yönde artış gösterdiği görülmüştür (Tosun, 2002).



Şekil 2.6 Sıvılaşma açısından duyarlı tane boyutu aralığı (Iwasaki 1986).

Tabakalanma özellikleri ve drenaj şartları

Suya doygun halde bulunan, kohezyonsuz ve gevşek zeminlerde sıvılaşmaya sebep olan etkenlerden birisi de drenajsız koşullar altında boşluk suyu basıncının artmasına ilişkin olarak taneler arası efektif gerilmenin azalmasıdır. Zemin tabakalarının üstünde daha az geçirime sahip başka bir zemin tabakası olması halinde, deprem sırasında meydana gelen boşluk suyu basıncı etkisinin sönmülmesi için ihtiyaç olan gerekli drenaj süresi uzamasından kaynaklı sıvılaşma potansiyeli artmış olacaktır (Çavuş 2015).

Zeminde boşluk suyu basınç artışının sönmülmesi halinde ise zemin tabakasında sıvılaşma meydana gelmeme ihtimali söz konusudur (Mollamahmutolu ve Babuçu 2006).

Çevre basıncı

Zemin yüzeyinden itibaren daha derinlere gidildikçe, yükselen çevre basıncına bağlı olarak, zeminin tabakalarının sıvılaşmaya karşı hassasiyeti azalmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde, sıvılaşmanın olayının zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık olarak

15 metre derinliğe kadar etkilediği bölgelerde oluşabileceğini, 15 metreden sonraki derin bölgelerde ise, zemin tabakalarının daha yüksek bir çevre basıncına maruz kalacağı düşünülerek genellikle bu derinliklerde bulunan zeminlerde sıvılaşma olayının olmayacağını araştırmalar göstermektedir. Bu duruma ek olarak sıvılaşmayacağı düşünülen zemin veya bölgelerde birçok durum için sıvılaşma analizi yapılması gerekebilmektedir (Mert 2018).

Zeminin tane şekli

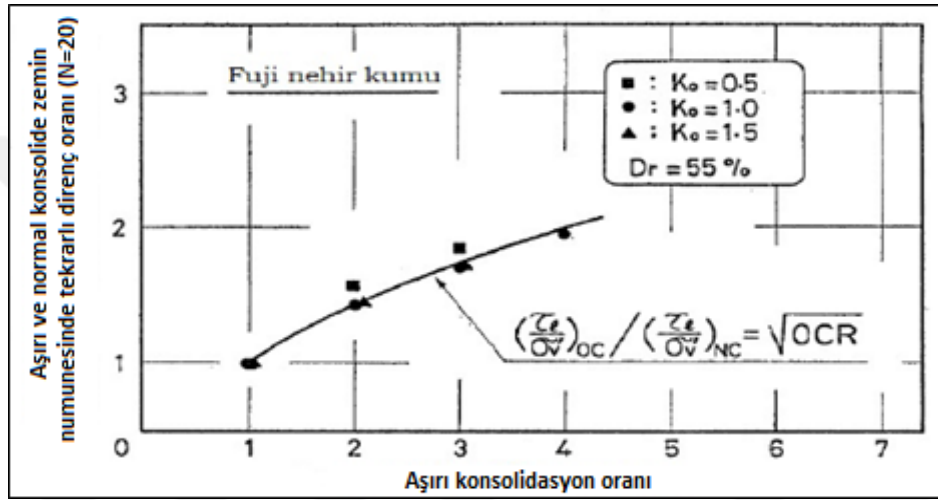
Yuvarlak şekle sahip zemin tanelerinden meydana gelen zeminler, köşeli haldeki zemin tanelerinden oluşmuş olan zeminlere istinaden daha kolay sıkışabilme eğilimi gösterdiğinden bu tür zeminler sıvılaşmaya tehlikesine karşı daha hassas özellik göstermektedir (Mollamahmutoglu ve Babuocu 2006). 2014 yılında yapılan Wei ve Yang'ın çalışmalarında, temiz kum içerisinde yuvarlak şekle sahip toz katkıları katılması, daha açısız, köşeli şekilde bulunan tozların eklenmesi haline göre, sıvılaşma riskini etkin bir şekilde artırmış olduğunu ve bu deneysel farklılığın ise eklenen katkı tanelerinin sertliğinden daha çok şekilden dolayı olduğunu belirtmişlerdir.

Yaş ve taneler arası çimentolanma

Sıvılaşma olayının meydana gelebilmesi açısından en uygun jeolojik ortamlar, gevşek ve genç çökellerin bulunduğu alanlardır. Holosen yaşlı diye ifade edilen on bin yıldan daha genç olan çökeller, sıvılaşma potansiyeli yüksek olan çökellerdir. Son dönemlerde ülkemizde meydana gelen depremler esnasında sıvılaşma durumunun çoğunlukla bu tip çökellerin olduğu alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Ulusay 2000). Zemin taneleri arasında sıklıkla görülen çimentolanma olayı poroziteyi (gözenekliği) azalttığından dolayı, zemin tanelerinin yerleşmesine, sıkışmasıyla ilişkili olarak zeminin sıvılaşma mukavemetinde artış meydana getirmektedir. Yer altı suyu seviyesi derinliğinde sismik dalgalanmaların olduğu asidik ortamlarda (örneğin organik asitler) meydana gelen kimyasal reaksiyonlar nedeniyle taneler arası çimentolanmanın zayıflaması buna bağlı olarak da sıvılaşma direncini de azaltmaktadır (Çavuş 2015).

Aşırı konsolidasyon oranı

Zemin tabakalarının sıvılaşma olayında önemli etkenlerden birisi de konsolidasyon derecesidir. Ishihara ve Takatsu'nun 1979 yılında yapmış olduğu çalışmada, nehir kumu kullanarak yapmış oldukları üç eksenli burulmalı kesme deneyi neticesinde, aşırı konsolide oranının (OCR) artmasına bağlı olarak zemin sıvılaşma direncinin doğrusal olmayan bir şekilde arttığını tespit etmişlerdir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Aşırı konsolidasyon oranının sıvılaşma direncine etkisi (Ishihara ve Takatsu 1979).

2.3 Mikrobölgeleme Yöntemi

Çalışmanın bu bölümünde mikrobölgeleme hakkında genel tanımlar, mikrobölgeleme aşamaları, mikrobölgeleme içeriğine ait bilgiler ile mikrobölgeleme tez çalışmalarında genel olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sisteminin temel bileşenleri, CBS ile ilgili temel bilgiler, CBS'nin yazılımı ve kullanımı hakkında genel bilgilere yer verilmiştir.

Dünya üzerinde meydana gelen depremler birçok insanın yaşamını olumsuz yönde etkilemekte, bunun neticesinde çok fazla sayıda mal ve can kaybına sebep olmaktadır. Bununla birlikte ülkemiz sınırları içerisinde yer alan aktif fay hatları ve kırıklar önemli hasarlara yol açan depremlere neden olmaktadır. Deprem sırasında oluşan bu hasarı etkileyen temel faktörler deprem kaynak özellikleri, yerel zemin koşullarının ve üstyapı özellikleridir. Özellikle yerel zemin koşulları, kuvvetli yer hareketi sırasında açığa çıkan

sismik dalgaların genlik ve frekans içeriğini değiştirmekte ve mühendislik yapılarındaki hasar dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle deprem gibi dinamik yükler altında zemin davranışının belirlenmesi son derece büyük bir önem taşımaktadır. Kuvvetli yer hareketi sırasında zemin dinamik davranışının belirlenmesi için mikrobölgeleme çalışmaları yapılmaktadır. Mikrobölgeleme çalışmaları, araştırma bölgesini daha küçük alt birimlere ayırarak bölgede meydana gelebilecek olan sıvılaşma durumu, zemin büyütmesi ve yamaç stabilitesi olmak üzere üç farklı ana konu etrafında yoğunlaşmaktadır. Birinci aşama mikrobölgeleme çalışmalarında bölge ile ilgili genel bilgiler toplanıp derlenerek, bölgedeki sismik aktiviteye neden olacak kaynaklar belirlenmektedir. İkinci aşamada ise bölgedeki anakaya derinliğini, zemin tabakalaşmasını, zemin dinamik özelliklerini belirlemek için çeşitli arazi deneyleri yapılmaktadır. Üçüncü aşama mikrobölgeleme çalışmalarında ise ilk ikinci aşamada elde edilen sonuçlar kullanılarak 1, 2, 3 boyutlu zemin dinamik analizleri yapılmaktadır. Deprem sırasındaki zemin dinamik davranışının belirlenmesi için en uygun yöntem, inceleme yapılan bölgedeki deprem kayıtları ve yerel zemin koşullarını göz önünde bulundurarak dinamik analizlerinin yapılmasıdır (Subaşı vd. 2017).

Sismik mikrobölgeleme çalışmalarında ve sismik tehlike haritalarının oluşturulması, kentsel planlamada, depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasında ve doğal olarak meydana gelen tehlikelerin etkisinin değerlendirilmesi noktasında çok önemli çözümler ve kolaylıklar sunmaktadır. Mikrobölgeleme çalışmalarında asıl amaç, çalışma alanını bölgesel ölçekte kentsel alanların kareler yöntemi ile küçük bölgelere ayırarak aynı zamanda mikrobölgeleme prensiplerini de uygulayarak değerlendirilmesidir. Bunun yanı sıra mikrobölgelemeyi, bölgedeki zeminin özelliklerini ve bu bölgede oluşması muhtemel olan depremlere göre zeminlerin davranış özelliklerini belirlemek ve deprem etkisiyle zemin yüzeyinde meydana gelebilecek olan değişimin belirlenmesi olarak da tanımlamak mümkündür.

Yağcı (2005)'e göre Mikrobölgeleme, Çalışma bölgesinde deprem riskinin azaltılmasına yönelik yapılmış olan çalışmaların çıkış noktasını oluşturan mikrobölgeleme, zemin yer hareketi özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle bölge zemin şartlarının ve deprem kaynağının karşılıklı olarak etkileşimini dikkate alan

disiplinler arası bir konudur. Mikrobölgeleme çalışmalarının ilk aşamasında, deprem kaynağını ve mesafesini dikkate alarak meydana gelebilecek yer hareketi için sismik tehlike analizinin yapılması gerekmektedir. Sonraki aşamada ise, bölgenin zemin şartlarının iyi bilinmesi ve daha önceden belirlenmiş olan yer hareketine maruz kalan zemin tabakalarının davranışları belirlenmelidir. Üçüncü ve son aşamada ise, ilk iki aşamalardan elde edilmiş olan sonuçları dikkate alan bir bölgeleme alanının oluşturulması gerekmektedir (Ansal ve Marcellini 1998).

Herhangi bir bölgenin uygun yerleşim alanlarını tespit etmek için, güvenli binalar inşa edebilmek ve insanların can güvenliğini sağlamak için deprem riskinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda, son yıllarda deprem etkisiyle birlikte meydana gelebilecek yıkıcı dinamik kuvvetler, zemin büyütmesi, yüzey faylanması, sıvılaşma ve heyelan gibi doğal olayların zarar verici etkilerini azaltmak için sismik mikrobölgeleme çalışmaları yapılmaktadır. Sismik mikrobölgeleme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, deprem tehlikesinin belirlenmesine yönelik birçok etkenin nasıl birleştirileceği ile ilgili durumdur (Ulutaş 2006).

Ansal vd. (2001) tarafından mikrobölgeleme, herhangi bir bölgede meydana gelmesi beklenen muhtemel depremin sismik özelliklerine göre, zeminin nasıl davranış göstereceğini ve deprem kuvvetlerinin etkisiyle, zemin yüzeyinde ve buna bağlı olarak binalarda nasıl bir değişim olacağını, bu durumun çalışma bölgesi içindeki dağılımını küçük ölçeklerde inceleyen çalışmalar şeklinde tanımlanmıştır. 1990'lı yıllarda bazı araştırmacılar, gelecekte oluşabilecek riskler noktasında farkındalığı artırmaya yönelik ve deprem riskinin etkisini azaltmak amacıyla mikrobölgeleme çalışmalarının ilk adımlarını atmışlardır. Bu durumların neticesinde Fah vd. (1997) tarafından, zeminlerin sismik yer hareketlerine maruz kalması durumunda, yerel zemin koşullarının etkilerini ve zemin dinamik davranışlarını tahmin etmek amacıyla üç adımdan oluşan bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Birinci adımda, çalışma bölgesinden elde edilen geoteknik ve jeolojik verilerin detaylı olarak yorumlanması neticesinde haritalar oluşturulmaktadır. İkinci adımda ise, çalışma bölgesinin zemin hakim periyodunu belirlemek için standart penetrasyon testlerinden (SPT) alınan veriler ve sismik ölçümlerinden yararlanılarak ampirik bağıntılar yardımıyla kayma dalgası hızı (V_s)

belirlenmektedir. Son adımda ise yerel zemin profilleri oluşturularak, bir ve iki boyutlu sayısal modellemeler yardımıyla analiz edilerek çalışma bölgesinin mikrobölgelemesi yapılmaktadır.

Deprem süresi, arazinin topoğrafyası gibi zemin koşulları çalışma bölgesindeki pik yer ivmesi (PGA) değerlerini azaltır veya büyütebilir. Uzun süreli depremlerin, zemin yer hareketlerini büyüten alüvyon zemin tabakaları üzerine yapılmış olan yapılar, özellikle de yüksek katlı kentsel bölgeler üzerinde yıkıcı etkiler meydana getirmektedir. Kentsel alanlarda mikrobölgeleme çalışmalarının sismik değerlendirmesine önem verilmektedir (Sönmezer 2016). Mikrobölgeleme yöntemlerinin yanı sıra meydana gelebilecek olan deprem tehlikelerine karşı güvenliği de iki bölümde incelememiz gerekmektedir. Birincisi zeminin dinamik kuvvetlere karşı güvenliği, ikincisi ise bölgenin sıvılaşma riskine, zemin büyütmesine ve heyelan durumuna göre güvenliğidir. Deprem riskini ve zararlarını azaltmak amacıyla, dinamik yıkıcı kuvvetler, depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliği mutlaka dikkate alınmalıdır. Yönetmeliğin dikkate alınmadığı durumlarda ise depremden dolayı meydana gelen tehlikeler ciddi zararlar vermektedir. Bu nedenle mikrobölgeleme çalışmaları üç ayrı kategoride olmak üzere zemin büyütmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşma başlığı adı altında yapılmaktadır (ISSMFE 1993, ISSMGE-TC4 1999).

Çizelge 2.4 Mikrobölgeleme esasının genel aşamaları (ISSMFE 1993).

MİKROBÖLGELEME AŞAMALARI			
	1. Aşama (Genel Bölgeleme)	2. Aşama (Ayrıntılı Bölgeleme)	3. Aşama (Çok Ayrıntılı Bölgeleme)
Zemin Büyütmesi	Tarihsel depremler, Bölgenin tektonik ve jeolojik yapısı, Jeolojik haritalar ve Yöre halkı ile mülakatlar	Geoteknik incelemeler, Mikrotrömer ölçümleri	Ayrıntılı geoteknik incelemeler, Zemin davranış analizi, Zemin tabakaları 1 ve 2 boyutlu analizler
Şev Stabilitesi	Tarihsel depremler, Bölgenin tektonik ve jeolojik yapısı, Jeolojik haritalar ve Yöre halkı ile mülakatlar	Hava fotoğrafları, Uzaktan algılama, Arazi incelemeleri, Bitki örtüsü ve yağış bilgisi	Ayrıntılı geoteknik incelemeler, Şev stabilitesi analizleri
Sıvılaşma	Tarihsel depremler, Bölgenin tektonik ve jeolojik yapısı, Jeolojik haritalar ve Yöre halkı ile mülakatlar	Hava fotoğrafları, Uzaktan algılama, Arazi incelemeleri, Yöre halkı ile mülakatlar	Ayrıntılı geoteknik incelemeler, Sıvılaşma analizleri
Harita Ölçeği	1/1000000 ile 1/500000	1/1000000 ile 1/10000	1/25000 ile 1/5000

2.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Mikrobölgeleme çalışmalarında, yerel zemin koşulları hakkında bize ön bilgiyi sağlayan parametrelerin çalışma bölgesindeki değişimin belirlenmesi ve bu zemin parametrelerinin sismik analizleri sonucu elde edilecek olan tüm veriler birleştirilerek bunların arasındaki ilişkilerin net bir şekilde ortaya koyulması gerekmektedir. Neticesinde analizler sonucu elde edilen tüm veriler bölge haritasında coğrafi koordinatları da kullanarak yerleri tespit edilerek ilişkilendirilmelidir. Bahsedilen teknik detayla birlikte işlemlerin gerçekleştirilebilmesi, uygulanabilmesi ve haritalandırmaları için matematiksel veya istatistiksel coğrafi analizleri ve elde edilen verilerin görsel bir şekilde sunularının yapılması son yıllarda önemli bir noktaya gelmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda son yıllarda sıklıkla kullanılan en iyi programlardan bir tanesi de Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'dir (Demir 2006).

Son yıllarda tez çalışmalarını dikkate aldığımızda veri tabanı yönetim sistemlerinin elde edilen verilerin paylaşımındaki önem harita destekli programlarla veya uygulamalarla daha fazla ortaya çıktığı görülmektedir. Bu sebeple verilerin anlaşılabilir bir şekilde sunulması noktasında önemli bir hale gelen Coğrafi Bilgi Sistemi, harita destekli programlardan en iyi şekilde faydalanmayı, analiz etmeyi ve haritalandırmayı sağlamaktadır. Haritalar üzerinde bulunan veriler görsel olarak daha açık ifade edilebildiğinden, coğrafi konuma dayalı bilgilerin aynı sistem veya altlık içerisinde bir bütün şeklinde toplanmasını ve analiz edilmesini sağladığı için Coğrafi Bilgi Sistemi'nin daha çok kullanılmasına neden olmuştur (Tosun ve Orhan 2007).

Coğrafi Bilgi Sistemini, yeryüzüne ait bütün bilgileri istediğimiz şekilde ve belirli bir amaca yönelik toplanması, verilerin depolanması, analiz edilmesi, güncelleştirilmesi ve haritalandırılarak görüntüleme gibi birçok işleme olanak sağlayan bir bilgisayar sistemi veya programı olarak tanımlanmaktadır. Yeryüzüne ait bilgilerin işlenmesi noktasında coğrafi koordinatlar dikkate alındığı için Coğrafi Bilgi Sistemi yerine harita sistemi olarak da algılanmaktadır. Verilerin aynı sistem altında toplanması, depolanması, elde edilen verilerin modellenerek analiz edilmesi, bu bilgilere güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşılabileceğinden dolayı sistemin verimliliği ve güvenilirliği daha fazla artıracaktır.

Coğrafi Bilgi Sisteminin en önemli özelliği dünyada konumsal olarak bilgi ile ilgilenen kişilerin, kurum veya kuruluşların arasında ciddi bir merak uyandırmış olması, teknolojik gelişmelerde meydana gelen farklılıklar özellikle de ticari fayda bekleyen farklı fikir ve uygulamalar Coğrafi Bilgi Sistemi ile ilgili birçok farklı tanımlamaları ortaya çıkarmıştır. Kısa adıyla CBS, bazı araştırmacılara göre, konumsal verileri sayısal bütünlüğe dönüştüren bilgisayarlı sisteme dayalı bir araç, bazılarına göre konumsal veri sistemlerinin hepsini içeren aynı zamanda da coğrafik olarak veriyi irdeleyen bilimsel bir kavram, bazılarına göre de, yapılması planlanan organizasyona yardımcı olabilecek görsel sunuma dayalı bir veri tabanı yönetim sistemi olarak da anlaşılmaktadır (Mola 2005).

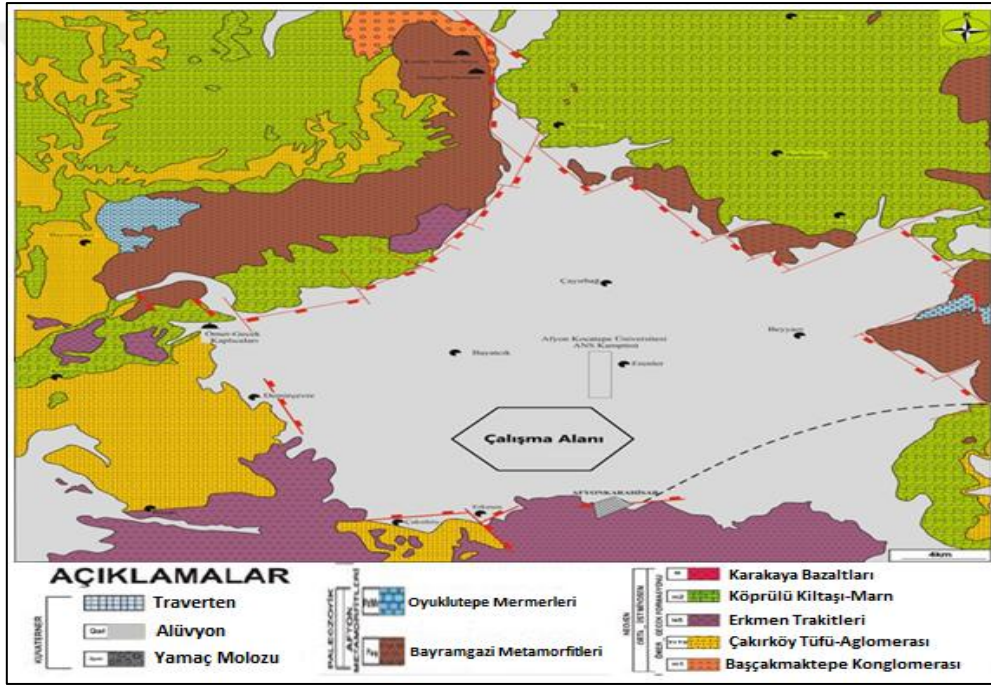
Çalışmamız neticesinde elde edilmiş olan haritalar, bilgisayar üzerinden CBS programı kullanılarak veriler girilmiştir. Afyonkarahisar merkezi Uydükent bölgesi çalışma

bölgesinin çevresi belirlenerek 1/1000 ölçekli topoğrafik haritası ve mahalle sınırları, ArcGIS programı kullanılarak konuma göre sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma esnasında harita üzerindeki farklı legantlar (mahalle sınırı, parsel, akarsu, tren yolu, hastane, vs.) için farklı ID numaraları belirlenerek sisteme tanımlanmıştır. Çalışma bölgesinde yapılan sondajlar ve araştırma noktaları koordinata dayalı bir şekilde sisteme aktararak lokasyon haritaları hazırlanmıştır. Tez çalışmasının her aşamasında hazırlanmış olan haritalar (genel jeoloji haritası, yeraltı su seviyesi, zemin büyütme analizi haritaları, sıvılaşma risk haritaları, derinlik haritaları, vs.) da GrassGIS programına aktararak elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında oluşturulması planlanan tüm haritalar aynı koordinat sistemi üzerinde düzenli bir şekilde birbiri ile uyum sağlayacak şekilde aynı sistemde altında depolanmıştır. Tez çalışmamız kapsamında haritaların oluşturulmasında ise ArcMAP ve GrassGIS programı kullanılmıştır.

2.5 Çalışma Alanının Genel Karakteristikleri

Çalışma alanı 1/35.000 ölçekli K 25-b4 pafta içerisinde olup 3437000-3444000 kuzey enlemleri ile 4866000-4870000 doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Bölgede Afyonkarahisar iline kuzeybatıdan giren ve çalışma bölgesinin tam ortasından geçerek şehrin doğusundan çıkan Akarçay Nehri bulunmaktadır. Afyonkarahisar, denizden uzak ve etrafı dağlarla çevrili bir bölgede olduğundan, ilde tipik bir karasal iklim hakim sürmektedir. Bununla birlikte geçiş bölgesi özelliklerini de yansıtmaktadır. Kış ayları soğuk ve karlı, yazları ise kurak ve sıcak geçmektedir. Ağustos ayı en kurak zaman olup, Nisan ve Mayıs ayında ise çok fazla yağış alan bir bölgededir. Hava sürekli serin olup, geceleri ise bazı yaz aylarında bile soğuk olma özelliği göstermektedir. Bölgeye düşen yıllık yağışın ancak % 16'sı yazın yağmaktadır. Senelik yağış miktarı ise ortalama 410-478 mm civarındadır. Sıcaklık farkı oldukça fazla olduğundan ocak ayında -20 derecenin altına düştüğü dönemler olmaktadır. Temmuz ayında ise sıcaklık 30 derecenin üstüne çıkmaktadır. Bu etkenlere göre çalışma bölgesinin yer altı su seviyesi değişkenlik gösterirken, yaz aylarında ortalama 5 m iken, kış aylarında ise bu seviye daha da artmaktadır (Ulutürk 2009).

Düz ovalara sahip inceleme alanında, yerleşim merkezinden geçen dere yatakları boyunca görülen alüvyon zeminler geniş alanlar kaplamaktadır (Şekil 2.15). Çalışma alanının bulunduğu alan alüvyonal bir düzlük üzerinde yer almaktadır. Bayramgazi şistleri ve Oyuklutepe Mermerlerinden oluşan Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri inceleme alanındaki temel kayalardır. Paleozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak konglomera, killi kireçtaşı, kumtaşı seviyeleri, volkanik cam, kumtaşı, trakiandezitik tüf, karbonat çimentolu tüfit seviyeleri içeren Ömer-Gecek formasyonu gelmektedir. Üst Miyosen yaşlı volkanik kayalar ve alüvyon ise bölgedeki en genç birimlerdir (Ulutürk 2009, Yıldız vd. 2012).



Şekil 2.8 Afyonkarahisar merkezi genel jeolojik haritası (Ulutürk 2009).

İnceleme alanının da içerisinde yer aldığı Akarçay Havzası Paleozoik ve Mesozoyik yaşlı birimlerden oluşur. Akarçay Havzası'nda Paleozoyik birim başlangıcından Kuvaterner'e kadar geçen döneme ait kayaç birimleri bulunmaktadır. Akarçay Havzası, Toros Kuşağı'nın "Isparta Dirseği" olarak bilinen bölümünün kuzeyinde bulunmaktadır. Bu sebeple Havza, Toros Kuşağı tektonik hareketlerden oldukça etkilenmiştir. Akarçay Havzası'nın jeolojik yapısı başlıca 5 öğeden oluşmaktadır;

- Paleozoyik yaşı metamorfik kayaçlar
- Mesozoyik yaşı denizel kayaçlar
- Volkanik kayaçlar
- Neojen yaşı göl ve akarsu çökelleri
- Kuvaterner yaşı göl ve akarsu çökelleri

Paleozoyik yaşı metamorfik kayaçlar, havzanın kuzeybatısında ve güneydoğusunda yüzeylenmektedir. Kuzeybatıda Afyon Ovası'nın kuzeyinde yüzeylenen metamorfik kayaçlar güneye inildikçe derinlere dalmaktadır. Neojen yaşı birimler genellikle paleocoğrafyaya uygun bir biçimde gölsel çökeller olarak ortaya çıkmış, epirojenik hareketler ile kısmi yükselmeye uğramışlardır. Neojen sedimantasyonu 1200 m kotlarında durmuş, bu yükseltinin üzerinde gözlenen Neojen birimleri epirojenik hareketler ile yerleşmişlerdir. Paleocoğrafyaya bağlı olarak bu birimler yer yer 600 m kalınlığa kadar ulaşmaktadır (Utku vd. 2003). DSİ tarafından yapılan sondajlarda gözlenen Neojen çökelleri genellikle aşağıdan yukarıya doğru şu şekilde izlenmektedir;

- Çakıllı-kumlu, kırmızı renkli flüviyal çökeller,
- Kil-kum-çakıl, tuf arakatkılı gölsel marn ve kireçtaşı,
- Çakıllı-kumlu flüviyal çökeller,
- Kil-kum-çakıl, tuf arakatkılı gölsel marn ve kireçtaşı.

En altta yer alan kırmızı renkli çökeller ve gölsel karbonatlar Miyosen yaşı olup üstte yer alan Pliyosen yaşı seri ile uyumsuzdur. Gölsel kökenli birimler havza kenarlarında iri taneler ile başlamakta, havza ortasına gidildikçe ince-kum kil mercikleri içeren göl karbonatlarına ve marnlara geçiş göstermektedir. Volkanik kayaçlar çoğunlukla Neojen volkanizmasının bir eseri olarak havzanın batısında gözlenmektedir. Şuhut Ovası'nın güneyinde Balçikhisar yöresinde ise Mesozoyik denizaltı volkanizmasına ait yastık lavlar bulunmaktadır. Bu denizaltı volkaniklerinin Jura sonlarında yerleştiği düşünülmektedir. Neojen volkanizması Miyosen'de başlamıştır. Tuf, andezit, trakit ve bazalt sıralaması ile oluşmuş volkanizma Neojen sedimanlarını kesmektedir (Tolluoğlu vd. 1997, Ulutürk 2009, Yıldız vd. 2012). Çoğunlukla en altta tuf ile başlayan volkanik faaliyet en son bazalt yerleşimi ile son bulmuştur (Şekil 2.16).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Simge	Kalınlık (m)	Kesit	Litoloji	
SENOZOYİK	O	NEOJEN	Pliyosen	Pl-Mrn2	50		Alüvyon
				Pl-Kgm	50		Alüvyon Yalpazesi
	Pl-Ket			220	Marn		
	Pl-Mrn			100	Belirsiz tabakalı, gevşek tutturulmuş çamurtaşı ve marn		
	M23-Mm			250	Konglomera		
	Miyosen		M23-Kgm	300	Kalın tabakalanmalı, karbonat çakıllı karasal konglomera		
			M23-Mm	250	Kireçtaşı		
			M23-Mm	100	Mikrönik, sert, kırılğan, silis-marn arabantlı killi kireçtaşı		
			M23-Mm	100	Bazalt		
			M23-Mm	100	Marn		
MESOZOYİK	Jura-Kretase	Triyas	Tr331-Ket	300-350	Kireçtaşı		
				Tr331-Mm	100	Orta-kalın tabakalanmalı, bol eklemlı, crime gösteren, yer yer kumtaşı ardalananmalı kireçtaşı	
				Tr331-Dtr	50	Marn, Kumtaşı, Seyli	
	Triyas		Tr23-Ket	1500		1500	Konglomera, kumtaşı, silttaşı
							Kireçtaşı
							Orta-kalın tabakalanmalı, yer yer karışma gösteren, eklemlı sistemleri gelişmiş, yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş kristalize kireçtaşları - dolomitik kireçtaşları
							Metavolkanik
							Kuvarsit
							Kireçtaşı
							Metakonglomera
PALEOZOYİK	Afyon Metamorfileri	Pz-MVI	200	200	İşechisar Mermerleri		
					Pz-Kuv	200	Kalın tabakalanmalı, sert, eklemlı kuvarsit, Matriksi mikrokristalen kuvars, klorit ve serisit şist
					Pz-Ket	250	Sert, kristalize, mermer görünümlü, kalın tabakalanmalı, kıvrımlı kireçtaşı, kalkşist, kuvars-serisit şistler ile ardalananmalı
					Pz-Mkg	150-300	Metakonglomera
					Pz-Mm	300	Kalın tabakalanmalı, yuvarlak kuvarsit çakılları Matriks kuvars-biotit, muskovit şist
					Pz-Sst	300	Şist
					Kuvars-muskovit-serisit şist, kuvars-albit-klorit şist, metakumtaşı, metakonglomera ve kalkşist ardalananmalı		

Şekil 2.9 Afyonkarahisar bölgesinin genel jeolojisi (MTA).

2.6 Çalışma Alanının Depremselliği

Afyonkarahisar ve çevresi, Ege Bölgesi sınırları içerisinde olup, İç Anadolu ve Ege Bölgesinin kesiştiği noktada bulunmaktadır. Afyonkarahisar ili, tektonik olarak Ege Bölgesinin genişlemeli sismik etkisine maruz kaldığından dolayı farklı tarihlerde birçok deprem meydana gelmiştir (Yıldız 2012).

İnceleme alanının içinde bulunduğu Alp-Himalaya orojenik kuşağında bulunan Anadolu'nun jeolojik döneminde, Geç Kretase süresince Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzeye yitimine ilişkin olarak gelişmiş bir yay şeklinde tanımlanmaktadır. Pontid yayı kuzeyde Sakarya, güneyde Anatolid-Torid veya Kırşehir bloklarının en erken

depremselliğini arttırmıştır (Yıldız vd. 2012). Koçyiğit'in 1984 yılındaki çalışmasında, Afyonkarahisar'ın da içinde bulunduğu ülkemizin Güneybatısında, aşağıdaki verilen veriler ışığında diri fayın ispatı olarak öne sürmüştür:

a) Kuvaterner yaşlı birimlerin daha yaşlı birimlerle faylı dereceli ilişki sunması ve fay hatlarının grabenlerin içini dolduran alüvyon tabaka düzeyine göre daha yüksekte (1-10 m) olması.

b) Eski alüvyon birimlerin faylara asılı kalması.

c) Fay dikliği eteğinde, fay düzlemini kat eden konsektant dere yataklarında 200-300 m kalınlığa erişen birikinti konilerinin oluşmuş bulunması ve çakıl eksenlerinin dalım kazanması.

d) Graben kenarlarında, eski kaynak çıkış yerlerinin (kurumuş kaynaklar) alüvyon düzeyinden 25-50 m kadar daha yüksekte yer alması.

e) Sıcak su ve kaplıcaların, fay düzlemi ve ona yakın yerlerde çizgisel olarak yoğunlaşmış olması.

f) Eski ve yeni sıcak su çıkış yerlerinde oluşmuş travertenlerin çok farklı yüksekliklerde bulunması.

g) Karların, fay çizgileri boyunca, diğer yerlere göre daha çabuk erimesi.

h) Fay çizgileri boyunca limonit, mangan oluşumları, CO₂ ve H₂S gibi gazların çıkması.

ı) Özellikle KB-GD ve KD-GB gidişli fay takımları boyunca çok sık deprem olması.

Afyonkarahisar ili ve çevresini etkileyen tektonik sistemler; Dinar Fay sistemi, Akşehir Fay sistemi ve Gediz Çöküntü sistemidir. Tarihsel olarak yaklaşık 200 milyon yıl öncesinden günümüze kadar farklı yaşlardaki formasyonlardan oluşan bu bölge, Türkiye tektoniğini oluşturan, bir arada tutan formasyonlardan olan Orta Anadolu Ova rejimi ve Batı Anadolu Çöküntü sisteminin birleştiği veya karşı karşıya geldiği bir bölgedir. Kısacası bu alan bir geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Türkiye'nin genişlemeli tektonik alanında bulunan aynı zamanda ülkemizin güneybatısında yer alan Afyonkarahisar, Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) bölgesinin sismik tehlikesi yüksek kuşaklarından birisinde yer almaktadır. Belirtilen tektonik sistem üzerinde farklı zamanlarda çok fazla

yıkıcı etki gösteren mal ve can kaybına sebep olan depremler meydana geldiğinden Akşehir-Simav Fay Sisteminin kuzeybatı ve güneydoğu bölümleri sismik tehlike açısından rahatlamış olduğunu ifade etmek mümkündür (Koçyiğit ve Deveci 2007).

Afyon-Akşehir Graben'in (AAG) orta kesiminde ve Bolvadin'in hemen güneyinde yer alan Maltepe ve Çay bölgelerinde yüzey kırılmalarının oluşmasına yol açan iki yıkıcı deprem, sırasıyla 3 Şubat 2002'de 6.5 ve 5.8 büyüklükleriyle meydana gelmiştir (Özden vd. 2002, Emre vd. 2003, Yürür vd. 2003, Akyüz vd. 2006, Tan vd. 2008). Ayrıca, AAG boyunca meydana gelen, büyüklükleri 2 ila 4 arasında olan yaklaşık iki bin deprem bu bölgedeki yüksek sismik aktiviteyi göstermektedir. ASFS çok sayıda fay segmentinden oluşmaktadır. ASFS, Batıda Sındırgı ile doğuda Ilgın arasında olup yaklaşık uzunluğu 400 km'dir. ASFS'nin kuzeybatı kısmı yedi sağ yanal doğrultu atımlı fay segmentinden oluşmaktadır. Ortalama uzunluğu 30 km olan AAG'nin güneydoğu bölümü, KB-SE adıyla ve yaklaşık 130 km uzunluğunda aktif depresyon bölgesi olarak adlandırılmıştır (Koçyiğit 1984, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003, Emre vd. 2011, Özkaymak vd. 2017, Duman vd. 2018, Tiryakioğlu vd. 2018, KOERI 2019).

AAG şu anda yaklaşık 4 mm/yıl genişleme meydana gelmektedir (Aktuğ vd. 2009, Duman vd. 2018). Bunların çoğu 5.7 ile 6.3 arasında büyüklüklere sahip aktif normal faylarda meydana gelen depremlerle ilişkilidir. Grabendeki normal fayların uzunlukları 12-29 km arasındadır ve büyüklükleri 6.8'e kadar olan depremler oluşturabilir (Emre vd. 2018). Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) güneybatı bölümünde tarihsel süreç içerisinde, 1921 yılı Argıthanı-Akşehir, 1946 yılı Ilgın-Argıthanı, 2000 ve 2002 yıllarında Sultandağı ile 2002 yılı Çay depremleri meydana gelmiş olduğundan dolayı söz konusu bu depremler sebebiyle ASFS'nin bu alanadaki enerji birikimini büyük ölçüde azaltmıştır. Aynı zamanda, 1944 yılı Abide, 1969 yılı Demirci ve 1970 yılı Gediz depremleri Akşehir-Simav Fay Sisteminin kuzeybatı bölümünde meydana gelen depremlerle birlikte bu bölgede, ASFS'nin belirli noktalarında toplanmış olan elastik deformasyon enerjisi serbest kalarak tektonik bölgenin sismik tehlike açısından rahatlamasına, enerji boşalmasına neden olmuştur (Eyidoğan vd. 1985, Koçyiğit ve Deveci 2007).

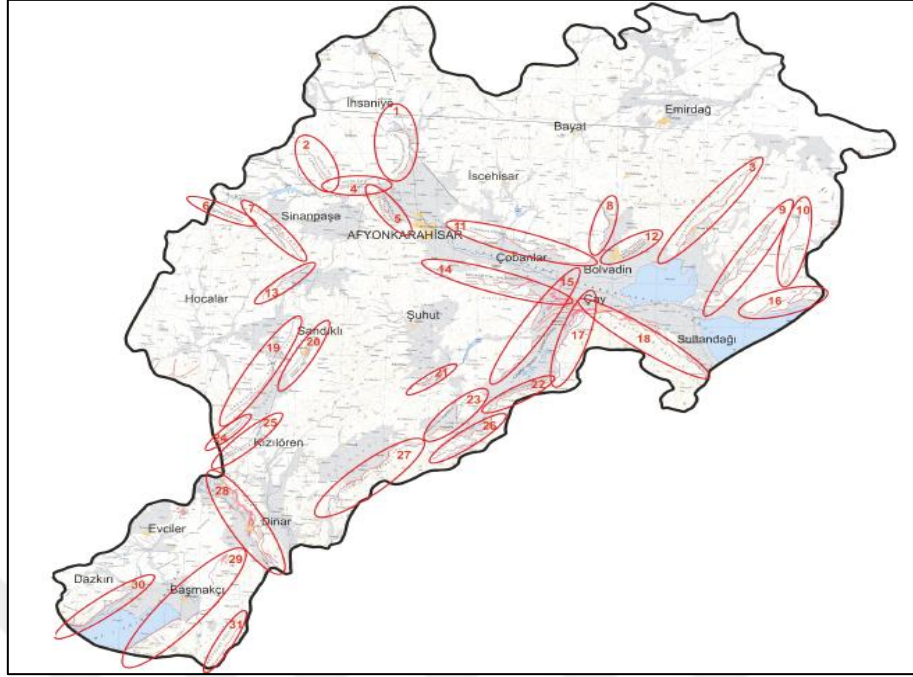
Çizelge 2.5 ASFS üzerinde meydana gelen M:4.5 üzerindeki depremler (www.deprem.gov.tr).

Tarih	Yer	Magnitud
26.09.1921	Argıthanı-Akşehir	5.4
24.06.1944	Kütahya-Abide	6.0
21.02.1946	İlgın-Argıthanı	5.5
25.03.1969	Manisa-Demirci	5.0
28.03.1970	Kütahya-Gediz	7.2
08.09.2000	Balıkesir-Savaştepe	4.7
15.12.2000	Sultandağı	6.0
03.02.2002	Çay	6.5
19.05.2011	Kütahya-Simav	5.9

Çizelge 2.6 Afyon-Akşehir Graben'de kaydedilen tarihi ve aletsel dönem depremlerin listesi (www.deprem.gov.tr).

Tarih	Yer	Magnitud
M.Ö. 88	Dinar	-
M.S. 53	Dinar ve Yöresi	8
M.S. 94	Afyonkarahisar ve çevresi	8
M.S. 1766	Şuhut	8
M.S. 1795	Afyonkarahisar	8
M.S. 1862	Afyonkarahisar ve Şuhut	8
M.S. 1873	Afyonkarahisar	6
03.05.1875	Dinar ve Çivril	9
13.05.1876	Afyonkarahisar	9
04.10.1914	Bolvadin	5.1
07.08.1925	Dinar	5.9
01.10.1995	Dinar	6.1
15.12.2000	Sultandağı	6.0
03.02.2002 (Saat: 09.11)	Sultandağı	6.5
03.02.2002 (Saat: 11.26)	Çay	5.8

Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) ve KD-GB yönlü faylar üzerinde meydana gelmiş olan bütün depremler Afyonkarahisar ve çevresinin sismik tehlike açısından oldukça aktif bir sistemin içinde olduğunu göstermektedir (Çizelge 2.6). Koçyiğit ve Devecinin 2005 yılındaki çalışmasına istinaden, ASFS'nin kuzeybatı ve güneydoğu kısımlarında depreme sebep olan deformasyon enerjileri, yukarıda çizelgede verilmiş olan depremler neticesinde büyük oranda boşaldığı görülmektedir. Fakat Akşehir-Simav Fay Sistemi üstünde, bölgenin kuzeybatıda Çukurören ile güneydoğusunda Çobanlar ilçesi arasında kalmış olan yaklaşık olarak 113 km uzunluğa sahip olan bu alanda en son meydana



Şekil 2.13 Afyonkarahisar ve çevresindeki diri faylar (Emre vd. 2018).

Sırasıyla Gazlıgöl, Çatkuyu, Karabağ, Gecek, Erkmn, Elvanpaşa, Sinanpaşa, Dişli, Çukurcak, Karakışla, Çobanlar, Bolvadin, Akharım, Işıklar, Kali, Yunak, Karamık, Sultandağı, Örenkaya, Sandıklı, Kayrakdağ, Koçbeyli, Karaadilli, Düzbel, Kızılören, Arızlı, Tatarlı, Dinar, Gemiş, Mahmutdağı, Karakent fayları güncellenen diri faylar olmak üzere toplamda 31 adettir. Bu fayların üretebileceği maksimum deprem büyüklükleri 6.05-6.86 arasında değişmektedir. Fayların uzunlukları ise 9-33 km arasında değişmektedir (Emre vd. 2018).

Türkiye’de 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)’nden önce 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (DBYBHY)’e göre Afyon ilinde yer alan ve çalışma bölgesini etkileyeceği düşünülen fay hatlarının da bulunduğu ilçe merkezleri içerisindeki değişim daha detaylı incelenmiş ve buna göre Sinanpaşa, Hocalar ve Ihsaniye ilçelerinde Yeni Sismik Tehlike haritası bir önceki sismik tehlike haritasına göre daha yüksek sismik tehlike öngörmektedir (Seyrek 2020). Bunun yanı sıra Afyonkarahisar merkezi için de farklı deprem yer hareketi düzeyleri ve zemin sınıfları için betonarme çerçevelerdeki taban kesme kuvvetleri ve eğilme momenti değerleri ile ilgili bölgede çalışma yapılmıştır (Başaran ve Hiçyılmaz 2020).

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada Afyonkarahisar Uydukent bölgesi çalışma alanının arazi deneylerine dayalı olarak zemin dinamik davranışı değerlendirilmiştir. Çalışma alanının zemin büyütme ve sıvılaşma analizleri için bir boyutlu DeepSoil programı kullanılmıştır. Analizler; arazi deneylerinden elde edilen veriler ile laboratuvar çalışmaları birlikte kullanılarak yapılmıştır.

3.1 Saha Çalışmaları

Çalışma alanında bugüne kadar yapılmış olan sismik tehlike ve zemin davranışı analizleri ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Arazi deneyleri kapsamında bölgede yaptırmış olduğumuz sondajlar ve özel firmalardan alınmış uygun olan sondaj raporları dikkate alınarak çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı için, derinliği 15-30 m arasında olan toplamda 124 adet sondaj kuyusu dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Sondajlar, Standart Penetrasyon Testlerinin (SPT), ASTM D 1586-99 standardına göre her 1,5 m’de bir yapılmış ve çalışma alanının ortalama yeraltı su seviyesi ise 3-6 m arası olarak tespit edilmiştir.

Arazi deneyleri arasında SPT yaygın olarak kullanılmaktadır. SPT deneyi için, numune alıcının zemine 450 mm çakabilmek için belirli bir yükseklikten (76 cm) düşürülen ve ağırlığı belli (63,5 kg) şahmerdan tarafından zemine uygulanan darbelerin sayısının (N) belirlenmesi için yapılan bir arazi deneyidir. Deney sırasında ilk 150 mm’lik kısmı çakmak için vurulan darbe sayıları dikkate alınmamaktadır. İkinci ve üçüncü 150 mm’lik çakma işlemi için vurulan darbe sayıları ayrı ayrı kayıt altına alınır. SPT uygulamaları, genel ilkeler doğrultusunda her 1,5 m’de bir veya zemin türünün değiştiği düzeylerde muhafaza borusunun tabanından itibaren yapılır. Darbeler birbirini izleyen her 150 mm’lik giriş (penetrasyon) için ayrı ayrı kaydedilir, 50 darbede 150 mm’lik giriş sağlanamadığı durumlarda deney durdurularak 50 darbedeki giriş miktarı (cm) olarak kaydedilir.

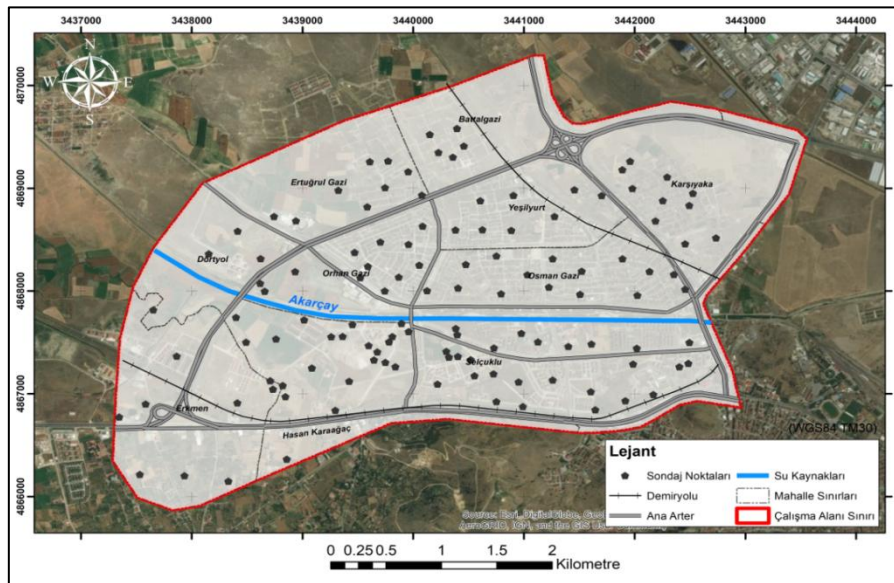
Sondaj kuyuları tek tek kayda alınarak gerekli hesaplamalar sonucunda kayıtlar oluşturulmuştur. Çalışma alanının için kullanılan tüm sondaj kuyularının standart penetrasyon deneyine ait genel sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışma alanına ait standart penetrasyon deneyi genel N_{30} değerleri.

Zemin Tabakaları (m)	N_{30}			Standart Sapma
	Minumum	Maksimum	Ortalama	
Kil Tabakası 0 - 7,50	9	20	15	5.5
Kum Tabakası 7,50 - 18,00	16	24	20	5.6
Kil Tabakası 18,00 - 19,95	11	19	15	5.6

Standart penetrasyon deneyi ortalama değerleri (Çizelge 3.1) dikkate alındığında Terzaghi ve Peck (1967)’nin önermiş olduğu aralığa göre, çalışma alanında bulunan kohezyonlu zemin tabakalarının kıvamı “Kati”, kohezyonsuz zemin tabakasının sınıfı ise “Orta-Sıkı” olarak tespit edilmiştir.

Çalışma alanında analizler için kullanılmış olan toplam 124 adet sondaj kuyusu koordinatlarını gösteren bölgenin haritası harita Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma alanındaki sondaj kuyularının genel dağılımı.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Afyonkarahisar merkezinde bulunan Uydukent bölgesinin geoteknik özellikleri, sahada yapılmış olan sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde laboratuvar testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yaptırılmış olduğumuz sondajlar ve özel firmalardan elde edilmiş olan uygun sondaj raporları dikkate alınarak zemin parametre hesapları yapılmıştır. Çalışma alanında, SPT'den elde edilen zemin numuneleri üzerinde laboratuvar testleri yapılmıştır. Elde edilen laboratuvar sonuçları ile birlikte firmalardan elde edilen sondajların laboratuvar test sonuçları da birlikte değerlendirilmiştir. Sondaj kuyularından alınan zemin numunelerine ait laboratuvar test sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Laboratuvar deneylerine ait genel test sonuçları.

Zemin Tabakaları (m)		0,00 - 7,50	7,50 - 18,00	18,00 - 19,95
Genel Zemin Sınıfı		CH-CL	SM-SC	CH-CL
İnce (%)	Min.	61,36	4,95	70,66
	Mak.	97,96	31,15	85,52
	Ort.	79,89	19,53	78,93
	STDS	29,04	10,55	26,50
İri (%)	Min.	13,78	58,42	11,78
	Mak.	26,86	95,81	33,36
	Ort.	20,11	80,66	21,07
	STDS	6,43	28,48	10,19
Likit limit (LL, %)	Min.	26,00	0,00	30,60
	Mak.	69,70	36,47	72,50
	Ort.	48,60	11,92	51,20
	STDS	9,90	15,01	8,70
Plastik limit (PL, %)	Min.	12,00	0,00	13,60
	Mak.	34,60	23,70	31,70
	Ort.	23,30	7,64	22,60
	STDS	4,05	9,59	5,60
Su muhtevası (w, %)	Min.	6,58	19,60	23,90
	Mak.	20,40	40,43	34,20
	Ort.	14,80	30,20	26,37
	STDS	6,09	4,73	3,66
Birim ağırlık (kN/m³)	Min.	15,27	16,89	15,73
	Mak.	17,75	18,56	19,93
	Ort.	16,50	17,69	18,13
	STDS	0,79	0,63	1,41

Laboratuvar deney sonuçlarına göre çalışma alanının CH-CL zemin tabakaları için ince oranı %61,36-97,96 arasında, iri oranı %11,78-33,36 arasında, likit limit değeri %26,00-72,50 arasında, plastik limit değeri %12,00-34,60 arasında, su muhtevası değeri %6,58-34,20 arasında, birim ağırlık değeri ise 15,27-19,93 kN/m³ arasında değişmektedir.

SM-SC zemin tabakası için ince oranı %4,95-31,15 arasında, iri oranı %58,42-95,81 arasında, likit limit değeri %0,00-36,47 arasında, plastik limit değeri %0,00-23,70 arasında, su muhtevası değeri %19,60-40,43 arasında, birim ağırlık değeri ise 16,89-18,56 kN/m³ arasında değişmektedir.

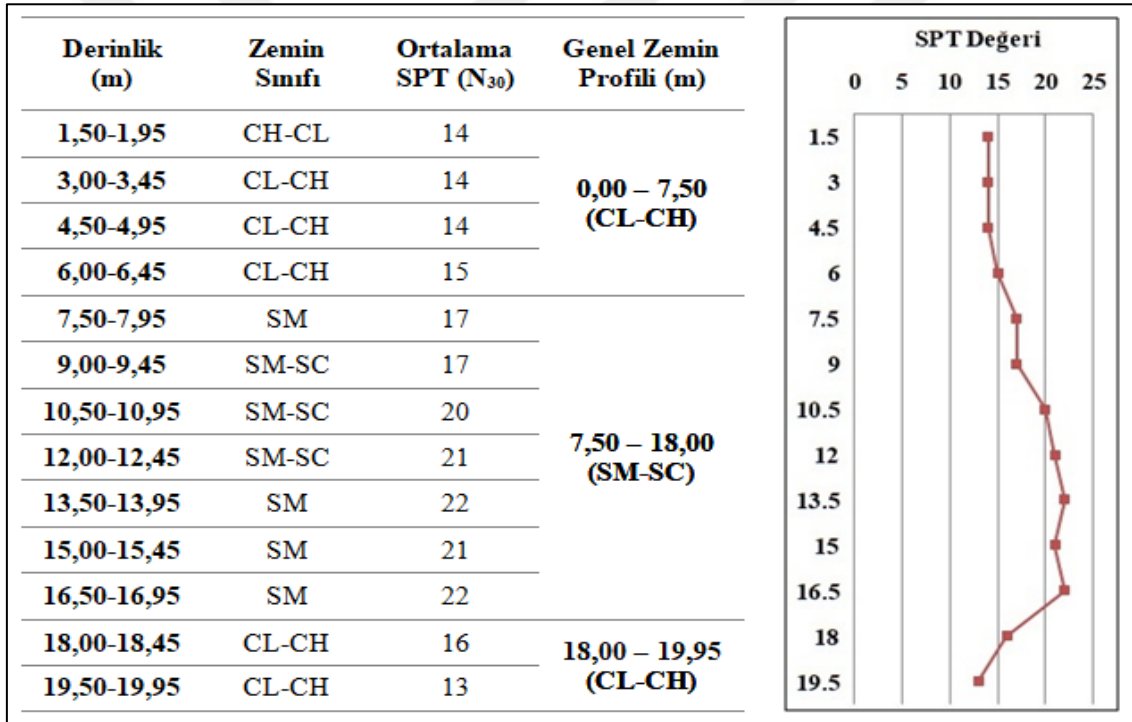
Çalışma alanında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmış olan 5 adet derin su sondajları birlikte değerlendirilerek Şekil 3.2’de bir zemin profili verilmiştir. 100 m derinliğindeki sondajların zemin tabakaları görüldüğü üzere az çakıllı, kum, kumlu siltli kil ve killi birimlerden oluştuğu görülmektedir. Genel sondaj profilinde 100 m’den sonra 251 m’ye kadar Traki Andezit gibi sert birimlerin olduğu görülmüştür.

Genel Zemin Profili	
0-2 m	(Bitkisel Toprak)
2-25 m	(Kumlu Siltli Kil)
25-47 m	(Az Killi Çakıl)
47-67 m	(Çakıllı Kil)
67-84 m	(Az Killi Çakıl)
84-100 m	(Killi Çakıl)
100-251 m	(Traki Andezit)

Şekil 3.2 DSİ derin su sondajı zemin profili.

Afyonkarahisar’da tarafından yapılan

Laboratuvar test sonuçlarına dayalı olarak her bir tabakanın zemin sınıflandırması yapılarak derinliğe bağlı çalışma bölgesinin geoteknik verileri oluşturulmuştur. Çalışma alanı zemin profili 0-7,50 m arası yüksek plastisiteli kil (CH) ve düşük plastisiteli kil (CL), 7,50-18,00 m arası siltli kum (SM) ve killi kum (SC), 18,00-19,95 m arası da yüksek plastisiteli kil (CH) ve düşük plastisiteli kil (CL) formasyonlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Devlet Su İşlerinin bölgede yapmış olduğu derin sondaj laboratuvar sonuçlarına göre 25 m'ye kadar tespit etmiş olduğu genel zemin profili ile tez kapsamında çalışma alanında yapılmış olan arazi deneylerine dayalı laboratuvar sonuçlarına göre belirlemiş olduğumuz zemin profilinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Çalışma alanındaki sondaj kuyularının laboratuvar test sonuçlarına göre genel zemin profili.

3.3 Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi (V_s)

Kayma dalgası hızının (V_s) jeofizik yöntemlerle belirlenmesi esastır. Bununla birlikte, standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) gibi arazi deney sonuçları ve genel kabul gören bağıntılar kullanılarak dolaylı yoldan da hesaplanabilir.

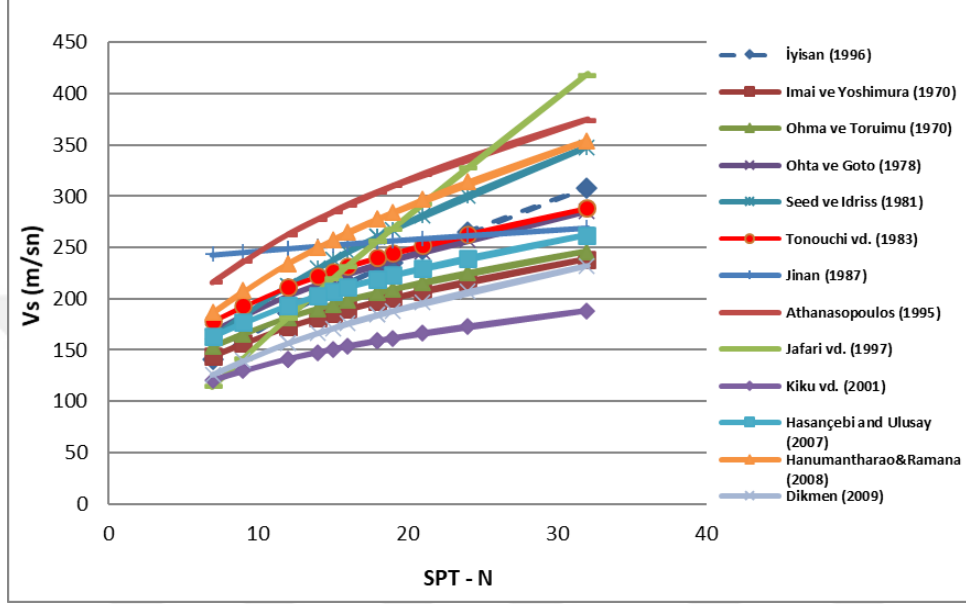
Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde kayma dalgası hızı V_s , SPT darbe sayısı N ve kohezyonlu zeminler için c_u değeri kullanılabilir (TBDY 2018).

Çalışma alanında yapılmış olan sondaj çalışmalarındaki SPT- N_{30} değerlerine bağlı olarak her bir kuyu tabakasının kayma dalgası hızı (V_s) değerleri belirlenmiştir. Yaygın olarak literatürde SPT'ye bağlı V_s arasındaki ilişkiler kullanılmaktadır. Zemin türlerine göre ampirik bağıntılar kullanılarak V_s değerleri hesaplanabilmektedir. Kayma dalgası hızı (V_s) belirlenmesi için 13 farklı ampirik formül değerlendirilmiştir. Aşağıda Çizelge 3.3'de ilgili çalışmalara ait formüller verilmektedir.

Çizelge 3.3 Kayma dalgası hızı (V_s) ve SPT- N 'e bağlı literatür bağıntıları (Sönmezer 2016).

Araştırmacılar	V_s (m/sn)		
	Tüm Zeminler	Kum	Kil
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$	-	-
Ohma ve Toruimu (1970)	$V_s=84N^{0.31}$	-	-
Ohta ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$	-	-
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61.4N^{0.5}$	-	-
Tonouchi vd. (1983)	$V_s=97N^{0.314}$	-	-
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+31.85)^{0.202}$	-	-
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$	-	-
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$	-	-
Jafari vd. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$	-	-
Kiku vd. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$	-	-
Hasançebi and Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.308}$	$V_s=90.82N^{0.319}$	$V_s=97.89N^{0.269}$
Hanumantharao ve Ramana (2008)	$V_s=82.6N^{0.42}$	$V_s=79N^{0.433}$	-
Dikmen (2009)	$V_s=58N^{0.40}$	$V_s=73N^{0.33}$	$V_s=44N^{0.48}$

Aşağıda SK-62 numaralı sondaj kuyusu için SPT-N değerlerine bağlı kayma dalgası hızının değişim grafiği verilmektedir (Şekil 3.4). İlgili şekil incelendiğinde İyisan (1996) tarafından önerilen denklemin kullanılmasına karar verilmiştir.



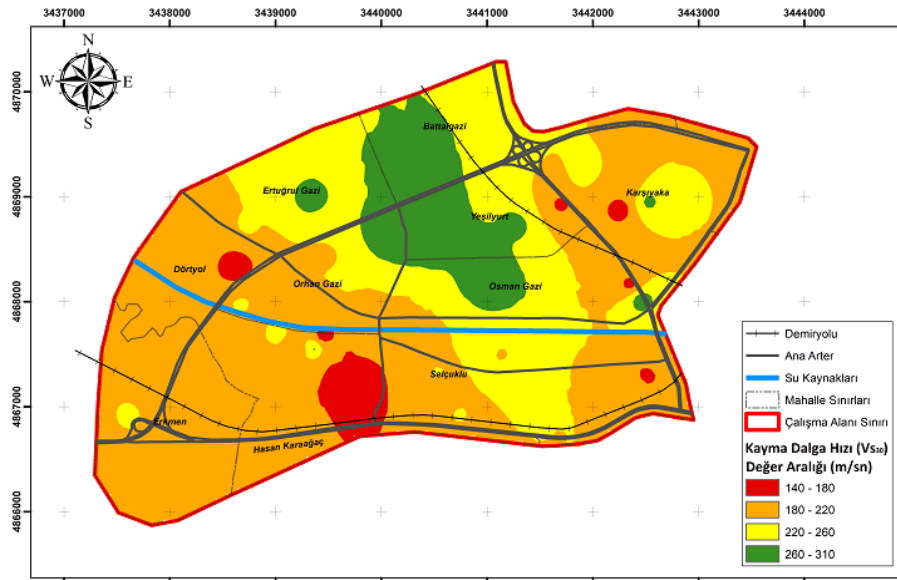
Şekil 3.4 Kayma dalgası hızı (V_s) ve SPT-N arasındaki ilişki.

Deprem tasarım spektrumlarının tanımlanmasında esas alınacak yerel zemin sınıfları, bu tabloya göre yapılacak zemin araştırmaları ile belirlenecektir (Çizelge 3.4). Aşağıda verilen zemin parametreleri, zemin profilinin temel veya kazık başlığı alt kotundan itibaren aşağıya doğru en üst 30 m kalınlığındaki kısmı için belirlenmesi gerekmektedir. Birbirinden belirgin şekilde farklı zemin ve kaya tabakalarını içeren zemin profillerinde üst 30 metredeki tabakalar, yeteri kadar alt tabakaya ayrılarak en üstte i:1 ve en altta i:N olacak şekilde sıralanacaktır. Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (V_s)₃₀, ortalama standart penetrasyon darbe sayısı (N_{60})₃₀ ve ortalama drenajsız kayma dayanımı (c_u)₃₀ denklemleri ile hesaplanması gerekir (TBDY 2018).

Çizelge 3.4 Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		V_{s30} (m/sn)	$(N_{60})_{30}$ (cm)	$(C_u)_{30}$ (kPa)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Tüm bu veriler çerçevesinde standart penetrasyon deneyi sonuçları İyisan (1996) ampirik yöntemi ile birlikte değerlendirilerek sondaj kuyularının kayma dalgası hızları elde edilerek çalışma alanı haritalandırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Çalışma alanının kayma dalgası hız değişimleri.

Kayma dalgası hızı deprem tehlikesi belirleme kısmında kullanılan yer hareketi tahmin modellerinin bir girdisini teşkil eder ve bu parametre kullanılarak yer hareketi tahminleri doğrudan yüzeyde yani zemin etkileri yansıtılmış olarak tahmin edilmektedir. Şekil 3.5'e bakıldığında, kayma dalgası hızlarının 180-360 arasında olduğu bölgeler ZD yerel zemin sınıfını yani Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil, Kayma dalgası hızının 180'den küçük olduğu bölgeler ise ZE yerel zemin sınıfını yani Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakalarından oluştuğunu göstermektedir.

3.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi

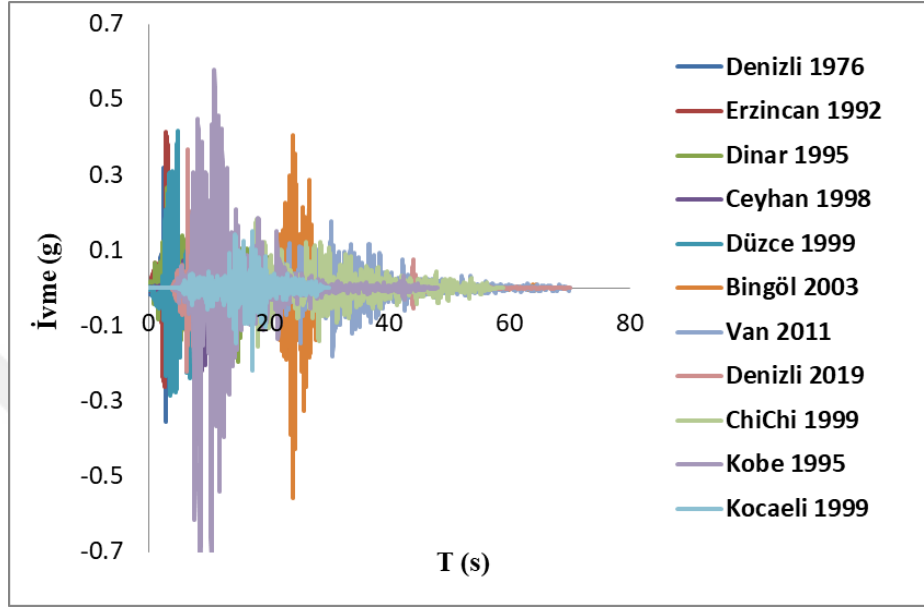
Olası bir depremin mevcut yapı ve bina stoğu üzerinde etkilerinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesinde zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin ve olası zemin davranışlarının hesaba katılması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için zemin kesitinde yer alan zemin tabakaları kapsamlı bir şekilde belirlenmeli, incelenen bölgede sismik tehlike analizleri ile uyumlu ivme zaman kayıtları seçilmeli ve dinamik davranış analizleri yapılmalıdır.

Anakaya mostrasındaki yer hareketi olarak TBDY 2018'in önerdiği şekilde 11 farklı gerçek deprem kaydı (1999 Chichi, 1995 Kobe, 1976 Denizli, 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Ceyhan, 1999 Düzce, 1999 Kocaeli, 2003 Bingöl, 2011 Van ve 2019 Denizli) seçilmiştir. Deprem kayıtlarına ait karakteristikler Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Analizlerde kullanılan deprem kayıtları (www.deprem.afad.gov.tr).

Deprem Adı	İstasyon	Derinlik (km)	PGA (g)	Büyüklik (M_w)
19/08/1976 Denizli	2001	20	0.35	5.0
13/03/1992 Erzincan	2402	23	0.41	6.6
17/01/1995 Kobe	Takarazuka	17.6	0.82	6.9
01/10/1995 Afyon/Dinar	0302	5	0.28	6.1
27/06/1998 Adana/Ceyhan	0105	23	0.22	6.2
17/08/1999 Kocaeli	4106	15.9	0.21	7.4
21/09/1999 Tayvan/Chi Chi	TCU	8	0.18	7.3
12/11/1999 Düzce	8101	11	0.41	7.2
01/05/2003 Bingöl	1201	6	0.55	6.1
23/10/2011 Van	6503	19.02	0.18	6.7
20/03/2019 Denizli	2017	10.76	0.36	5.5

Analizlerde kullanılmak amacıyla Dünya’da ve Türkiye’de meydana gelmiş olan gerçek deprem kayıtlarının ivme-zaman grafiğine bağlı olarak değişimleri Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 Analizlerde kullanılan gerçek deprem kayıtlarının ivme-zaman değişimi.

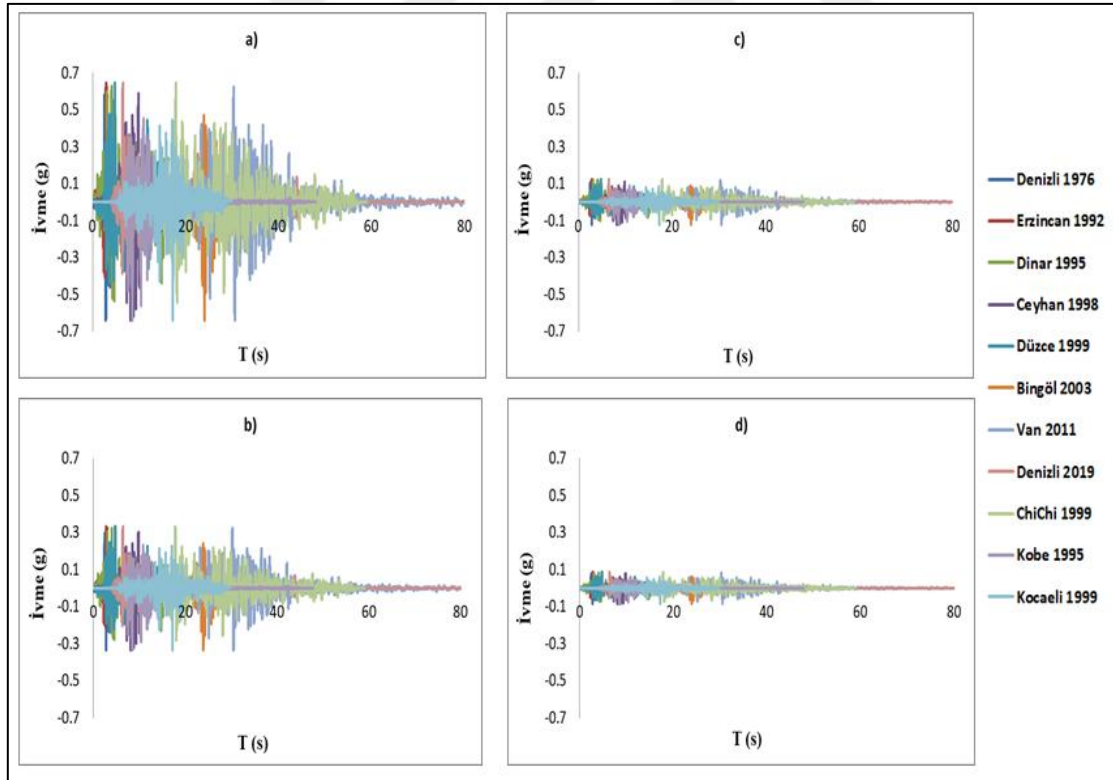
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre deprem yer hareketi düzeyleri, Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4) olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan dört farklı yer hareketi düzeyi için deprem verileri, 22.01.2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanmıştır. Sahaya özel olarak hazırlanan bu ivme haritalarına T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı resmi internet sitesinden erişilmiştir (<https://tdth.afad.gov.tr/>).

Çalışma alanı analizlerinde kullanmak için her bir deprem yer hareketi düzeyine göre sistem üzerinden elde edilen noktasal ivme değerleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Bu ivme değerleri çalışma yapılan alandaki birçok noktanın ivme değerleri göz önüne alınarak çalışma alanını temsil edecek şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 3.6 Çalışma alanının deprem yer hareketi düzeyine göre belirlenen ivme değerleri (<https://deprem.afad.gov.tr>).

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	PGA (g)
DD-1 (Tekrarlanma periyodu 2475 Yıl)	0.644
DD-2 (Tekrarlanma periyodu 475 Yıl)	0.333
DD-3 (Tekrarlanma periyodu 72 Yıl)	0.122
DD-4 (Tekrarlanma periyodu 43 Yıl)	0.086

Gerçek deprem kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklenebilmektedir. Yönetmeliğe uygun olarak seçilmiş olan 11 farklı gerçek deprem kaydı, çalışma alanı için sistem üzerinden elde edilen en büyük ivme değerlerine göre (Çizelge 3.5) DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 yer hareketi düzeyine göre DeepSoil analiz programına tanımlanarak bire bir ölçeklendirilmiş ve analizler için her bir kuyu tabanında tanımlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Çalışma alanı ivmelerine göre ölçeklendirilen gerçek deprem kayıtları a) DD-1 deprem yer hareketi düzeyi, b) DD-2 deprem yer hareketi düzeyi, c) DD-3 deprem yer hareketi düzeyi, d) DD-4 deprem yer hareketi düzeyi.

3.5 Zemin Davranış Analizlerinde Kullanılan Program ve Parametrelerin Tanıtımı

Bu çalışmada, bir boyutlu kayma dalgası hızı modeline dayanan, eşdeğer doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri tercih edilmiştir. İnceleme alanında sahaya özel yüzey deprem özellikleri, sondaj verileri kullanılarak zemin profilleri için bir boyutlu eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan zemin büyütme analiz yöntemi ve sıvılaşma analizi için DeepSoil v6.1 programı kullanılarak belirlenmiştir. DeepSoil programı frekans ve zaman alanında çözüm yapabilen bir programdır. Frekans alanında lineer ve eşdeğer doğrusal analizler, zaman alanında ise lineer ve doğrusal olmayan analizler yapılabilmektedir.

3.5.1 Zemin Büyütme Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Sahaya özel zemin davranış analizleri, taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinin zemin tabakaları boyunca değişimini ve zemin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere yapılır. Bina temeli ve yakın çevresinde zemin ortamının yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu durumlarda, sahaya özel zemin davranış analizleri için esas alınan tek boyutlu yatay tabakalı serbest zemin modeli kullanılabilir. Aksi durumlarda iki veya üç boyutlu zemin modelleri kullanılacaktır.

Zemin davranış analizleri için laboratuvar ve saha sonuçlarına göre çalışma alanındaki zemin grupları Şekil 3.3’de görüldüğü gibi CH, CL, SC, SM olarak belirlenmiştir. Zemin büyütme analizlerinde Kumlu ve killi zeminler için kullanılan parametreler;

- Tabaka kalınlığı (m)
- Zemin birim ağırlığı (kN/m^3)
- Kayma dalga hızı (V_s)
- Kayma dayanımı (C_u)
- Aşırı konsolidasyon oranı (OCR)
- Toprak basıncı (K_o)
- Plastisite indisi (PI)

olmak üzere her bir zemin tabakası için özel olarak hesaplanan değerler analiz için kullanılmıştır. Bir boyutlu (1-D) doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal analizlerinde sönümlenme ve modül azalım oranları gerekmektedir. Farklı zemin tipleri için sönüm oranını kontrol eden en önemli parametrenin Plastisite İndisi (PI) olduğu anlaşılmıştır. Bu sebepten dolayı, analizlerimizde hem çevre basıncını hem de plastisite indisini dikkate alan Darendeli modeli tercih edilmiştir. Her sondaj kuyusu ve derinlik için belirlenen bu parametreler ile program bünyesine tanımlanmış olan Darendeli (2001)'in modül azalım ve sönümlenme oranı eğrileri birlikte kullanılmıştır. Killer ve kumlar için sönüm oranı eğrileri ve modül azalım oranı eğrileri oluşturularak aşağıda verilen eşitliklere göre seçildiği takdirde otomatik olarak zemin davranış analizleri yapılmıştır.

Modül Azalım Eğrisi;

$$\frac{G(\gamma)}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma}{\gamma_r}\right)^\alpha} \quad (3.2)$$

$$\alpha = 0.92 \text{ (sabit)} \quad (3.3)$$

$$\gamma_r = (\phi_1 + \phi_2 \cdot \text{PI} \cdot \text{OCR}^{\phi_3}) \cdot \sigma'_0{}^{\phi_4} \quad (3.4)$$

$$\phi_1 = 0.0352, \phi_2 = 0.0010, \phi_3 = 0.3246, \phi_4 = 0.3483 \quad (3.5)$$

$$\gamma = \%, \sigma'_0 = \text{atm}, \text{PI} = \% \quad (3.6)$$

Sönümlenme Oranı Eğrisi;

$$\alpha = 1 \text{ için} \quad (3.7)$$

$$D_{M,\alpha=1}(\gamma) = \frac{100}{\pi} \left[4 \frac{\gamma - \gamma_r \cdot \ln\left(\frac{\gamma + \gamma_r}{\gamma_r}\right)}{\frac{\gamma^2}{\gamma + \gamma_r}} - 2 \right] \quad (3.8)$$

$$D_{M,\alpha}(\gamma) = c_1(D_{M,\alpha=1}) + c_2(D_{M,\alpha=1})^2 + c_3(D_{M,\alpha=1})^3 \quad (3.9)$$

$$c_1 = 0.2523 + 1.8618 \cdot \alpha - 1.1143 \cdot \alpha^2 \quad (3.10)$$

$$c_2 = -0.0095 - 0.0710 \cdot \alpha + 0.0805 \cdot \alpha^2 \quad (3.11)$$

$$c_3 = 0.0003 + 0.0002 \cdot \alpha - 0.0005 \cdot \alpha^2 \quad (3.12)$$

$$D(\gamma) = D_{\min} + b \cdot D_{M,\alpha}(\gamma) \cdot \left(\frac{G(\gamma)}{G_{\max}}\right)^{0.1} \quad (3.13)$$

$$D_{\min} = (\phi_6 + \phi_7 \cdot PI \cdot OCR^{\phi_8}) \cdot \sigma_0^{\phi_9} \cdot (1 + \phi_{10} \cdot \ln(\text{freq})) \quad (3.14)$$

$$b = \phi_{11} + \phi_{12} \cdot \ln(N) \quad (3.15)$$

$$\phi_6 = 0.8005, \phi_7 = 0.0129, \phi_8 = -0.1069, \phi_9 = -0.2889 \quad (3.16)$$

$$\phi_{10} = 0.2919, \phi_{11} = 0.6329, \phi_{12} = -0.0057 \quad (3.17)$$

Çalışma alanına özel sönümlenme ve azalım eğrileri oluşturulurken, her derinlik laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin parametre değerleri kullanılarak efektif gerilme değerleri tek tek hesaplanarak zemin büyütme analizleri yapılmıştır.

Ancak, çalışma bölgesi taban kayasının alt sınıra oranla çok daha derinlerde olmasından dolayı tabakalı zemin modelinde TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfı ZD olan zeminlerde, son tabakanın zemin parametreleri anakayaya tanımlanarak analizler yapılmıştır. Bu durumda deprem etkisi, taban kayası yerine bu tabakanın üstünde tanımlanacak ve yönetmeliğe göre tasarım deprem yer hareketini tanımlayan spektral büyüklükler ZD yerel sınıfı için verilen yerel zemin etki katsayıları gözönüne alınarak büyütülmüştür. Bu tabaka ve altındaki zemin ortamı, tek boyutlu zemin profili modelinde uygun geçirgen sınır koşulu kullanılarak idealleştirilmiştir. Analizin hassasiyeti bakımından zemin tabakaları her 1,5 m için alt tabakalara ayrılarak analizler yapılmıştır.

3.5.2 Sıvılaşma Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Bir zemin profilinde aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesi ile birlikte zeminde sıvılaşma potansiyelinin artmasına yol açabilmektedir. DeepSoil programında sıvılaşma analizi, Doğrusal olmayan analiz yöntemiyle General Quadratic Model (GQ/H) formülasyonu kullanılmıştır. Uygun olan modeller seçilip parametreler hesaplanarak her bir sondaj kuyusu için programa veriler girilerek daha önce belirlenen deprem kayıtlarına göre analizleri yapılmıştır. Bir boyutlu tepki analizlerinde aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesinin modellenmesi için inceleme alanından elde edilen

sonuçlara ve laboratuvar deneylerine bağlı olarak ön görülmüş olan model ve parametreler çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7 Aşırı boşluk suyu basıncı oluşum model ve parametreleri (Hashash vd. 2016).

Model Adı	Zemin Tipi	Model	Parametreler						
			1	2	3	4	5	6	7
Dobry & Matasovic	Kum	1	f	P	F	S	γ_{tvp}	v	-
Matasovic & Vucetic	Kil	2	s	R	A	B	C	D	γ_{tvp}
GMP	Kohezyonsuz	3	α	D_r (%)	FC (%)	-	-	v	-
Park & Ahn	Kum	4	α	B	$D_{ru=1}$	CSR_t	-	v	-
Generalized	Genel	5	α	B	-	-	-	v	-

Sıvılaşma analizi için DeepSoil programı içerisinde 5 farklı model bulunmaktadır. Çalışma alanının zemin profiline uygun olan model seçilerek analiz işlemleri gerçekleştirilmektedir. Program kapsamında zemin çökeline meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının yayılması ve tekrardan dağılması, zeminin iç ve dış tabakalarındaki suyun akış hızı ve belirli bir süre zarfındaki boşluk suyu basıncı oranına bağlı olarak analizler gerçekleştirilmektedir.

Hashash (2009), boşluk suyu basıncının yayılması ve tekrardan dağılması modelinde konsolidasyon oranını (c_v) dikkate almıştır. Bir deprem etkisi esnasında aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesi, yayılması ve tekrardan dağılması eş zamanlı olarak oluşmaktadır. Bir boyutlu analizler, aşırı boşluk suyu basıncı yayılımının sadece dikey doğrultuda meydana geldiği tahmin edilerek gerçekleştirilmektedir. Aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesi ve yayılması analizi için; “İmpermeable” veya “Permeable” değişkenleri kullanılarak, zemin profilinin altından suyun geçip geçmeyeceğine karar verilmekte ve bu şekilde de boşluk suyu basıncı yayılımı sınırlandırılabilir (Hashash vd. 2016).

Çalışma alanının zemin profilini kum, silt ve kil oluşturduğundan dolayı siltli kumlu zeminler için 1 nolu model olan Dobry & Matasovic, siltli killi zeminler için ise 2 nolu model olan Matasovic & Vucetic modelleri sıvılaşma analizleri için tercih edilmiştir.

Dobry/Matasovic Modeli dikkate alındığında, aşırı boşluk suyu basıncının meydana gelmesi için, Matasovic ve Vucetic (1993, 1995) çalışmalarına göre kum zeminler için önerilen Eşitlik 3.20 kullanılmaktadır. Bu eşitlikte bulunan değişkenlere ilişkin tanımlar Çizelge 3.8’de verilmiştir.

$$u_N = \frac{p * f * N_c * F * (\gamma_C - \gamma_{tvp})^S}{1 + f * N_c * F * (\gamma_C - \gamma_{tvp})^S} \quad (3.20)$$

Çizelge 3.8 Dobry / Matasovic model parametrelerinin tanımları.

Değişkenler	Açıklamalar
u_N	Normalleştirilmiş aşırı boşluk suyu basıncıdır ($r_u = u'/\sigma'_v$).
N_{eq}	Eşdeğer döngü sayısıdır.
γ_C	Geçerli ters kayma birim deformasyonudur.
γ_{tvp}	Eşik kayma birim deformasyon değeridir.
P	Eğri ayarlama parametresidir. Farklı tip ve bağlı yoğunluklu kumlar için $1 \pm \% 7.1$ arasında değer almaktadır. Laboratuvar verileri bulunmadığında, genellikle $p = 1$ olarak kabul edilmektedir.
S	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. $s = (FC + 1)^{0.1252}$ (FC , yüzde olarak ince tane oranıdır.) (Carlton, 2014)
F	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. $F = 3810 * V_s^{(-1.55)}$ (V_s , m/s cinsinden kayma dalga hızıdır.) (Carlton, 2014)
F	Boyutluluk faktörüdür. Bir boyutlu hareket için $f=1$, iki boyutlu hareket için $f=2$ alınmaktadır.
V	İndirgeme parametresidir.

Matasovic ve Vucetic (1995) model parametreleri için, killerde aşırı boşluk suyu basıncı meydana gelebilmesi için Eşitlik 3.21 ile ifade edilen eşitliği önermişlerdir. Bu eşitlikteki parametrelere ilişkin tanımlar Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Bu çizelgeye göre, OCR ifadesi aşırı konsolidasyon oranını ve PI plastisite indeksini tanımlamaktadır.

$$u_N = AN_C^{-3S(\gamma_C - \gamma_{tvp})^r} + BN_C^{-2S(\gamma_C - \gamma_{tvp})^r} + CN_C^{-S(\gamma_C - \gamma_{tvp})^r} + D \quad (3.21)$$

Çizelge 3.9 Matasovic ve Vucetic model parametrelerinin tanımları.

Değişkenler	Açıklamalar
u_N	Normalleştirilmiş aşırı boşluk suyu basıncıdır ($r_u = u'/\sigma'_v$).
N_{eq}	Eşdeğer döngü sayısıdır.
γ_c	Geçerli ters kayma birim deformasyonudur.
γ_{tvp}	Eşik kayma birim deformasyon değeridir.
R	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. $r = 0.7911 \times PI^{-0.113} \times OCR^{-0.147}$ (Carlton, 2014).
S	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. $s = 1.6374 \times PI^{-0.802} \times OCR^{-0.417}$ (Carlton, 2014).
A	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. (Carlton, 2014) $A = \begin{cases} OCR < 1.1 \text{ için } 7.6451 \\ OCR \geq 1.1 \text{ için } 15.641 \times OCR^{-0.242} \end{cases}$
B	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. (Carlton, 2014) $B = \begin{cases} OCR < 1.1 \text{ için } -14.714 \\ OCR \geq 1.1 \text{ için } -33.691 \times OCR^{-0.33} \end{cases}$
C	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. (Carlton, 2014) $C = \begin{cases} OCR < 1.1 \text{ için } 6.38 \\ OCR \geq 1.1 \text{ için } 21.45 \times OCR^{-0.468} \end{cases}$
D	Eğri ayarlama parametresidir. Aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir. (Carlton, 2014) $D = \begin{cases} OCR < 1.1 \text{ için } 0.6922 \\ OCR \geq 1.1 \text{ için } -3.4708 \times OCR^{-0.857} \end{cases}$

Doğrusal ve doğrusal olmayan genel zemin özelliklerinin sayısal modellemesi için bir boyutlu, iki boyutlu veya üç boyutlu ileri yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. ZD, ZE veya ZF grubuna giren, sürekli bir tabaka veya kalın mercerler halinde bulunan ve yönetmeliğe göre tanımlanan durumlar dışındaki kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyeli'nin bulunup bulunmadığının, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve analiz sonuçlarının hassas bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

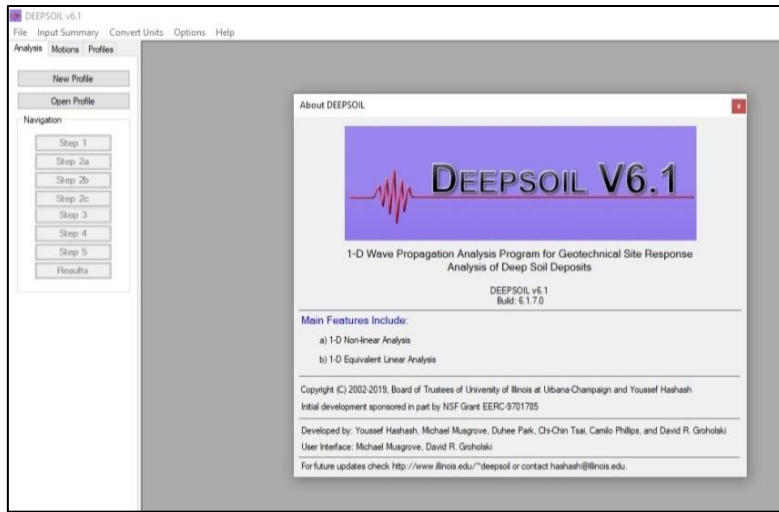
ZD ve bazı bölgelerinde ZE yerel zemin sınıfına sahip çalışma bölgesinin zemin davranış analizleri için bir boyutlu olarak; yönetmeliğe göre sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılmayacağı için sıvılaşma analizleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

3.5.3 Analiz Programının Genel İşleyişi

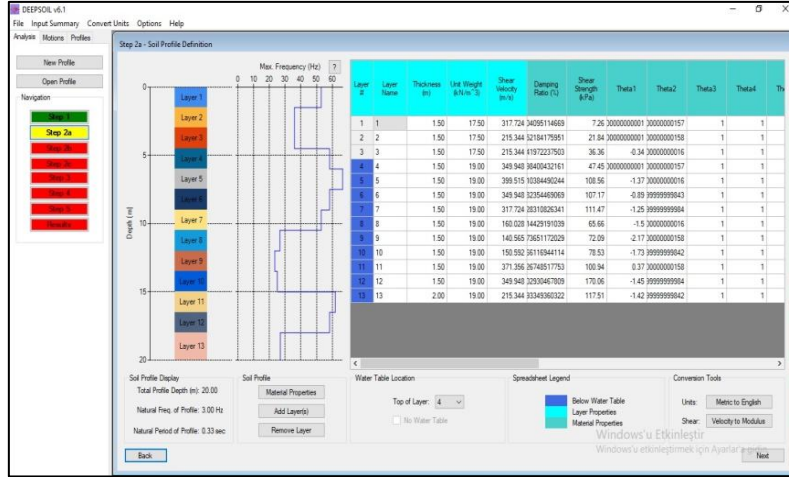
Bir boyutlu dinamik davranış analizleri DeepSoil programı kullanılarak her bir kesit üzerinde arazi topoğrafyası ve formasyonlar göz önünde bulundurularak seçilen noktalarda yapılabilmektedir. Bu noktalar için, zemin profili, tabaka kalınlıkları ve malzeme parametreleri tanımlanarak analizler yapılmaktadır.

Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi (<http://kyhdata.deprem.gov.tr>) ivme dosyaları bölümünden ana kaya seviyesi için hedef spektrumla ölçeklendirilmiş toplam 11 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Her sondaj kuyusu için belirlenen zemin profilleri ve deprem kayıtları, DeepSoil v6.1 programında zemin büyütme ve sıvılaşma analizlerinde giriş parametreleri olarak kullanılmıştır.

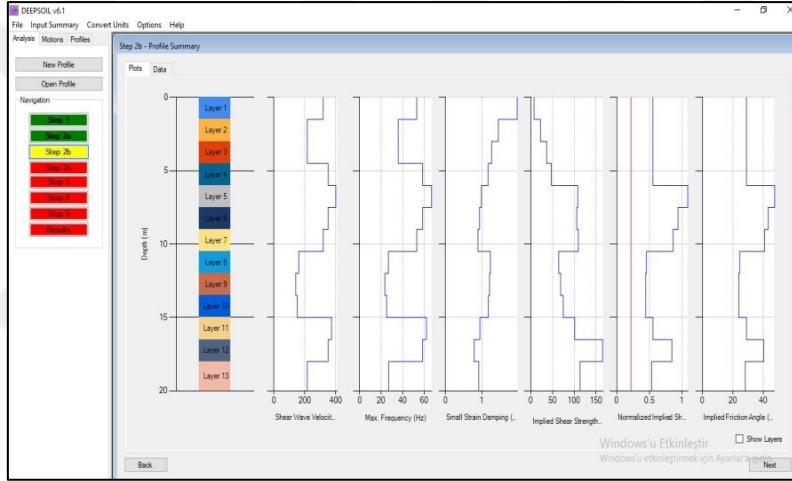
Her bir sondaj kuyusu, ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ile analiz edilip ortalama değerleri alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Tez çalışmasında analizler için kullanılan program DeepSoil (Şekil 3.8), Zemin profili parametrelerinin girişi (Şekil 3.9), Oluşturulan zemin profili (Şekil 3.10), Dinamik analiz işlemlerinde kullanılan deprem kayıtları (Şekil 3.11)'de gösterilmiştir (Hashash 2016).



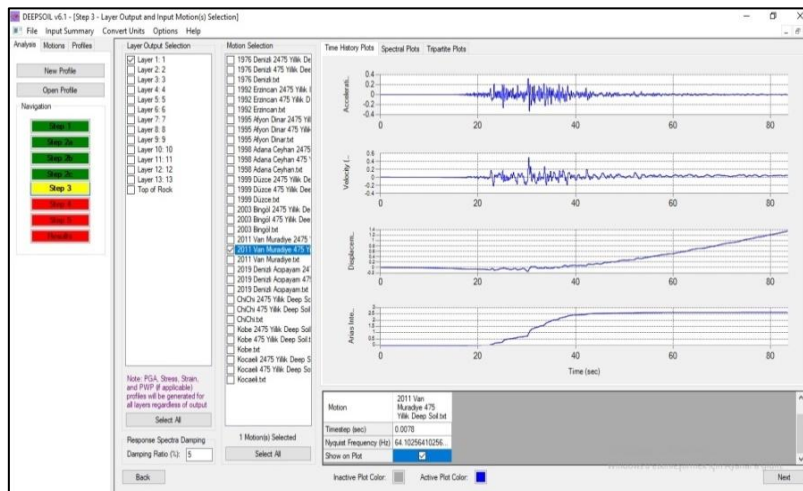
Şekil 3.8 Analizlerde kullanılan bir boyutlu (1-D) program.



Şekil 3.9 Zemin profili parametrelerinin girişi.



Şekil 3.10 Oluşturulan zemin profilinin genel görünümü.

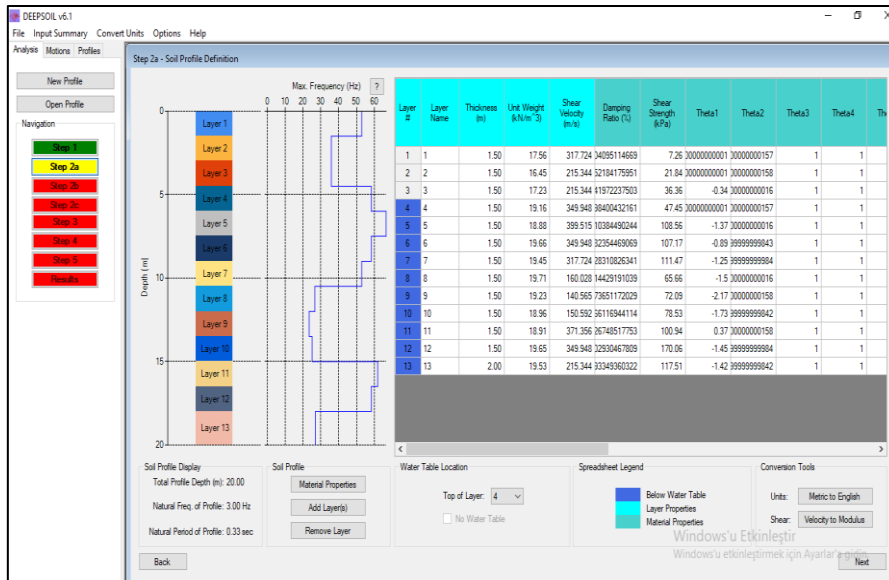


Şekil 3.11 Analizler için kullanılan deprem kayıtları.

3.6 Örnek Zemin Profiline Belirlenmesi ve Analiz Uygulamaları

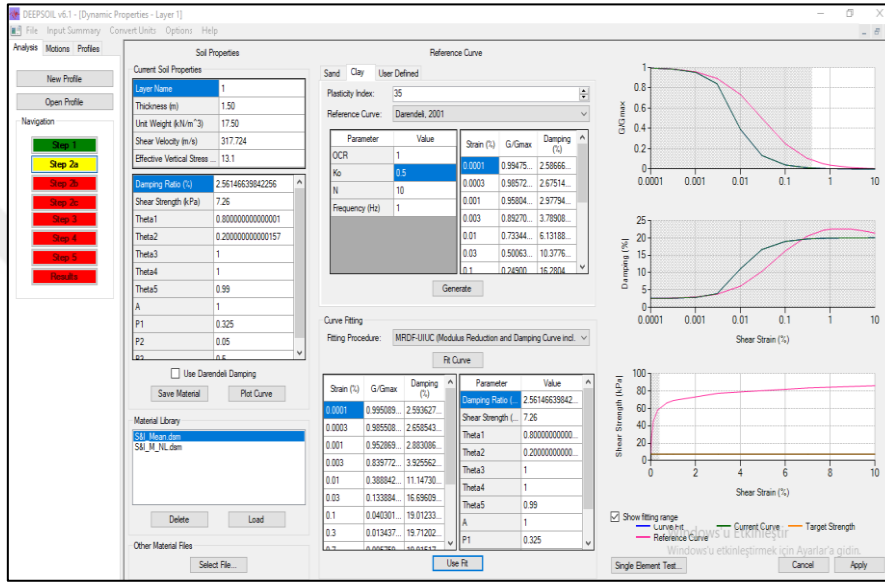
Zemin profilinin belirlenmesi ve sondaj datalarının programa girilmesi bu aşamada gerçekleşmektedir. Bu bölümde, seçilen analiz türüne göre açıklayıcı ve destekleyici tanımlar yer almaktadır. Bu tanımlar, analizlerin gerçekleşmesi esnasında analiz modeline ait verilerin hızlı bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır. Bu aşamada, zemin profilinin detayları oluşturulmakta ve birden fazla zemin tabakasına ait dinamik zemin özellikleri tanımlanmaktadır (Şekil 3.12).

Programda veri giriş sütununun sol tarafında zemin profilinin detaylı bir görüntüsü bulunmaktadır. Sağ kısımda ise zemin profilinin oluşturulması için ihtiyacımız olan değişkenlerin girildiği tablo bulunmaktadır. Analizin ilk aşamasında zemin büyütme analiz modeline göre, tabakalara ait zemin özelliklerinin sağ taraftaki tabloya girilmesi gerekmektedir. Sıvılaşma analiz yapmak için de ilk aşamada boşluk suyu basıncı oluşumunun seçilmesi halinde, Zemin profiline uygun olarak detaylandırılacak olan aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modeline ait değişkenler hesaplanarak (Çizelge 3.7) yine ekranın sağında bulunan tabloya araştırmacı tarafından programa girilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.12 Zemin profilinin programa tanımlanması.

Detaylı zemin profilini oluşturan tabakalara ait zemin tasarım eğrilerinin oluşturulabilmesi için “Soil Properties” düğmesi kullanılmaktadır. Tablodan istenilen seviyedeki zemin tabakası seçildikten sonra “Soil Properties” sekmesi tıklanarak Şekil 3.13’deki “Soil Properties” penceresi açılmaktadır. Zemin profili oluşturulma aşamasında, yeni bir zemin tabakası tanımlamak için “Add Layer (s)” ve mevcut bir tabakayı kaldırmak için de “Remove Layer” sekmeleri yer almaktadır.



Şekil 3.13 Zemin özelliklerinin girilmesi, G/G_{max} ve sönüm değerlerinin tanımlanması.

Seçilen zemin tabakasına istenilen zemin özelliklerini girerek, istenilen zemin tabakasına ait sönümleme, modül azalım ve kayma mukavemeti eğrilerinin belirlenmesi için ilk etapta “Reference Curve” bölümünden sönüm ve G/G_{max} değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Sonraki aşamada ise, kullanıcı “User Defined” kısmına G/G_{max} ve sönüm değerlerinin bizzat girilebilirken aynı zamanda “Sand” ve “Clay” kısmında bulunan ve farklı araştırmacılar tarafından kil ve kumlar için önerilen modeller de kullanılabilir.

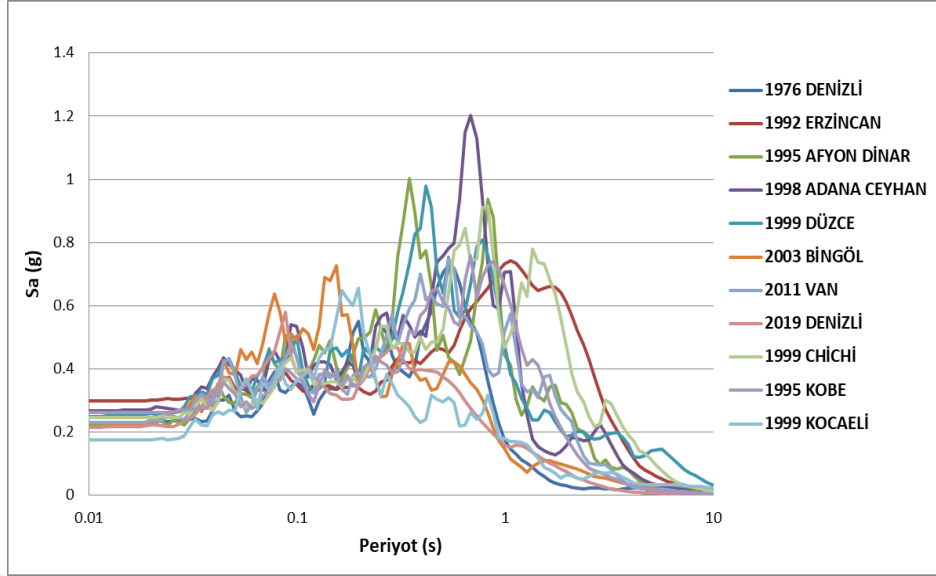
Örnek teşkil etmesi açısından ekranda görülen “Layer name 1” zemin tabakasının kil olduğunu varsayarak, bu derinlikteki tabaka için Darendeli (2001) araştırmacısının modeli seçilmiş ve bu model için gerekli olan parametrelerin değerleri Şekil 3.13’de gösterildiği üzere analiz ekranına kaydedilmiştir. Diğer aşamada ise, önce “Generate”

sonra da “Use Points” sekmeleri tıklanarak Şekil 3.13’de gösterilmiş olan zemin tasarım eğrileri oluşturulmuştur. Son aşamada ise, “Apply” sekmesini uygulayarak, verileri girilen zemin tabakası için tasarım eğrileri analizde kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Yine aynı bölümde, “Top of Layer” sekmesinden seçilen zemin tabakası için, yer altı su seviyesi tanımlanarak hangi tabakadan itibaren analize başlayacağı kontrol edilebilmektedir. Eğer zemin profilini oluşturan tabakalarının hepsi yer altı su seviyesinin üstünde bulunuyorsa, bu durumda ekran sekmesinde görüldüğü gibi “No Water Table” sekmesi mutlaka işaretlenmelidir.

3.6.1 Zemin Büyütme Analizi Örnek Uygulamaları

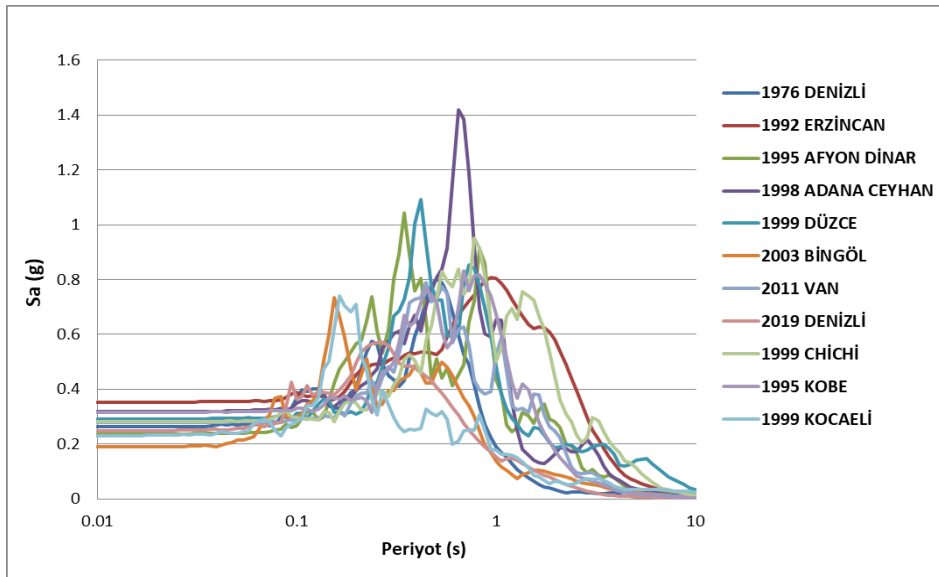
Çalışma bölgesinden elde edilen test sonuçlarına bağlı olarak hedef spektrumla ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanılarak örnek bir sondajın doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal analizleri yapılmıştır. Seçilen bu deprem kayıtları tüm sondaj kuyusunda doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal analizleri yapılarak zemin profilleri üzerinde DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 yer hareketlerinin anakaya ivme spektrumları ile birlikte analizler sonucunda belirlenmiş olan yüzey ivme spektrumları oranlanarak zemin büyütme oranları belirlenmiştir.

Örnek olması açısından aradaki farkı görebilmek için, SK-62 zemin profili üzerinde DeepSoil programı kullanılarak doğrusal olmayan (Şekil 3.14) ve eşdeğer doğrusal (Şekil 3.15) olarak DD-2’ye göre gerçekleştirilen zemin büyütme analizinin sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.14 DD-2'ye göre SK62 örnek zemin profili için doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yüzeyde elde edilen spektral ivme değerlerinin değişimi.

Deprem yer hareketi DD-2'ye göre SK62 örnek zemin profilinin doğrusal olmayan zemin büyütme analizi Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Doğrusal olmayan analiz yönteminde 0,02 saniyeye kadar, 0,17 ile 0,3g arasında doğrusal olarak devam ederken sonrasındaki deprem hareketleri neticesinde 1,2g ile maksimum ivmeye 0,68 saniyede ulaştığı görülmektedir. Zemin hakim periyodu ise 0,68 sn olarak tespit edilmiştir.



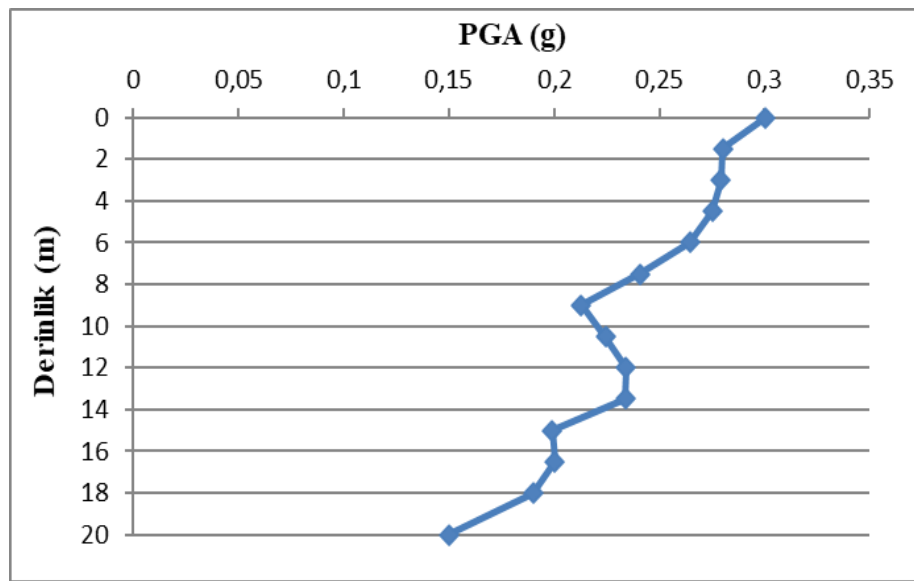
Şekil 3.15 DD-2'ye göre SK62 örnek zemin profili için eşdeğer doğrusal analiz yöntemi ile yüzeyde elde edilen spektral ivme değerlerinin değişimi.

Deprem yer hareketi DD-2'ye göre SK62 örnek zemin profilinin eşdeğer doğrusal zemin büyütme analizi Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Eşdeğer doğrusal analiz yönteminde 0,05 saniyeye kadar, 0,18 ile 0,35g arasında doğrusal olarak devam ederken sonrasındaki deprem hareketleri neticesinde 1,41g ile maksimum ivmeye 0,64 saniyede ulaştığı görülmektedir. Zemin hakim periyodu ise 0,64 sn olarak tespit edilmiştir.

Mühendislik uygulamalarında tepki spektrumu, deprem esnasında zeminin dinamik özelliklerini yansıtan ve yapıların tasarımı için gereken bir parametredir. Tepki spektrumları değerlendirildiğinde doğrusal olmayan analizde 0,68 saniyede 1,2g ile maksimum değere ulaştığı görülürken eşdeğer analiz yönteminde 0,64 saniyede 1,41g'ye ulaştığı görülmektedir. Yüksek periyotlarda zemin davranışları benzerlik gösterirken, pik değerlerinin farklı periyot ve büyüklükte olduğu açıkça görülmektedir.

3.6.1.1 Zemin Büyütme Analizi Örnek Program Çıktıları

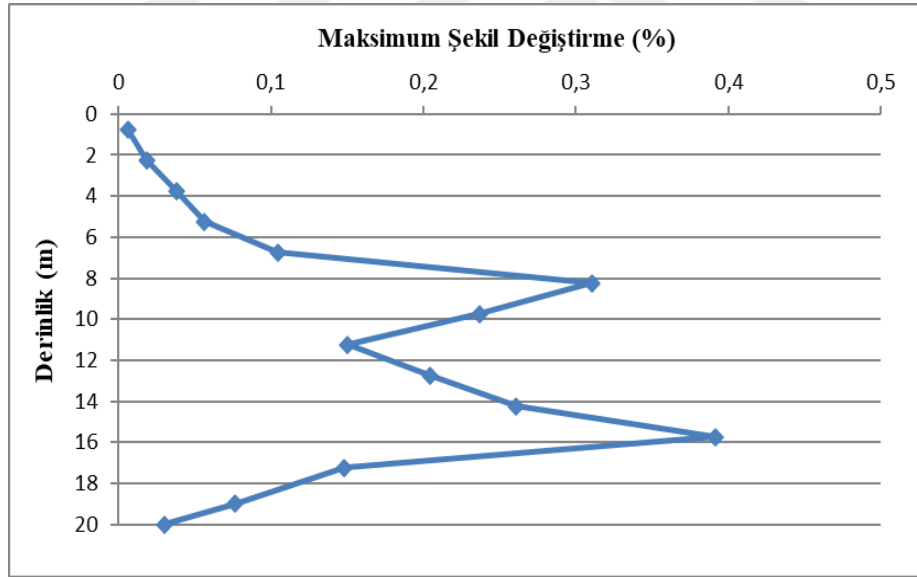
Çalışmada kullanılan tüm sondaj profillerinin zemin mühendislik özellikleri ve değerleri programa girilerek eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Zemin büyütme analizi için, örnek olarak SK-62 zemin profilinin analizi yapılmış ve analizlere bağlı olarak program aşağıda gösterilen doğrusal olmayan analiz çıktıları vermektedir. Analiz sonuçları 11 deprem kaydının ortalaması dikkate alınarak verilmiştir.



Şekil 3.16 PGA değerlerinin derinlikle değişimi.

Zemin büyütme analiz sonucuna göre Şekil 3.16'ya baktığımızda örnek SK-62 zemin profilinin 20 m'deki deprem ivmesi 0,14g iken yüzeye doğru büyüyerek ivmenin 0,3g olduğu görülmektedir. Deprem ve zemin etkisiyle tabandan yüzeye ivmenin büyüme oranı yaklaşık olarak %100 artmıştır.

Analiz sonucuna göre programdan elde edilen sonuçlardan birisi de SK-62 örnek zemin profili için derinliğe bağlı olarak maksimum şekil değiştirme grafiğidir. Şekil değiştirme oranı 20 m derinlikte %0,03 iken, yüzeyde ise %0,006 olarak tespit edilmiştir. Zemin profiline göre 8,00-16,00 m derinlikler arasında şekil değiştirme oranı %0,15 ve %0,39 değerleri arasında tespit edilmiştir. Çalışma bölgesinin genel zemin profili Şekil 3.3'e baktığımızda 0,00-7,50 m derinlik arasında kil zemin tabakasının etkisi olduğu görülürken, 7,50-18,00 m derinlik arasında kum zemin tabakasının etkisini ve sonrasında tekrar kil tabakasına bir geçişin olduğunu ve bu tabakaların şekil değiştirme oranına etkisini açıkça bir şekilde görmekteyiz (Şekil 3.17).

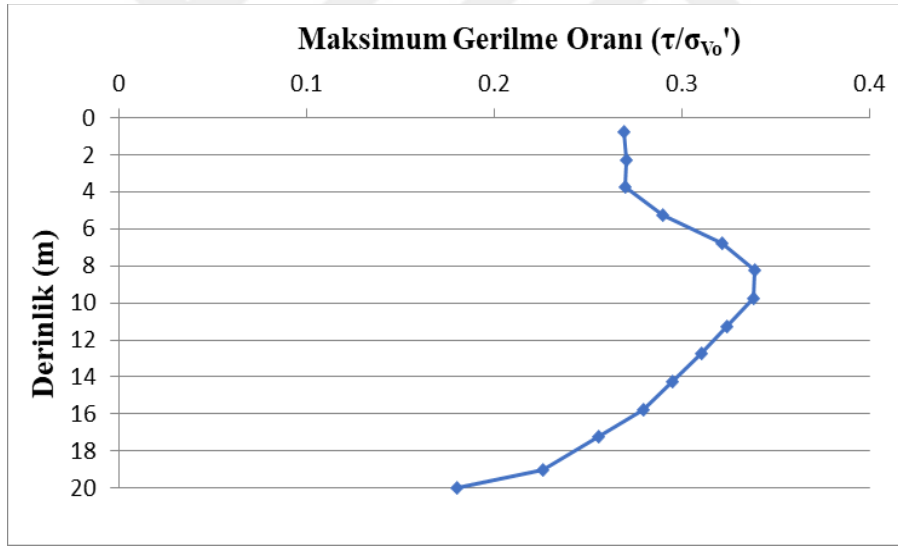


Şekil 3.17 Maksimum şekil değiştirme değerlerinin derinlikle değişimi.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre kayma birim şekil değiştirme oranının %1'i aşmaması koşulu ile doğrusal olmayan analizin yapılacağını belirtmiştir. Histeretik sönüm katsayılarının gerçekçi modellenmesi ancak doğrusal olmayan analiz yöntemiyle olmaktadır. Kaklamanos vd. (2013) ve Kim vd. (2013)'e göre kayma birim şekil

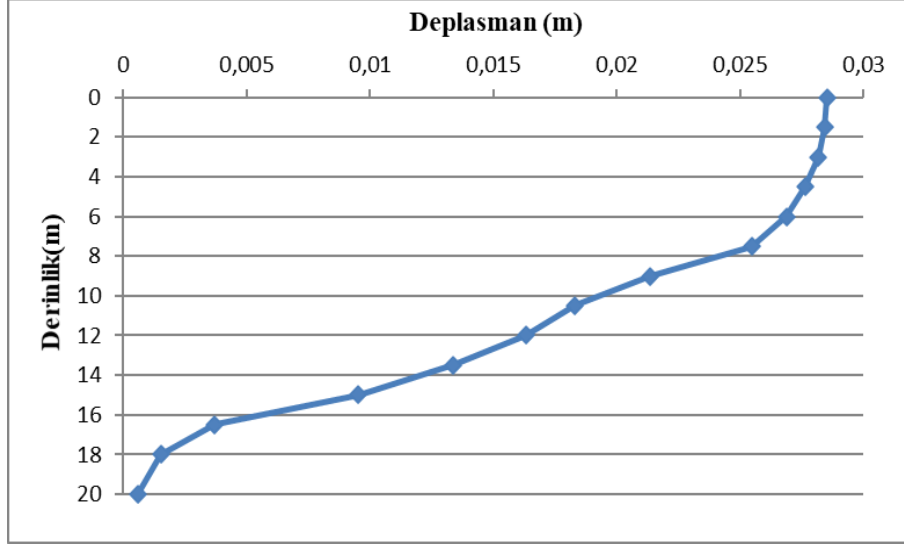
değiştirme oranı %0,1'den daha büyük ise doğrusal olmayan analiz, %1'den daha büyük ise eşdeğer doğrusal analiz yönteminin kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Program analiz sonuçlarından bir diğeri de, SK-62 örnek zemin profili için derinliğe bağlı olarak maksimum gerilme oranı grafiğidir. Genel zemin profili de dikkate alındığında 20 m derinlikten itibaren kil zeminde maksimum gerilme oranı 0,18 iken, kumlu zemine doğru hareketi esnasında gerilme oranı düzgün bir şekilde artış göstererek 8 m derinlikte 0,33 ile maksimum gerilme oranına ulaşmıştır. 8,00 m'den itibaren tekrar kil zemin tabakasına girmesi sonucunda gerilme oranında düzgün bir azalma görülmüş ve yüzeye ulaştığında ise maksimum gerilme oranı 0,26 olarak tespit edilmiştir. Netice itibari ile zemin profilinde gerilme oranında dalgalanma olmasına rağmen 20 m derinlikte maksimum gerilme oranı 0,18 iken, yüzeye ulaştığında yaklaşık %45'lik bir artışla maksimum gerilme oranı 0,26 olarak görülmüştür (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Maksimum gerilme oranı değerlerinin derinlikle değişimi.

Program analiz sonuçlarından son olarak, SK-62 örnek zemin profili için derinliğe bağlı olarak yer değiştirmenin grafiği görülmektedir. Deprem ve zemin profilinin etkisiyle, 20 m derinlikten itibaren zemin yüzeyine doğru ivmenin hareketi esnasında yüzeyde yaklaşık 3 cm'lik bir yer değiştirmenin olduğu görülmektedir. Genel zemin profilinin kumlu ve killi zemin tabaklarından oluşması yer değiştirmede etkili olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.19).



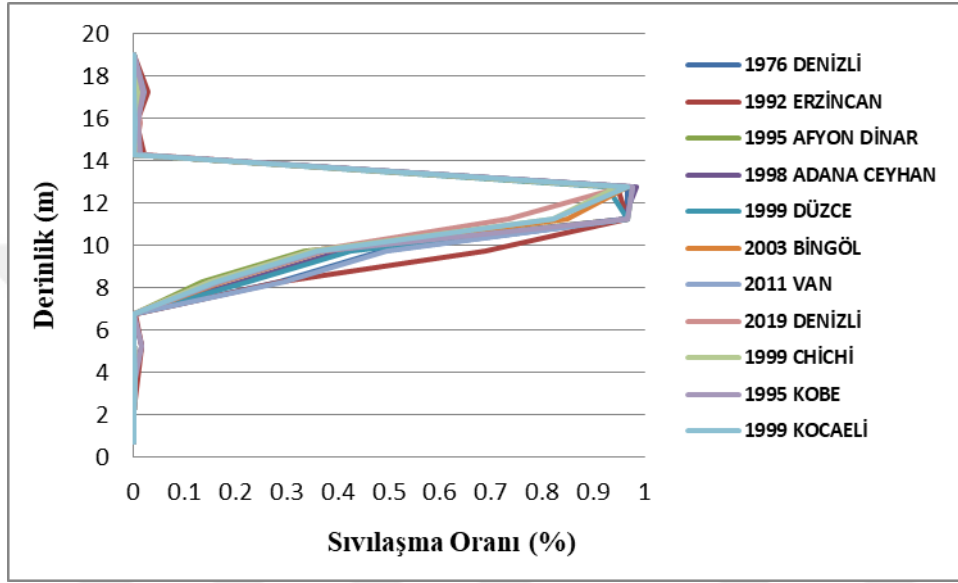
Şekil 3.19 Deplasman değerlerinin derinlikle değişimi.

3.6.2 Sıvılaşma Analizi Örnek Uygulaması

Sıvılaşabilir potansiyele sahip olan bir zeminde sıvılaşma meydana gelmesi için kuvvetli bir sarsıntıyla karşı karşıya kalması gerekmektedir. Sıvılaşma risk analizlerinde, depremin oluşturduğu yer hareketi etkisinin nasıl ve ne durumlarda dikkate alınacağı önemli bir husustur. Çevrimli yüklemelere maruz kalan zeminde, meydana gelen akma sıvılaşması ve efektif gerilme izi arasındaki ilişki sıvılaşma başlangıcı olarak değerlendirilmektedir.

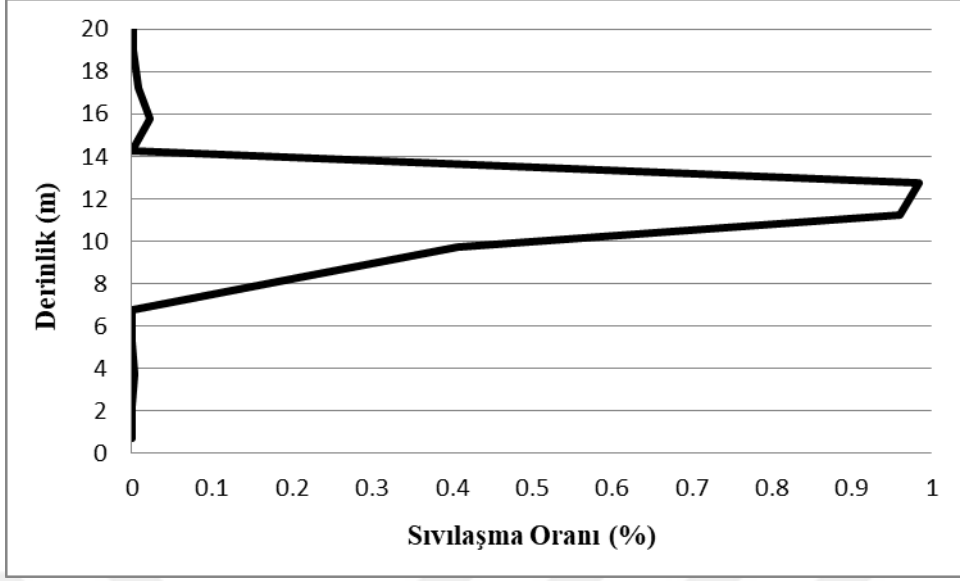
Zemin taneleri arasında meydana gelen boşluk suyu basınç artışları, deprem sırasında uygulanan çevrimli kayma gerilmelerinden kaynaklandığı için, sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için bu ikisi arasında bir ilişki kurmak yeterli olacaktır. Bu sebeplerden dolayı, deprem esnasında sıvılaşma direnci ve çevrimli gerilmelerin karşılaştırılması sıvılaşmaya karşı bir güvenlik sayısının hesaplanması mümkün olacaktır. Fakat deprem esnasında meydana gelen gelişigüzel çevrimli kayma gerilmeleri ile deneysel olarak arazi ve/veya laboratuvar deneyleri ile belirlenecek olan sıvılaşma direncinin karşılaştırılmasına olanak sağlayacak belirli bir modelin, yaklaşımın geliştirilmesi gerekmektedir (Özaydın 2007). Bu kapsamda DeepSoil programı, kabul gören ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen modeller aracılığıyla doğrusal olmayan analiz yöntemi ile kuyu bazında sıvılaşma analizi yapmaktadır.

Çalışmada kullanılan tüm sondaj profillerinin zemin mühendislik özellikleri ve parametreleri analiz programına girilerek doğrusal olmayan analiz yöntemi ile boşluk suyu basıncına bağlı olarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. Sıvılaşma analizi için, örnek olarak SK-62 zemin profilinin analizi yapılmış ve analizlere bağlı olarak program aşağıda gösterilen örnek sonucu vermiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre örnek sondaj kuyusunun sıvılaşma oranı değerlerinin derinlikle değişimi.

Yukarıda 11 deprem kaydı için verilen sıvılaşma oranı değerlerinin ortalaması alınarak derinlikle değişimi Şekil 3.21'de sunulmuştur. Şekil 3.21'e baktığımızda örnek SK-62 zemin profiline uygulanan ivmenin, zemin profili boyunca sıvılaşma riskini göstermektedir.



Şekil 3.21 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre örnek sondaj kuyusunun ortalama sıvılaşma oranı değerlerinin derinlikle değişimi.

Çalışma alanının genel zemin profili de dikkate alındığında 20 m derinlikten itibaren kil zeminde sıvılaşma oranı 0 iken, kumlu zemine doğru (8,00-14,00 m arası) yukarı doğru hareketi esnasında sıvılaşma riski oranı artmış ve (11,00-13,00 m arası) bu oran maksimum %96 olarak tespit edilmiştir. Genel zemin profiline göre 10,00 m'den itibaren ana kaya deprem ivmesinin tekrar kil zemin tabakasına girmesi sonucunda sıvılaşma riski oranında ani bir azalış görülerek %1 sıvılaşma oranına düştüğü görülmektedir.

4. BULGULAR

Çalışma alanının gerek zemin özellikleri gerekse de Akşehir-Simav Fay Sistemine yakın bir mesafede bulunması sebebiyle bölgede mevcut halde bulunan yapılar ve sürekli artan yapılaşmadan dolayı detaylı analizlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla çalışma bölgesinde 124 sondaj noktasında SPT testlerine ait sonuçlar kullanılarak yapılan zemin davranış analizleri sonucunda çalışma alanının zemin büyütmesi, sıvılaşma ve pik yer ivmesi değerleri bulunarak haritalandırılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre de çalışma alanının değerlendirilmesi yapılmıştır. Zemin büyütme analizi için doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal yöntemler kullanılarak her bir deprem yer hareketine göre analizleri yapılmıştır. Bu analiz yöntemlerine göre de çalışma alanının pik yer ivmesi değerleri hesaplanarak haritalandırılmıştır. Ayrıca analizlerden elde edilmiş olan zemin büyütme değerleri ile ampirik yöntemlerle bulunan zemin büyütme değerlerinin birbiri ile uyumu değerlendirilmiştir. Sıvılaşma analizi için de yönetmelikte belirtildiği şekilde doğrusal olmayan yöntem kullanılarak sonuçlar deprem yer hareketine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.1 Zemin Davranış Analizleri İle Belirlenen PGA Değerleri

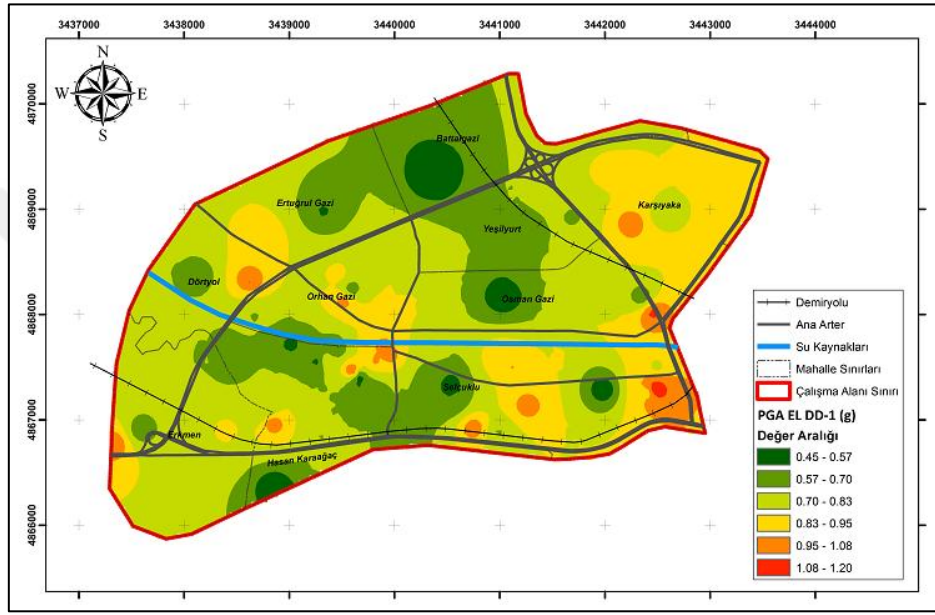
Yerel zemin şartlarıyla uyumlu bir deprem ivme spektrumu yani belirlenen en büyük pik ivme değeri ve periyodu dinamik yapı analizi için en yaygın kullanılan giriş parametresidir. Pik ivme değeri (PGA) jeolojik veriler yetersiz olduğu zaman yalnız başına zemin tanımlaması için yararlıdır. Bu amaçla çalışma bölgesinin eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile elde edilmiş olan PGA değerleri haritalandırılarak verilmiştir.

4.1.1 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle Belirlenen PGA Sonuçları

Bir boyutlu analiz yöntemlerinden olan eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılarak çalışma alanının pik yer ivmesi değerleri, deprem yer hareketlerine göre analizleri yapılarak haritaları aşağıda sunulmuştur.

4.1.1.1 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-1 PGA Sonuçları

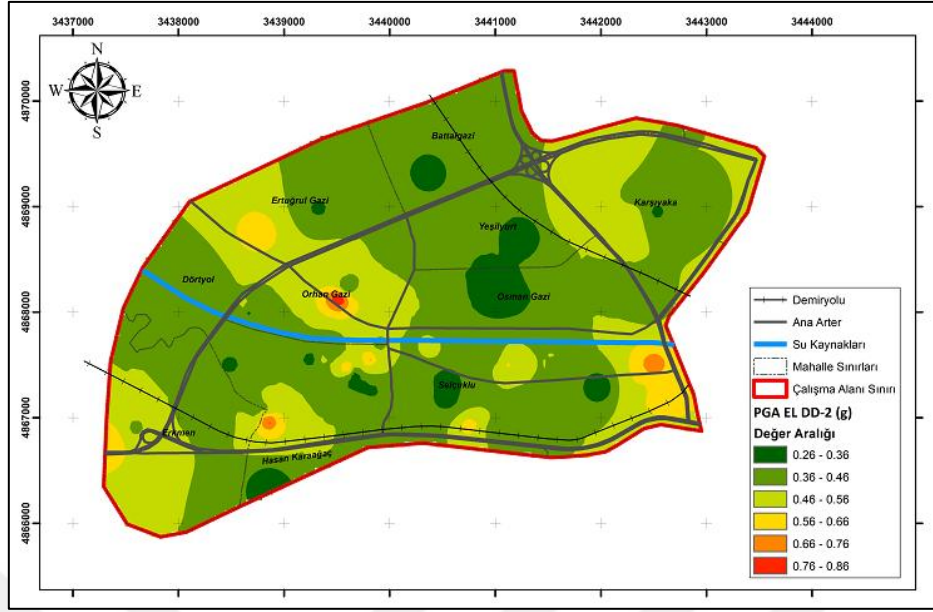
Çalışma alanının da zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.45-1.20 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değerleri Karşıyaka, Orhan Gazi, Dörtiyol, Hasan Karaağaç, Selçuklu ve Erkmen mahallerinin belirli bölgelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Çalışma bölgesi için DD-1'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.1.2 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-2 PGA Sonuçları

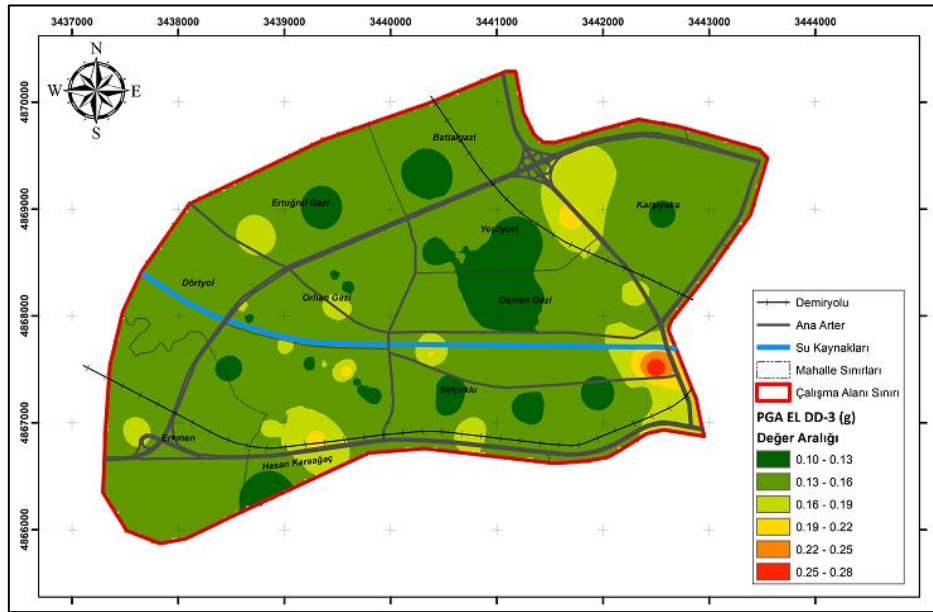
Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.26-0.86 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değerleri Orhan Gazi, Hasan Karaağaç, Selçuklu ve Erkmen mahallerinin belirli bölgelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Çalışma bölgesi için DD-2'ye göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.1.3 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-3 PGA Sonuçları

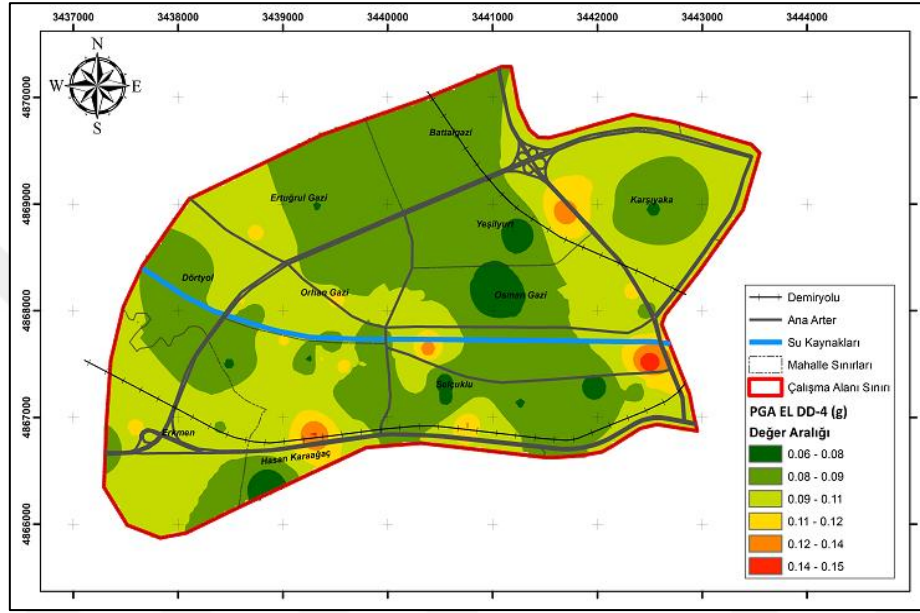
Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.10-0.28 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değeri Selçuklu mahallesinin belirli bir bölgesinde gözlenmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Çalışma bölgesi için DD-3'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.1.4 Eşdeğer Doğrusal Analiz Yöntemi İle DD-4 PGA Sonuçları

Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.06-0.15 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değerleri Selçuklu, Karşıyaka ve Hasan Karaağaç mahallerinin belirli bölgelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.4).



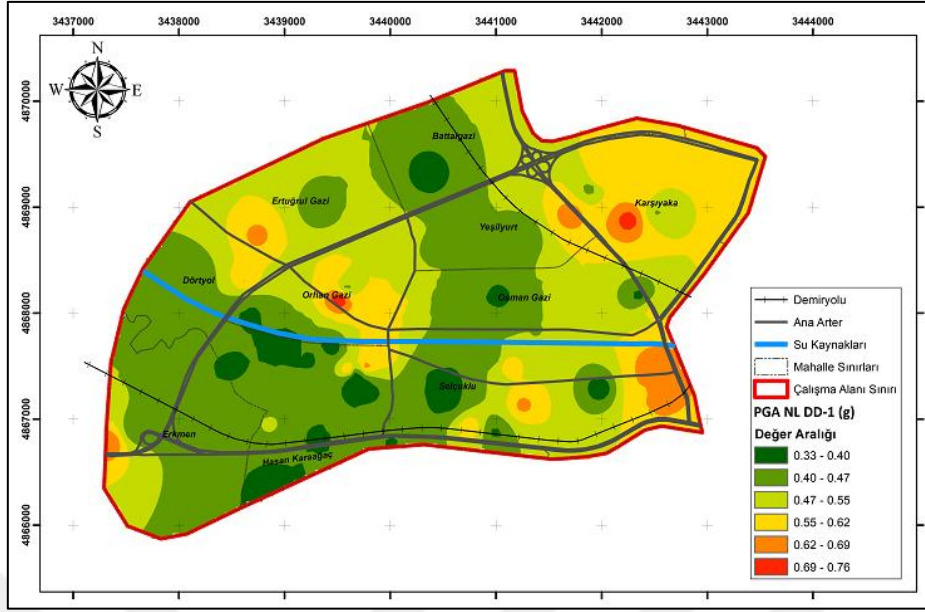
Şekil 4.4 Çalışma bölgesi için DD-4'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.2 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle Belirlenen PGA Sonuçları

Bir boyutlu analiz yöntemlerinden olan doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak çalışma alanının pik yer ivmesi değerleri, deprem yer hareketlerine göre analizleri yapılarak haritaları aşağıda sunulmuştur.

4.1.2.1 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-1 PGA Sonuçları

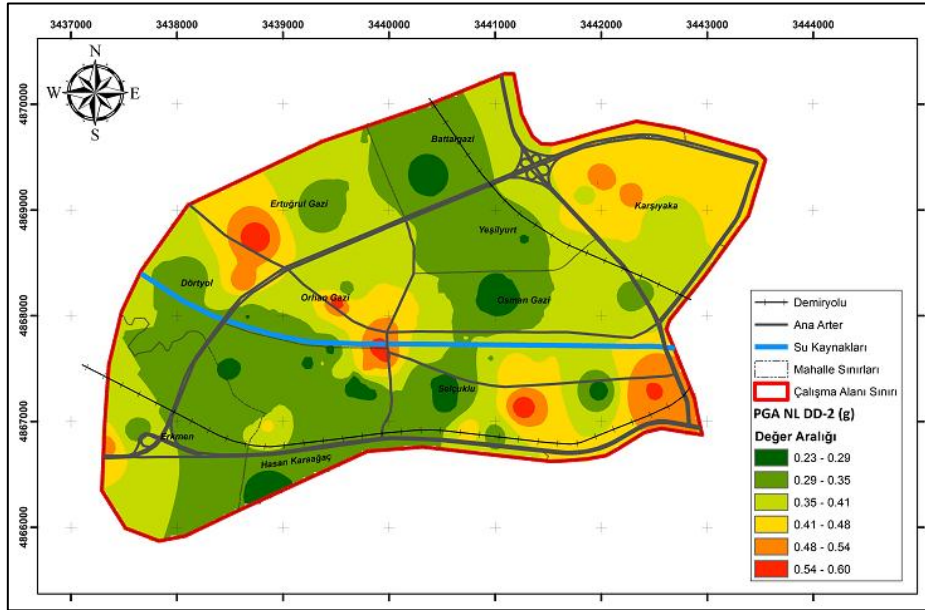
Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.33-0.76 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değerleri Selçuklu, Ermen, Karşıyaka, Orhan Gazi ve Ertuğrul Gazi mahallerinin belirli bölgelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Çalışma bölgesi için DD-1'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.2.2 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-2 PGA Sonuçları

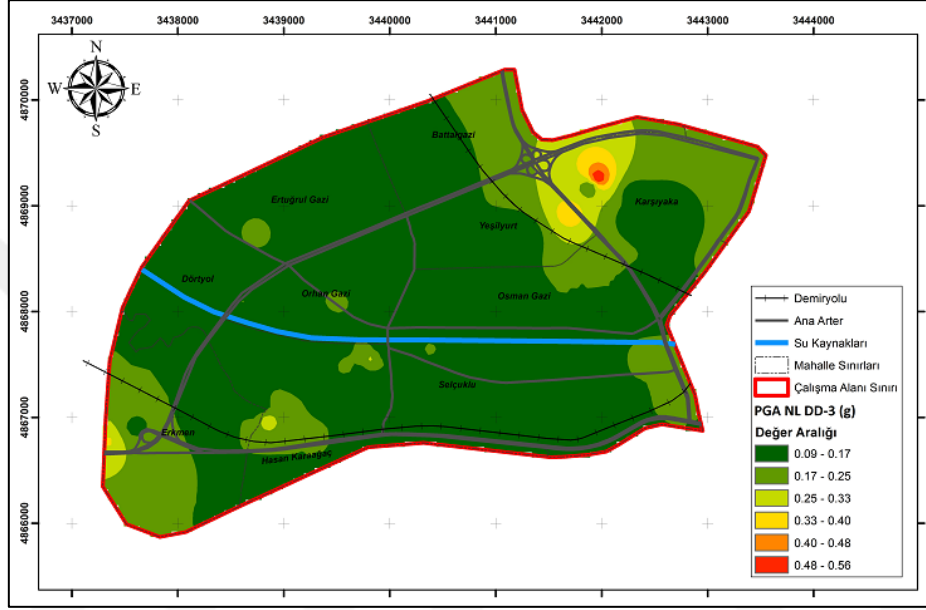
Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.23-0.60 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değerleri Selçuklu, Erkmen, Karşıyaka, Orhan Gazi ve Ertuğrul Gazi mahallerinin belirli bölgelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Çalışma bölgesi için DD-2'ye göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.2.3 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-3 PGA Sonuçları

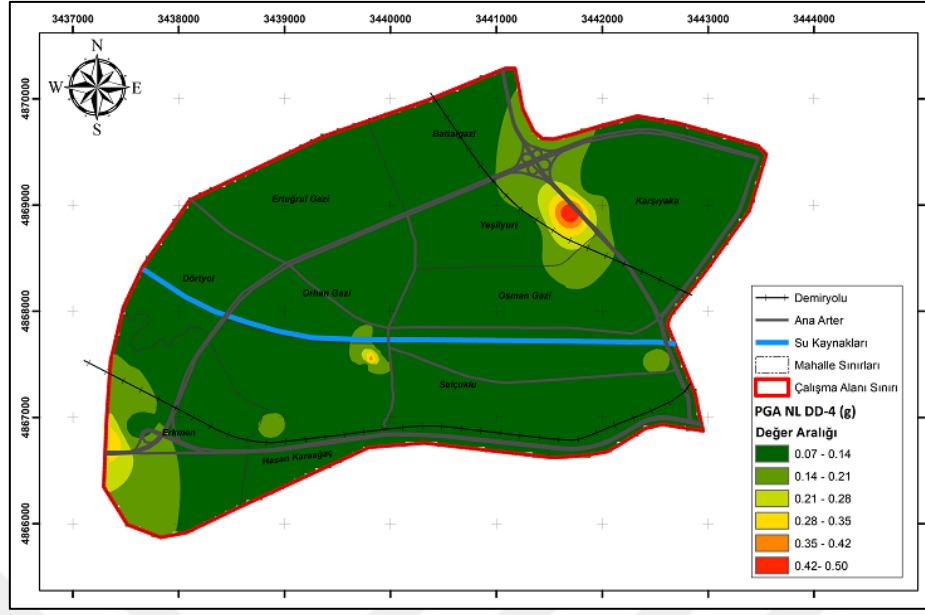
Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.09-0.56 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değeri Karşıyaka mahallesinin belirli bölgesinde gözlenmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Çalışma bölgesi için DD-3'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

4.1.2.4 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle DD-4 PGA Sonuçları

Çalışma alanında zemin davranış analizlerinden belirlenen PGA değerleri 0.07-0.50 g arasında değişmektedir ve yüksek PGA değeri Karşıyaka mahallesinin belirli bölgesinde gözlenmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Çalışma bölgesi için DD-4'e göre pik yer ivmesi (PGA) haritası.

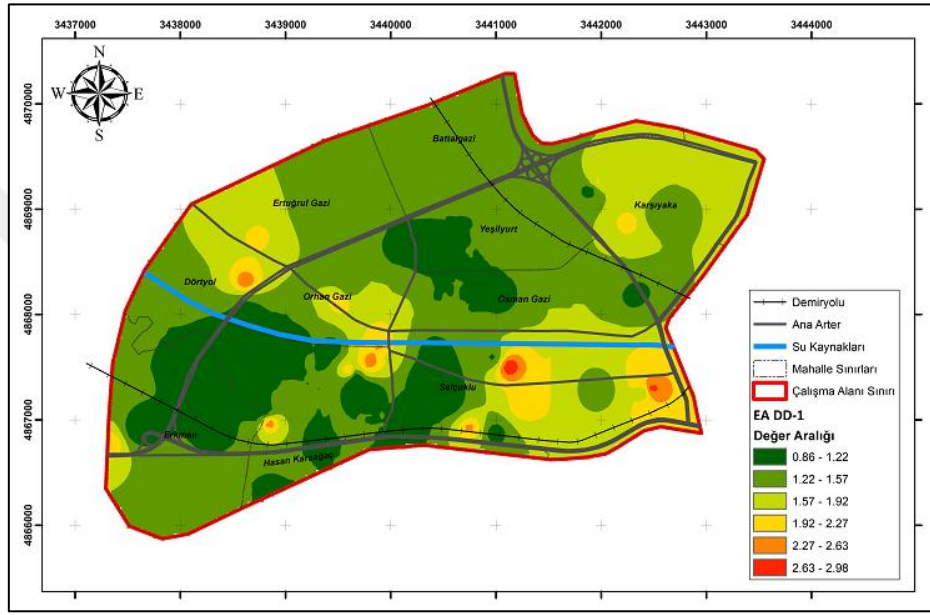
Elde edilen çalışmaların sonucuna göre, toplam gerilmeye bağlı olarak eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılan zemin yer tepki analizinde DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketlerinde maksimum PGA değerleri sırasıyla 1.20 ve 0.86 g tespit edilirken, efektif gerilmeye bağlı olarak doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanan zemin yer tepki analizinde PGA değerleri 0.76 ve 0.60 g olarak tespit edilmiştir. Eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılan zemin yer tepki analizinde DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketlerinde maksimum PGA değişimi sırasıyla 0.28 ve 0.15 g tespit edilirken, doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanan zemin yer tepki analizinde ise 0.56 ve 0.50 g olarak tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlara göre, kayma modülü sonuçlarına ve sönümleme oranına göre hesap yapabilmek için efektif gerilmenin esas alındığı doğrusal olmayan analiz yönteminin; özellikle de sert kıvamda olmayan veya yumuşak zeminlerde kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

4.2 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle Zemin Büyütme Analizi

Bir boyutlu analiz yöntemlerinden olan eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılarak çalışma alanının zemin büyütme değerleri, deprem yer hareketlerine göre analizleri yapılarak haritaları aşağıda sunulmuştur.

4.1.1 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-1'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-1 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.9 incelendiğinde eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 1.22 ile Erkmən ve Yeşilyurt mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 2.63 ile Selçuklu mahallesinde belirlenmiştir.



Şekil 4.9 Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

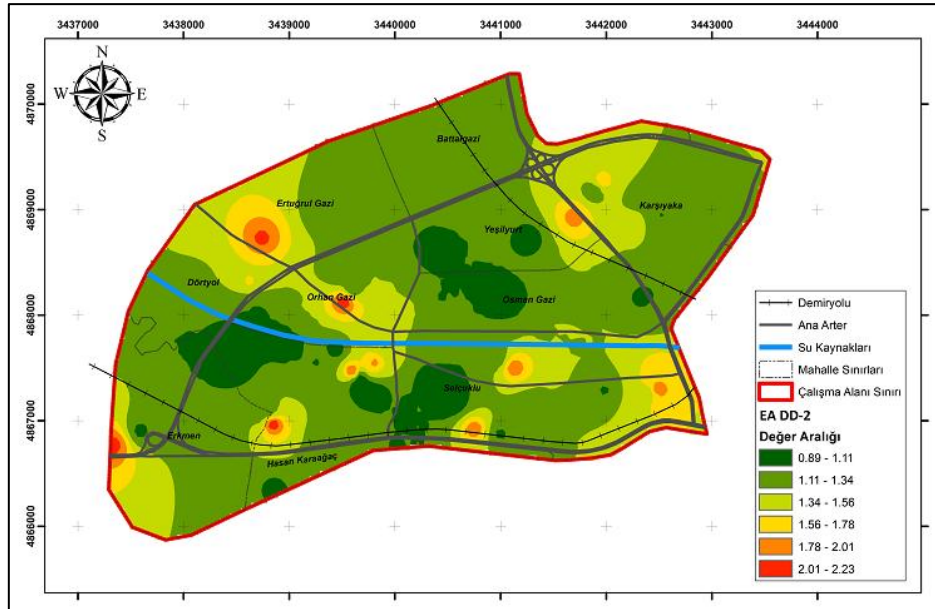
Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.1). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında eşdeğer doğrusal analize göre Selçuklu mahallesi B kategorisinde (orta tehlike), geriye kalan diğer mahalleler ise C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

Çizelge 4.1 Deprem yer hareketi DD-1'e göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.

Mahalle Adı	Eşdeğer Doğrusal Analiz
Erkmen	1.22
Hasan Karaağaç	1.32
Selçuklu	2.63
Osman Gazi	1.57
Karşıyaka	1.57
Yeşilyurt	1.22
Battal Gazi	1.57
Ertuğrul Gazi	1.57
Orhan Gazi	1.92
Dörtüyük	1.92

4.1.2 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-2'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-2 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.10 incelendiğinde eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 1.11 ile Yeşilyurt mahallesinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 2.15 ile Orhan Gazi ve Ertuğrul Gazi mahallesinde belirlenmiştir.



Şekil 4.10 Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

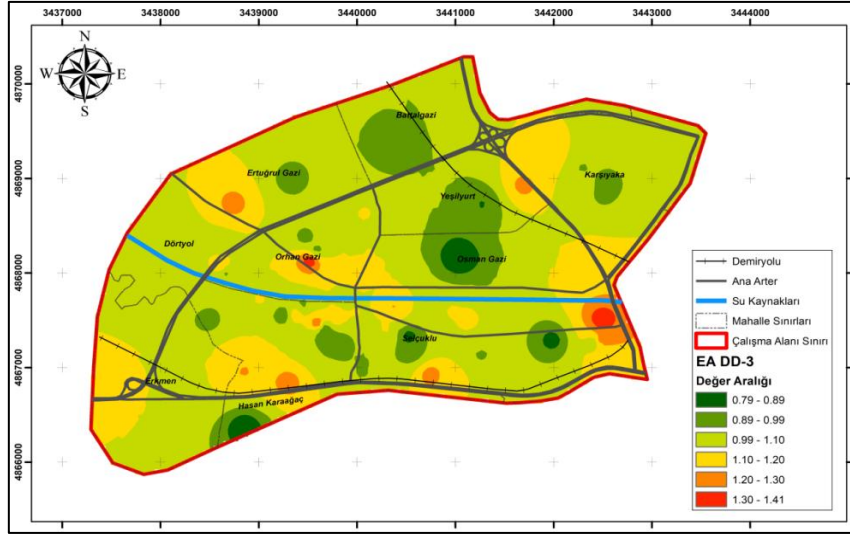
Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.2). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında eşdeğer doğrusal analize göre Orhan Gazi ve Ertuğrul Gazi mahalleleri B kategorisinde (orta tehlike), geriye kalan diğer mahalleler ise C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

Çizelge 4.2 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.

Mahalle Adı	Eşdeğer Doğrusal Analiz
Erkmen	1.34
Hasan Karaağaç	1.34
Selçuklu	1.56
Osman Gazi	1.34
Karşıyaka	1.34
Yeşilyurt	1.11
Battal Gazi	1.34
Ertuğrul Gazi	2.15
Orhan Gazi	2.15
Dört Yol	1.56

4.1.3 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-3'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-3 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.11 incelendiğinde eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 0.89 ile Osman Gazi mahallesinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.37 ile Orhan Gazi mahallesinde belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.3). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında eşdeğer doğrusal analize göre tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

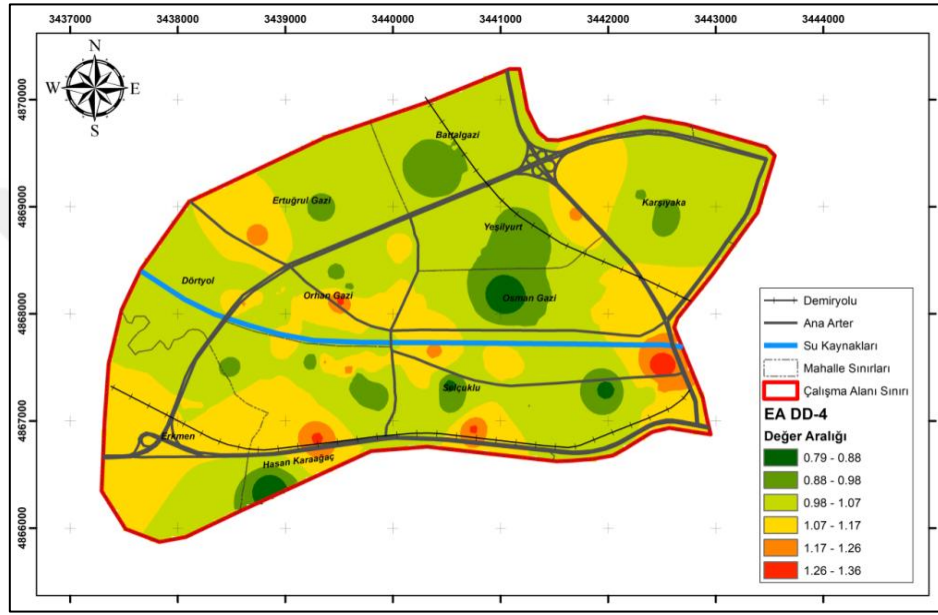
Bunun yanı sıra, Osman Gazi mahallesi civarının eşdeğer doğrusal analiz büyütme oranı, anakayaya verilen deprem kaydının bölge zemini tarafından yer hareketinin etkisinin büyümesi yerine, tam tersi olarak yer hareketinin etkisinin azaldığı görülmüştür (zemin büyütmesinin 1'den küçük olduğu bölge).

Çizelge 4.3 Deprem yer hareketi DD-3'e göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.

Mahalle Adı	Eşdeğer Doğrusal Analiz
Erkmen	1.10
Hasan Karaağaç	1.10
Selçuklu	1.10
Osman Gazi	0.89
Karşıyaka	1.10
Yeşilyurt	1.10
Battal Gazi	0.99
Ertuğrul Gazi	1.10
Orhan Gazi	1.37
Dört Yol	1.10

4.1.4 Eşdeğer Doğrusal Yöntem İle DD-4'e Göre Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-4 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.12 incelendiğinde eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 0.88 ile Osman Gazi ve Hasan Karaağaç mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.29 ile Selçuklu ve Orhan Gazi mahallelerinde belirlenmiştir.



Şekil 4.12 Eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.4). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında eşdeğer doğrusal analize göre tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

Bunun yanı sıra, Osman Gazi, Battal Gazi ve Hasan Karaağaç mahalleleri civarının eşdeğer doğrusal analiz büyütme oranları, anakayaya verilen deprem kaydının bölge zemini tarafından yer hareketinin etkisinin büyümesi yerine, tam tersi olarak yer hareketinin etkisinin azaldığı görülmüştür (zemin büyütmesinin 1'den küçük olduğu bölgeler).

Çizelge 4.4 Deprem yer hareketi DD-4'e göre eşdeğer doğrusal analiz sonuçları.

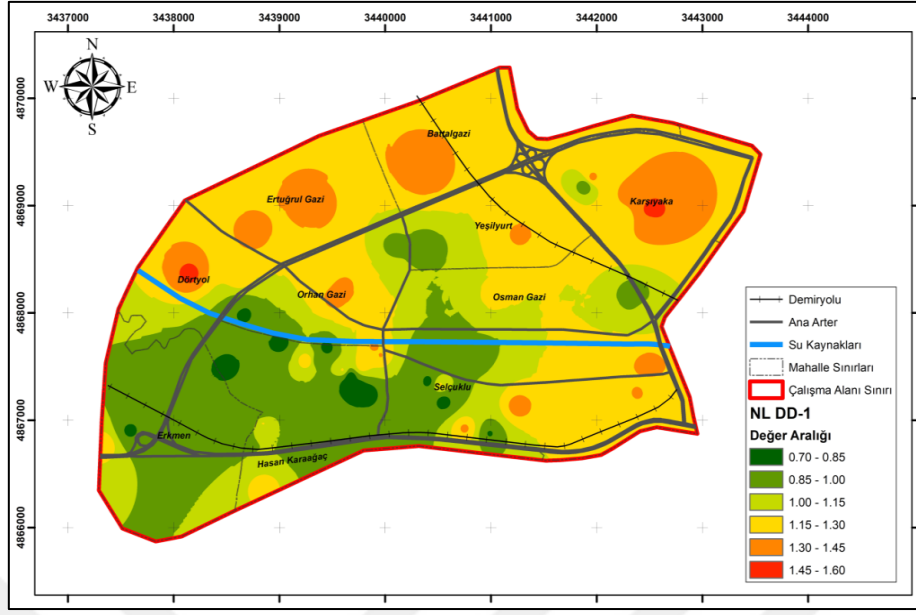
Mahalle Adı	Eşdeğer Doğrusal Analiz
Erkmen	1.17
Hasan Karaağaç	0.88
Selçuklu	1.29
Osman Gazi	0.88
Karşıyaka	1.07
Yeşilyurt	1.07
Battal Gazi	0.98
Ertuğrul Gazi	1.07
Orhan Gazi	1.29
Dörtyol	1.07

4.3 Doğrusal Olmayan Yöntem İle Zemin Büyütme Analizi

Bir boyutlu analiz yöntemlerinden olan eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılarak çalışma alanının zemin büyütme değerleri, deprem yer hareketlerine göre analizleri yapılarak haritaları aşağıda sunulmuştur.

4.3.1 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-1 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-1 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.13 incelendiğinde doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı Erkmen mahallesinde 0.85 olarak belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.45 ile Karşıyaka, Battal Gazi, Ertuğrul Gazi ve Dörtyol mahallelerinde belirlenmiştir.



Şekil 4.13 Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.5). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında doğrusal olmayan analize göre C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

Çizelge 4.5 Deprem yer hareketi DD-1'e göre doğrusal olmayan analiz sonuçları.

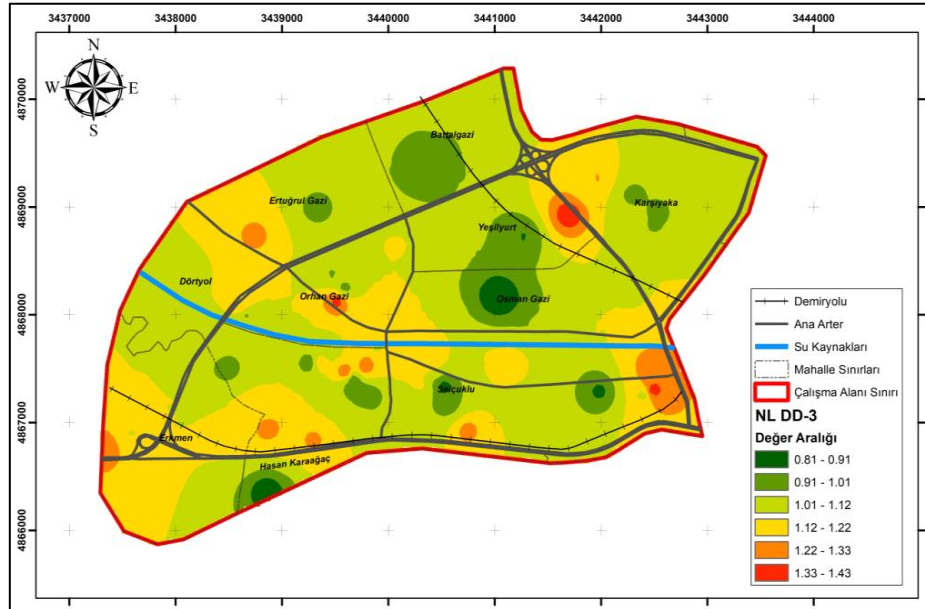
Mahalle Adı	Doğrusal Olmayan Analiz
Erkmen	0.85
Hasan Karaağaç	1.30
Selçuklu	1.30
Osman Gazi	1.30
Karşıyaka	1.45
Yeşilyurt	1.15
Battal Gazi	1.45
Ertuğrul Gazi	1.45
Orhan Gazi	1.30
Dörtiyol	1.45

Çizelge 4.6 Deprem yer hareketi DD-2'ye göre doğrusal olmayan analiz sonuçları.

Mahalle Adı	Doğrusal Olmayan Analiz
Erkmen	1.00
Hasan Karaağaç	1.00
Selçuklu	1.50
Osman Gazi	1.00
Karşıyaka	1.75
Yeşilyurt	1.00
Battal Gazi	1.50
Ertuğrul Gazi	2.00
Orhan Gazi	1.50
Dört Yol	1.50

4.3.3 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-3 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-3 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.15 incelendiğinde doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı 0.91 ile Osman Gazi ve Hasan Karaağaç mahallesinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.33 ile Karşıyaka ve Orhan Gazi mahallelerinde belirlenmiştir.



Şekil 4.15 Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

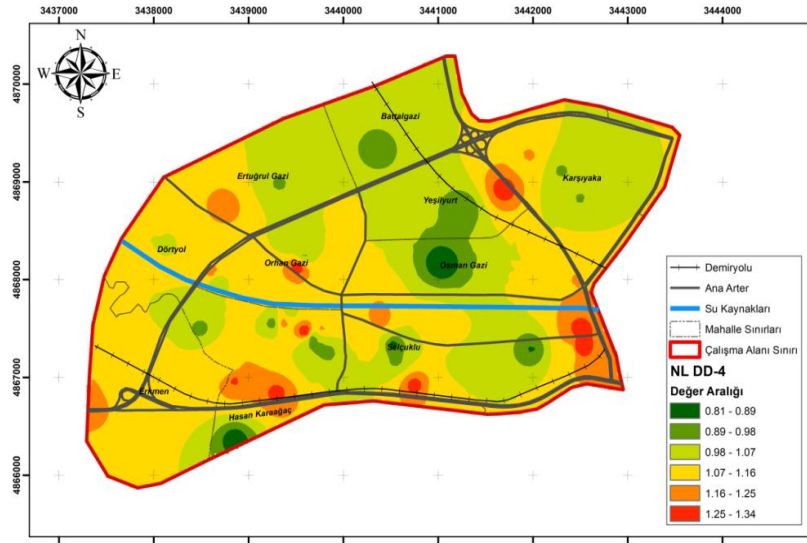
Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.7). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında doğrusal olmayan analize göre tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

Çizelge 4.7 Deprem yer hareketi DD-3'e göre doğrusal olmayan analiz sonuçları.

Mahalle Adı	Doğrusal Olmayan Analiz
Erkmen	1.22
Hasan Karaağaç	0.91
Selçuklu	1.12
Osman Gazi	0.91
Karşıyaka	1.33
Yeşilyurt	1.12
Battal Gazi	1.01
Ertuğrul Gazi	1.12
Orhan Gazi	1.33
Dört Yol	1.12

4.3.4 Doğrusal Olmayan Yönteme Göre DD-4 Zemin Büyütme Analiz Sonuçları

DD-4 analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.16 incelendiğinde doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı 0.89 ile Osman Gazi ve Hasan Karaağaç mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.25 ile Karşıyaka ve Selçuklu mahallelerinde belirlenmiştir.



Şekil 4.16 Doğrusal olmayan analiz yöntemine göre zemin büyütme haritası.

Zemin özellikleri ve depremin etkisiyle birlikte çalışma alanının belirlenen değerlerde zemin büyütmesine maruz kalması beklenmektedir (Çizelge 4.8). Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında doğrusal olmayan analize göre tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE 1993, Ansal vd. 2002, Özçep 2007, Yağcı ve Ansal 2009).

Bunun yanı sıra, Hasan Karaağaç, Battal Gazi ve Osman Gazi mahalleleri civarının doğrusal olmayan analiz büyütme oranları, anakayaya verilen deprem kaydının bölge zemini tarafından yer hareketinin etkisinin büyümesi yerine, tam tersi olarak yer hareketinin etkisinin azaldığı görülmüştür (Büyütmenin 1'den küçük olduğu bölgeler).

Çizelge 4.8 Deprem yer hareketi DD-4'e göre doğrusal olmayan analiz sonuçları.

Mahalle Adı	Doğrusal Olmayan Analiz
Erkmen	1.16
Hasan Karaağaç	0.89
Selçuklu	1.25
Osman Gazi	0.89
Karşıyaka	1.25
Yeşilyurt	1.07
Battal Gazi	0.98
Ertuğrul Gazi	1.07
Orhan Gazi	1.16
Dörtiyol	1.16

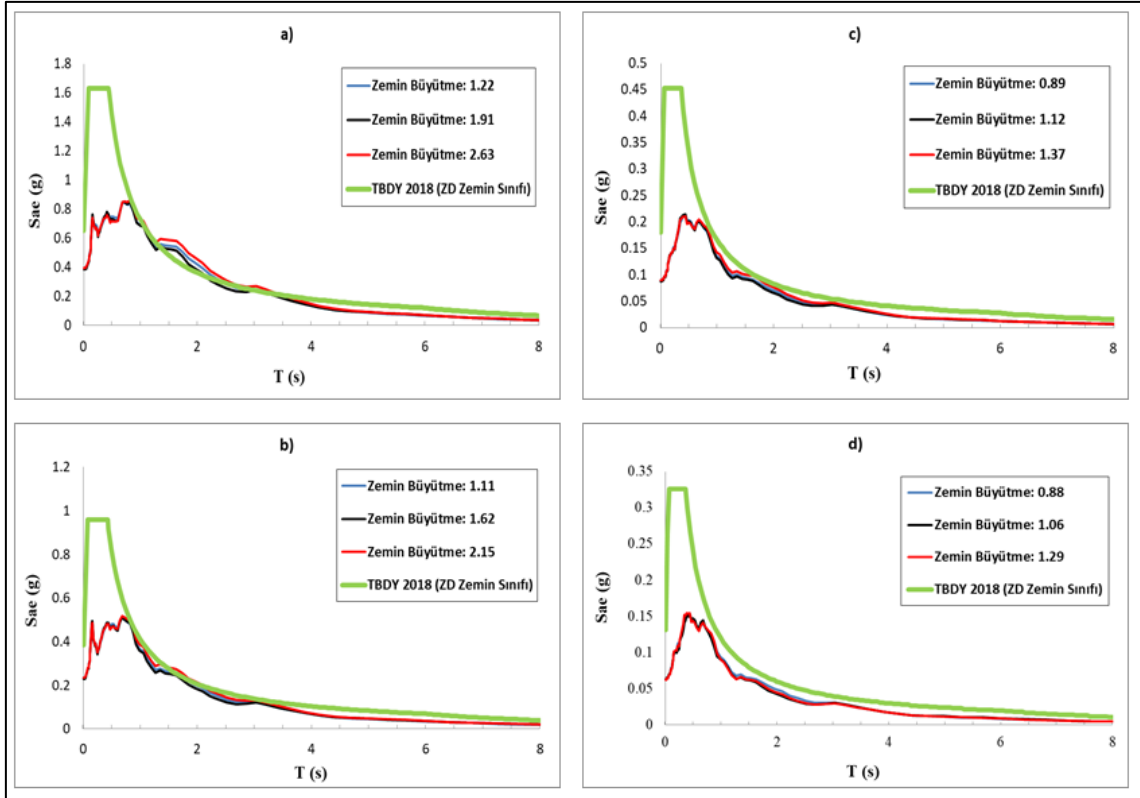
4.4 Zemin Büyütme Analiz Sonuçlarının TBDY 2018'e Göre Değerlendirilmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde çalışma alanı için tarif edilen zeminle ilgili değerlendirmeler dikkate alınarak elde edilen spektrum grafiği ile büyütme analizleri sonrası elde etmiş olduğumuz spektrum grafikleri karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma alanının yerel zemin sınıfı V_s 'ye bağlı olarak ZD olarak tespit edilmiştir. ZD yerel zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketlerine göre ayrı ayrı yatay elastik tasarım spektrumları alınmıştır. Sonuçlar DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketleri düzeyine göre 11 ayrı deprem kaydının ortalaması şeklinde verilmiştir. Analizler sonucunda deprem yer hareketine göre elde edilmiş olan küçük, orta ve büyük zemin büyütmenin olduğu sondaj kuyularındaki spektrumlar seçilerek ilgili deprem yer hareketinin yatay elastik spektrumu ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Analizlerin, yönetmeliğe göre karşılaştırılması eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kendi içerisinde deprem yer hareketleri değerlendirmeye alınmıştır.

4.4.1 Eşdeğer Doğrusal Yöntemi Zemin Büyütme Analiz Sonuçlarının TBDY 2018'e Göre Değerlendirilmesi

Eşdeğer doğrusal analizler sonuçlarından Şekil 4.17-a grafiğine bakıldığında DD-1 yer hareketi için çalışma bölgesinde yapmış olduğumuz analizler; 1.2 sn'ye kadar olan spektral ivme değerleri öngörülen yönetmeliğin altında kaldığı, 1.2 - 2.7 sn arasındaki spektral ivme değerleri yönetmeliğin ön gördüğü değerlerden yüksek olduğu, 2.7 sn sonrasındaki spektral ivme değerleri ise yönetmeliğin altında kaldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 4.17-b,c,d grafiğine bakıldığında sırasıyla DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketleri için yapmış olduğumuz analiz sonuçları ile yönetmeliğin ön görmüş olduğu spektral ivme değerlerinin uyduğu grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.17 Eşdeğer doğrusal yöntem zemin büyütme analiz sonuçlarının TBDY 2018'e göre değerlendirilmesi a)DD-1 deprem yer hareketine göre b)DD-2 deprem yer hareketine göre c)DD-3 deprem yer hareketine göre d)DD-4 deprem yer hareketine göre.

TBDY 2018'e göre binanın hakim doğal titreşim periyodu farklı denklemlerle belirlenmektedir. Çalışma alanı için yapının tahmini periyodu yönetmelikte belirtilen (Denklem 4.1) ampirik yöntemiyle hesaplanmaktadır.

$$T_{pA} = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (4.1)$$

T_{pA} : Binanın hakim doğal titreşim periyodu(s)

H_N = Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği(m)

Yönetmeliğe göre, taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda C_t :0.1 olarak, çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda C_t :0.08 alınırken diğer tüm binalarda C_t :0.07 alınacaktır. Çalışma alanı içerisindeki yapılar betonarme çerçevelerden oluştuğu için C_t değeri 0.1 alınmıştır.

Çalışma alanının için 2, 5, 10, 15, 20 ve 25 katlı yapılar için tahmini doğal titreşim periyodu hesaplarak Şekil 4.17’de ki deprem yer hareketlerine göre, hem eşdeğer analiz sonucu için hem de yönetmelik için değerler hesaplanarak Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Örneğin çalışma alanında bulunan 5 katlı bir bina için yapının hakim doğal titreşim periyodu yönetmelikteki denkleme göre 0.76 sn hesaplanmıştır. Bu yapı için; deprem yer hareketi DD-2 için yönetmeliğin ön gördüğü spektral ivme değeri 0.55 g, eşdeğer doğrusal analiz sonucunda spektral ivme değerinin 0.50 g olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Kat adedine göre yapı titreşim periyodunun yönetmeliğe ve eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre karşılaştırılması.

Kat Sayısı	Tahmini Yapı Periyodu (T)	TBDY 2018 Sa (g)				DeepSoil Eşdeğer Doğrusal Sa (g)			
		DD-1	DD-2	DD-3	DD-4	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
2	0.38	1.63	0.95	0.41	0.30	0.74	0.46	0.20	0.15
5	0.76	0.96	0.55	0.22	0.16	0.84	0.50	0.19	0.13
10	1.28	0.55	0.32	0.12	0.09	0.57	0.28	0.10	0.06
15	1.73	0.41	0.23	0.09	0.06	0.54	0.25	0.09	0.05
20	2.15	0.33	0.19	0.07	0.05	0.40	0.18	0.06	0.04
25	2.54	0.28	0.16	0.06	0.04	0.30	0.14	0.05	0.03

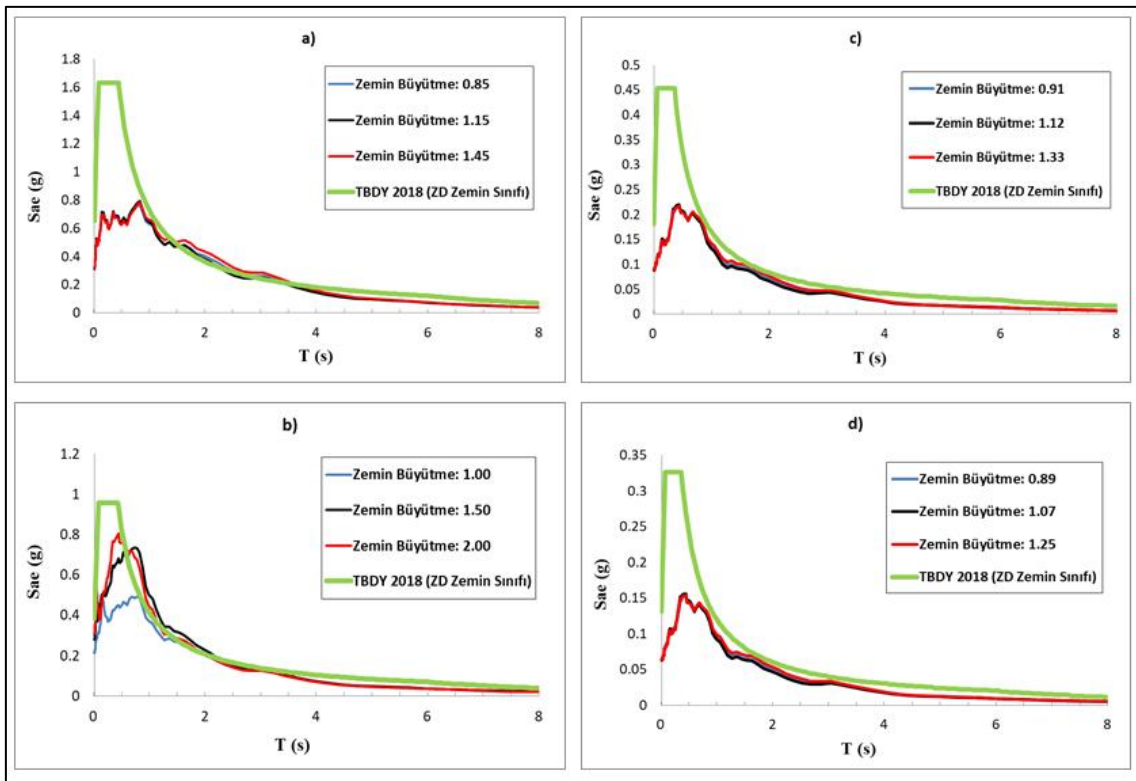
4.4.2 Doğrusal Olmayan Yöntemi Zemin Büyütme Analiz Sonuçlarının TBDY 2018’e Göre Değerlendirilmesi

Doğrusal olmayan analiz sonuçlarından Şekil 4.18-a grafiğine bakıldığında DD-1 yer hareketi için çalışma bölgesinde yapmış olduğumuz analiz sonuçları; 1.3 sn’ye kadar olan spektral ivme değerleri öngörülen yönetmeliğin altında kaldığı, 1.3 - 3.1 sn arasındaki spektral ivme değerleri yönetmeliğin ön gördüğü değerlerden yüksek olduğu, 3.1 sn sonrasındaki spektral ivme değerleri ise yönetmeliğin altında kaldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 4.18-b grafiğine bakıldığında DD-2 yer hareketi için çalışma bölgesinde yapmış olduğumuz analiz sonuçları; 0.6 sn’ye kadar olan spektral ivme değerleri öngörülen

yönetmeliğin altında kaldığı, 0.6 - 2.1 sn arasındaki spektral ivme değerleri yönetmeliğin ön gördüğü değerlerden yüksek olduğu, 2.1 sn sonrasındaki spektral ivme değerleri ise yönetmeliğin altında kaldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 4.18-c,d grafiğine bakıldığında sırasıyla DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketleri için yapmış olduğumuz analiz sonuçları ile yönetmeliğin ön görmüş olduğu spektral ivme değerlerinin altında kaldığı, belirli zaman aralıklarında ise uyduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.18 Doğrusal olmayan yöntem zemin büyütme analiz sonuçlarının TBDY 2018'e göre değerlendirilmesi a)DD-1 deprem yer hareketine göre b)DD-2 deprem yer hareketine göre c)DD-3 deprem yer hareketine göre d)DD-4 deprem yer hareketine göre.

TBDY 2018'e göre çalışma alanı için yapının hakim doğal titreşim periyodu denklem 4.1'e göre hesaplanmıştır. Çalışma alanının için 2, 5, 10, 15, 20 ve 25 katlı yapılar için tahmini doğal titreşim periyodu hesaplanarak Şekil 4.18'de ki deprem yer hareketlerine göre, hem eşdeğer analiz sonucu için hem de yönetmelik için değerler hesaplanarak Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Örneğin çalışma alanında bulunan 5 katlı bir bina için yapının hakim doğal titreşim periyodu yönetmelikteki denkleme göre 0.76 sn hesaplanmıştır. Bu yapıda; deprem yer hareketi DD-2 için yönetmeliğin ön gördüğü spektral ivme değeri 0.55 g, doğrusal olmayan analiz sonucunda spektral ivme değerinin 0.67 g olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 Kat adedine göre yapı titreşim periyodunun yönetmeliğe ve doğrusal olmayan analiz yöntemine göre karşılaştırılması.

Kat Sayısı	Tahmini Yapı Periyodu (T)	TBDY 2018 S _a (g)				DeepSoil Doğrusal Olmayan S _a (g)			
		DD-1	DD-2	DD-3	DD-4	DD-1	DD-2	DD-3	DD-4
2	0.38	1.63	0.95	0.41	0.30	0.67	0.77	0.21	0.15
5	0.76	0.96	0.55	0.22	0.16	0.76	0.67	0.19	0.13
10	1.28	0.55	0.32	0.12	0.09	0.55	0.34	0.10	0.07
15	1.73	0.41	0.23	0.09	0.06	0.42	0.27	0.09	0.06
20	2.15	0.33	0.19	0.07	0.05	0.38	0.19	0.06	0.04
25	2.54	0.28	0.16	0.06	0.04	0.32	0.16	0.05	0.03

Elde edilen sonuçlar her bir sondaj kuyusu için olup genel bir yaklaşımı anlatmamaktadır. Farklı sondaj kuyuları incelendiğinde kat sayısı ve deprem yer hareketine göre farklılık gösterdiği, elde edilen analiz sonuçlarının yönetmeliğin önerdiği spektral ivmenin üstünde veya altında kaldığı durumlar tespit edilmiştir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 incelendiğinde her iki analiz yönteminde de zemin büyütme oranı arttıkça spektral ivme değerleri, yönetmeliğin önermiş olduğu spektral ivme değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Çalışma alanında yapılacak olan yapıların tasarımı noktasında proje danışmanlarına veya mühendislere yol gösterecek rehber niteliğinde sonuçlar doğuracağı anlaşılmaktadır. Hazırlanan haritalar ve elde edilen sonuçlar, çalışma alanının genel yapısını ortaya koyduğundan, bu konuda çalışan araştırmacılara bölgenin sismitesi hakkında bilginin yanında zaman ve maliyet kazandırmaktadır. Bu nedenle bu çalışma sonucu elde edilen büyütme haritaları ve karşılaştırmalı analizler, afet öncesi risk belirleme ve azaltma çalışmaları kapsamında, güvenli yapıların inşası için kullanılabilir veri sağlamaktadır.

4.5 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle Sıvılaşma Analizi

Bir boyutlu DeepSoil analiz programında, yönetmeliğin ön gördüğü şekilde zaman alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Sıvılaşma analizinin yapılabilmesi için çalışma alanının zemin tipine göre aşırı boşluk suyu basıncı oluşum modelleri kullanılarak elde edilen sıvılaşma analizi haritaları Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve 4.22’de verilmiştir. Deprem yer hareketlerine göre DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 şeklinde ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

Aşırı boşluk suyu basıncı oranı 1 değerine ulaştığında veya yaklaştığında, başka bir ifade ile efektif gerilmenin sıfır olması şartıyla, bu tip zemin tabakalarında sıvılaşma riski “vardır” veya “yüksek” olarak ifade edilmektedir. Çalışma alanı için analizleri yapılan bölgelerde elde edilen sıvılaşma değer aralıkları da Çizelge 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14’de verilmiştir.

4.5.1 Doğrusal Olmayan Analiz İle DD-1’e Göre Sıvılaşma Analiz Sonuçları

DD-1 doğrusal olmayan sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen Şekil 4.19 incelendiğinde en küçük sıvılaşma riski 0.48 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Yeşilyurt, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sıvılaşma riski en yüksek bölgeler olarak belirlenmiştir.

edilebilen zemin ve sismik parametrelerin bir arada kullanıldığı birçok kriter, analiz programları, deneysel formüller ve ampirik bağıntılar dikkate alınmıştır. Bütün bu kriterlerin yanı sıra çalışma alanında yer altı su seviyesinin yüksek olması ve ayrıca zemin yapısının alüvyon olması dikkate alınarak yerel sismik tasarım parametrelerine göre bir boyutlu analiz programı kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde çalışma bölgesi için aşağıda bazı öneriler sunulmaktadır.

Analiz sonunda çalışma alanındaki birçok mahallede özellikle de DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketlerine göre yüksek sıvılaşma riski olduğu anlaşılmıştır. Çalışma alanının deprem etkisi altında olduğu göz önüne alınırsa sıvılaşmaya bağlı oturmalar kaçınılmazdır. Bu oturmaların yapılara zarar verebilecek düzeyde olması nedeniyle, tasarlanan yapının temel zemininin iyileştirilmesi gereklidir. Deprem sırasında yanal zemin direncinin çok azalacağı dikkate alınmalıdır.

Bu durumda ise sahaların zemin ve deprem mühendisliği açısından incelenmesini takiben çoğu zaman uygun bir zemin iyileştirme metodunun seçimi gerekmektedir. Analiz sonuçlarına göre önerilen zemin iyileştirme metodlarından ‘Jet Grout’ tekniği, ülkemizde özellikle son yıllarda önemli uygulama alanı bulmuştur. Çalışma alanındaki olumsuz koşulların bertarafı amacıyla önerilen jet grout (yüksek modüllü kolon) kolonlarının zemin iyileştirme yöntemi; bölgede inşaat süresince ve sonrasında meydana gelebilecek süreli oturmaları kabul edilebilir seviyelere düşeceği ifade edilebilir. Benzer bir yöntemle fakat düşük basınçla uygulaması gerçekleştirilen ‘Deep Mixing’ tekniği de uygulama açısından dikkate alınmalıdır. Kısaca, deprem durumunda oluşacak kayma gerilmelerinin birim alan içerisinde üniform olarak, yüksek kayma modüllü kolonlar ve bu elemanları çevreleyen zemin arasında kayma modülleri oranında dağılacağı kabulüne dayanmaktadır. Granüler zeminlerin başlangıçtaki boşluk oranları ve sıkışabilirlikleri azaltılması bunun yanı sıra içsel sürtünme açıları, taşıma gücü ve sıvılaşmaya karşı olan dirençlerin de artırılması meydana gelebilecek olumsuzlukların önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

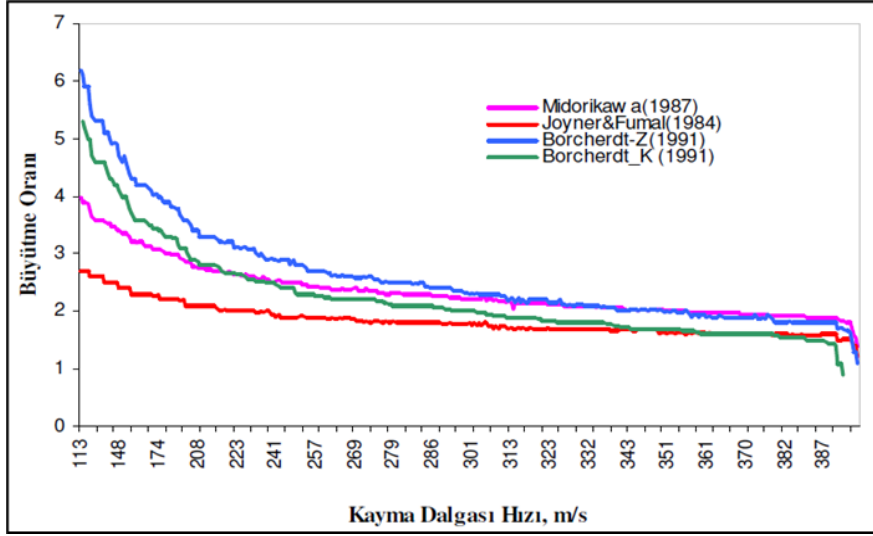
Çalışma alanında yeraltı su seviyesinin yüksek olması, zemin profili ve deprem etkisinden dolayı sıvılaşma riskini artırmaktadır. Önemli parametrelerden birisi olan

yeraltı su seviyesinin drenaj yapılarıyla düşürülmesi ve sonrasında derin sıkıştırma yöntemleri ile iyileştirme yapılmasının etkili olabileceği düşünülmektedir. Buradaki amaç ön yükmeden dolayı oluşan aşırı boşluk suyu basınçlarının hem düşey hem de yatay yönde sönmelenmesini sağlamaktır. Belli aralıklarla kil içerisine yerleştirilen yüksek geçirimli düşey kolonlar yeraltı suyunun yatay olarak hızlı bir şekilde drene olmasını sağlamakla birlikte sıvılaşma riskini veya taşıma gücü kaybını azaltabileceği düşünülmektedir. Bu bakımdan önerilen metodların uygulamada ekonomik ve güvenli sonuçların elde edilmesinde yararlı olacağı beklenmektedir. Bu metodların sıvılaşma potansiyeli olan zemin profillerinde zemin sıvılaşma potansiyelini azaltıcı ve sıvılaşmayı önleyici yöntemler olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

4.6 Zemin Büyütme Oranının Kayma Dalgası Hızından Belirlenmesi

Zemin büyütme oranını belirlemek için yaygın olarak kullanılan yüzey tabakalarının kayma dalgası hızı önemli bir parametredir. Literatürde her bir derinlik için zemin tabakasının kayma dalgası hızı ile spektral büyütme arasındaki ilişki araştırmacılar tarafından ampirik olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından ortaya konulan ampirik bağıntılar Çizelge 4.15’de verilmiştir ve bu ampirik bağıntılar Şekil 4.23’de karşılaştırmalı olarak TCEGE (1999) tarafından verilmiştir (Joyner ve Fumal 1984, Midorikawa 1987, Borcherdt 1991).

Çalışma alanı için tüm sondaj kuyuları kullanılarak zemin büyütme oranları Joyner ve Fumal (1984), Midorikawa (1987) ve Borcherdt (1991) tarafından önerilen bağıntılarla belirlenmiştir. Afyonkarahisar için tezde kullanılan tüm kuyularda her 1.5 m’de olmak üzere V_{s30} değerleri hesaplanmış ve zemin büyütme faktörlerinin ampirik olarak hesaplanmasında kullanılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak yapılan hesaplar sonucunda büyütme değerleri haritası ise Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.23 Farklı araştırmacılara göre zemin büyütme faktörlerinin karşılaştırması (TCEGE 1999).

Çizelge 4.15 Kayma dalgası hızı (V_s) ile büyütme faktörü arasındaki ampirik bağıntılar.

Araştırmacılar	Eşitlikler	
Midorikawa (1987)	$A = 68 V_1^{-0.6}$	$V_1 < 1100 \text{ m/s}$
	$A = 1$	$V_1 > 1100 \text{ m/s}$
Joyner ve Fumal (1984)	$A = 23 V_2^{-0.45}$	
Borcherdt vd. (1991)	$AHSA = 700 / V_1$	(Zayıf yer hareketi için)
	$AHSA = 700 / V_1$	(Kuvvetli yer hareketi için)

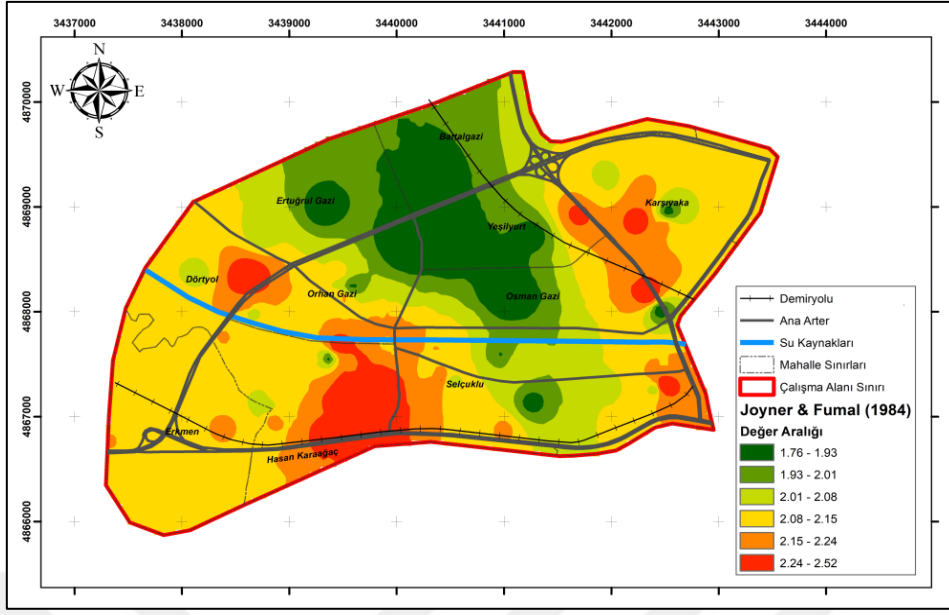
A : Pik yer hızı için relatif büyütme faktörü

AHSA : 0.2 - 0.4 s periyot aralığı için ortalama yatay spektral büyütme

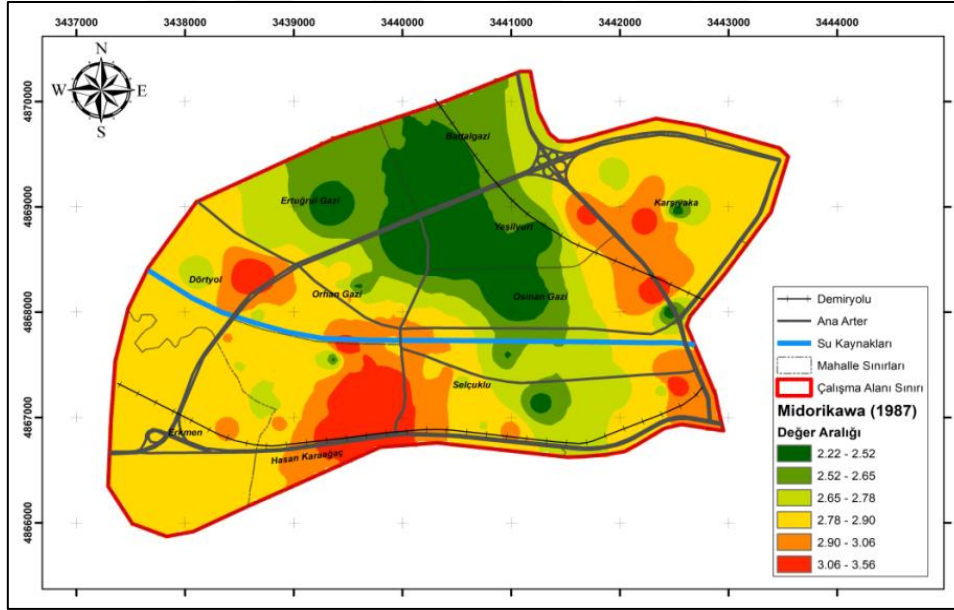
V_1 : 30 m derinlik için ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

V_2 : Yarım periyot dalgası için bir çeyrek dalga boyunun ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

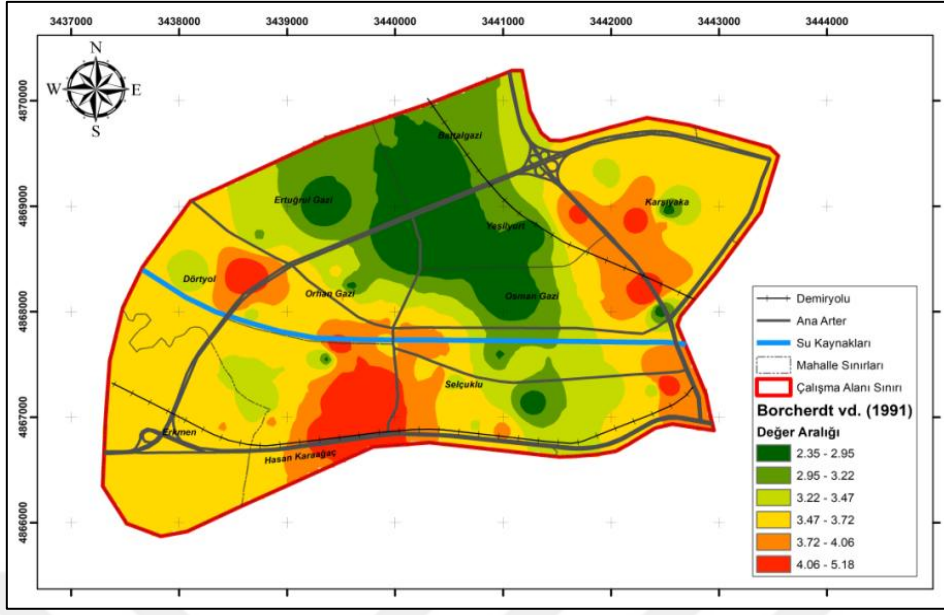
Çalışma alanında elde edilmiş olan SPT değerlerine bağlı olarak kayma dalga hızları belirlenmiş olup Çizelge 4.15’de belirtilen ampirik bağıntılar kullanılarak çalışma alanında farklı araştırmacılara göre zemin büyütme haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 4.24 Joyner ve Fumal (1984)'e göre zemin büyüme analizi.



Şekil 4.25 Midorikawa (1987)'e göre zemin büyüme analizi.



Şekil 4.26 Borcherdt (1991)'e göre zemin büyütme analizi.

Bu bağıntılara göre çalışma bölgesi için Şekil 4.24'de Joyner ve Fumal (1984)'e göre zemin büyütme oranı 1.76 ile 2.52 arasında iken, Şekil 4.25'te Midorikawa (1987)'e göre zemin büyütme oranı 2.22 ile 3.56 ve Şekil 4.26'da Borcherdt (1991)'e göre zemin büyütme oranı ise 2.35 ile 5.18 arasındadır.

Doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre bir karşılaştırma yapacak olursak eğer Joyner ve Fumal (1984) ampirik bağıntısının, DeepSoil analiz sonuçlarına yakın oranları verdiği görülmektedir. En yüksek zemin büyütme oranı ise Borcherdt (1991) bağıntısında ortaya çıkmıştır. Örneğin, Ermen bölgesi için Joyner ve Fumal (1984)'e göre maksimum zemin büyütme oranı 2.15 hesaplanırken, Midorikawa (1987)'e göre 2.90 ve Borcherdt (1991)'e göre ise 3.72 olarak belirlenmiştir.

DeepSoil analiz sonuçları ve ampirik bağıntılar ile hesaplanan zemin büyütme analiz sonuçları değerlendirildiğinde çalışma alanı için bir boyutlu analiz sonuçlarına göre en yakın büyütme değerleri Joyner ve Fumal (1984) bağıntısının olduğu belirlenmiştir. Bu bağıntının kullanılması en azından bu çalışma bölgesi için sağlıklı sonuçlar vermeyeceğini ve bu yöntemlerin geliştirilmesinin faydalı olacağını göstermiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

1. Bu çalışmada, Afyonkarahisar ilinin merkez Uydukent bölgesinin zemin özellikleri, jeofizik, geoteknik ve jeolojik verilerin birlikte değerlendirilmesi esasına göre detaylandırılmış ve inceleme alanı geoteknik açıdan değerlendirilip mikrobölgelemesi yapılmıştır. Çalışma alanı ve çevresinin deprem riski araştırılarak, olası depremlerde çalışma alanında meydana gelebilecek yer hareketlerine göre analizleri yapılmıştır. Çalışma alanında yer alan ve sondaj verileri üzerinde doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal zemin büyütme analizleri, ampirik yöntemlerle zemin büyütme analizleri ve sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir.
2. Depremlerin meydana gelmesi beklenen yerlere yakın yerleşimlerde, zemin büyütmesi sıvılaşma oluşumunun ve yapılara zararlarının tahmin edilmesi can kayıplarını azaltması bakımından önemlidir. Bunun ekonomik yönü de göz ardı edilmemelidir. Zemin büyütme ve sıvılaşmanın meydana geldiği yerlerde çok ciddi alt ve üst yapı hasarlarının olduğu geçmişte meydana gelen depremlerde açıkça görülmüştür. Yeni yerleşim yerlerinin belirlenmesinde veya mevcut yerleşim yerlerinde önlem amaçlı yapılacak zemin dinamik davranışının ve sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi oldukça önemlidir.
3. Çalışma alanında, yapılan sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri sonucunda bölge CL, CH, SC ve SM türü zeminlerin aralanmalı olarak oluşturduğu bir yapıya sahiptir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin ön gördüğü şekilde kayma dalgası hızlarına göre yerel zemin sınıfı çalışma alanının genelinde ZD belirlenirken, bazı bölgelerde ise ZE olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının genelinde yeraltı su seviyesinin ortalama 3-6 m arasında olduğu tespit edilmiştir.

4. Çalışma alanında eşdeğer doğrusal zemin davranış analizi için PGA değişimi deprem yer hareketlerine göre 0.45-1.20g (DD-1), 0.26-0.86g (DD-2), 0.10-0.28g (DD-3) ve 0.06-0.15g (DD-4) olarak belirlenmiştir. Doğrusal olmayan zemin davranış analizi için PGA değişimi deprem yer hareketlerine göre 0.33-0.76 (DD-1), 0.23-0.60 (DD-2), 0.09-0.56 (DD-3) ve 0.07-0.50 (DD-4) olarak belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlara göre, kayma modülü sonuçlarına ve sönümlenme oranına göre hesap yapabilmek için efektif gerilmenin esas alındığı doğrusal olmayan analiz yönteminin; özellikle de sert kıvamda olmayan veya yumuşak zeminlerde kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.
5. Deprem yer hareketi (DD-1) doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı Erkmen mahallesinde 0.85 olarak belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.45 ile Karşıyaka, Battal Gazi, Ertuğrul Gazi ve Dört Yol mahallelerinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.
6. Deprem yer hareketi (DD-1) eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 1.22 ile Erkmen ve Yeşilyurt mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 2.63 ile Selçuklu mahallesinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında Selçuklu mahallesi B kategorisinde (orta tehlike), geriye kalan diğer mahalleler ise C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.
7. Deprem yer hareketi (DD-2) doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı Erkmen, Hasan Karaağaç, Osman Gazi ve Yeşilyurt mahallelerinde 1.00 olarak belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 2.00 ile Ertuğrul Gazi mahallesinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.

- 8.** Deprem yer hareketi (DD-2) eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 1.11 ile Yeşilyurt mahallesinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 2.15 ile Orhan Gazi ve Ertuğrul Gazi mahallesinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında Orhan Gazi ve Ertuğrul Gazi mahalleleri B kategorisinde (orta tehlike), geriye kalan diğer mahalleler ise C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.
- 9.** Deprem yer hareketi (DD-3) doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı 0.91 ile Osman Gazi ve Hasan Karaağaç mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.33 ile Karşıyaka ve Orhan Gazi mahallelerinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.
- 10.** Deprem yer hareketi (DD-3) eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 0.89 ile Osman Gazi mahallesinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.37 ile Orhan Gazi mahallesinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.
- 11.** Deprem yer hareketi (DD-3)'e göre Osman Gazi mahallesi civarının eşdeğer doğrusal analiz büyütme oranı diğerlerine göre küçük olduğu, hatta anakayaya verilen deprem kaydının bölge zemini tarafından yer hareketinin etkisinin büyümesi yerine, tam tersi olarak yer hareketinin etkisinin azaldığı tespit edilmiştir (zemin büyütmesinin 1'den küçük olduğu bölgeler).
- 12.** Deprem yer hareketi (DD-4) doğrusal olmayan analiz sonucuna göre en küçük büyütme oranı 0.89 ile Osman Gazi ve Hasan Karaağaç mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.25 ile Karşıyaka ve Selçuklu mahallelerinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme

çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.

- 13.** Deprem yer hareketi (DD-4) eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarına göre ise en küçük zemin büyütme oranı 0.88 ile Osman Gazi ve Hasan Karaağaç mahallelerinde belirlenirken, en büyük zemin büyütme oranı ise 1.29 ile Selçuklu ve Orhan Gazi mahallelerinde belirlenmiştir. Elde edilen büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında tüm mahalleler C kategorisinde (düşük tehlike) tespit edilmiştir.
- 14.** Deprem yer hareketi (DD-4)'e göre Hasan Karaağaç, Battal Gazi ve Osman Gazi mahalleleri civarının doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal analiz büyütme oranları diğerlerine göre küçük olduğu, anakayaya verilen deprem kaydının bölge zemini tarafından yer hareketinin etkisinin büyümesi yerine, tam tersi olarak yer hareketinin etkisinin azaldığı tespit edilmiştir (zemin büyütmesinin 1'den küçük olduğu bölgeler).
- 15.** Ampirik bağıntılara göre çalışma bölgesi için Joyner ve Fumal (1984)'e göre zemin büyütme oranı 1.76 ile 2.52 arasında iken, Midorikawa (1987)'e göre zemin büyütme oranı 2.22 ile 3.56 ve Borchardt (1991)'e göre zemin büyütme oranı ise 2.35 ile 5.18 arasında tespit edilmiştir. Joyner ve Fumal (1984) ampirik bağıntısının, DeepSoil analiz sonuçlarına yakın değerleri verdiği tespit edilmiştir. Mühendislik uygulamalarında ve zemin etüt raporlarında zemin büyütme oranlarını tahmin etmek için sıkça kullanılan Ampirik yöntemler bu bölgede sağlıklı büyütme değerleri hesaplamamıştır. Bu nedenle bölgede yapılacak mühendislik amaçlı büyütme analizlerinde bu yöntemlerin kullanılmasının uygun olmayacağı ve bu yöntemlerin geliştirilmesinin faydalı olacağı tespit edilmiştir.
- 16.** Zemin büyütme analizi sonuçları incelendiğinde, bazı mikrobölgelerde doğrusal olmayan analizlerde iki kat, eşdeğer doğrusal analizlerde ise üç kata varan oranlarda zemin büyütme oranları olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu

büyütmeler, yerel zemin koşullarının deprem yer hareketleri üzerindeki etkilerinin varlığını doğrulamaktadır.

- 17.** Sondaj kuyularına göre çalışma alanının maksimum kayma birim şekil değiştirme oranı Şekil 3.17’de görüldüğü gibi %0.39 olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre ilgili kaynaklarda (TBDY 2018, Kaklamanos 2013 ve Kim 2013) belirtildiği üzere zemin büyümesi değerlerinin hesaplanması için doğrusal olmayan analiz yönteminin uygun olduğunu göstermektedir. Doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılması, deprem etkisi altında yapı temelini tasarımı, yerel zemin sınıflarının tanımlanması, istinat yapıları ve yamaçların (şevlerin) tasarımında kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesindeki maliyeti azaltacağı düşünülmektedir.
- 18.** Iswanto ve Yee (2016)’ya göre analizler değerlendirildiğinde; eşdeğer doğrusal yönteminin doğrusal olmayan yöntemle benzer eğilimleri olduğunu ve doğrusal olmayan yöntemin, eşdeğer doğrusal analiz yöntemine göre spektral ivmenin daha yüksek frekanslarını daha sağlıklı ve güvenilir bir şekilde yansıttığı tespit edilmiştir.
- 19.** Çalışma alanında yapılan zemin büyüme analizleri bina kat sayısı ve deprem yer hareketine göre farklılık gösterdiği, elde edilen analiz sonuçlarının yönetmeliğin önerdiği spektral ivme değerinin üstünde veya altında kaldığı durumlar tespit edilmiştir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 incelendiğinde her iki analiz yönteminde de zemin büyüme oranı arttıkça spektral ivme değerleri, yönetmeliğin önermiş olduğu spektral ivme değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Özellikle zemin büyümesi değerlerinin yüksek olduğu Ertuğrul Gazi, Orhan Gazi ve Selçuklu mahallelerinde inşa edilecek 5, 10 ve 15 katlı yapılarda mevcut yönetmeliğin ön gördüğü yatay elastik spektrum yerine sahaya özel analizler neticesinde elde edilecek tasarım spektrumunun kullanılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanında yapılacak olan yeni yapıların tasarımı noktasında proje danışmanlarına veya mühendislere yol gösterecek rehber niteliğinde sonuçlar doğuracağı anlaşılmaktadır.

- 20.** Deprem yer hareketi (DD-1) doğrusal olmayan sınılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sınılaşma riski 0.48 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Yeşilyurt, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sınılaşma riski en yüksek bölgeler olarak tespit edilmiştir.
- 21.** Deprem yer hareketi (DD-2) doğrusal olmayan sınılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sınılaşma riski 0.30 ile Battal Gazi mahallesinde görülürken, Erkmen, Hasan Karaağaç, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde ise 1.00 değerine yaklaştığı için sınılaşma riski en yüksek bölgeler olarak tespit edilmiştir.
- 22.** Deprem yer hareketi (DD-3) doğrusal olmayan sınılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sınılaşma riski 0.00 değeri ile Battal Gazi, Ertuğrul Gazi ve Orhan Gazi mahallesinde görülürken, Hasan Karaağaç mahallesinde ise 0.56 olarak tespit edilmiştir.
- 23.** Deprem yer hareketi (DD-4) doğrusal olmayan sınılaşma analiz sonuçlarına göre en düşük sınılaşma riski 0.00 ile Erkmen, Selçuklu, Yeşilyurt, Battal Gazi, Ertuğrul Gazi, Orhan Gazi ve Dört Yol mahallelerinde görülürken, Hasan Karaağaç, Osman Gazi ve Karşıyaka mahallelerinde ise 0.28 olarak tespit edilmiştir.
- 24.** Sınılaşma analizi sonuçlarına göre çalışma alanı için önerilen zemin iyileştirme metodlarından Jet Grout, Deep Mixing vb. yöntemler kullanılarak granüler zeminlerin başlangıçtaki boşluk oranları ve sıkışabilirliklerin azaltılması bunun yanı sıra içsel sürtünme açıları, taşıma gücü ve sınılaşmaya karşı olan dirençlerin de artırılması ile meydana gelebilecek olumsuzlukların önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

- 25.** Çalışma alanının alüvyon yapısı ve yeraltı su seviyesinin yüksek olması, deprem etkisiyle birlikte yer hareketlerini önemli ölçüde etkileyebileceği gözlenmiştir. Bu nedenle önemli yapılar için sahaya özel bir tasarım yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir.
- 26.** Elde edilen mikrobölgeleme haritaları, yeni inşa edilecek yapıların tasarımında ve mevcut yapıların depreme dayanıklılığının değerlendirilmesinde yararlı olacağı düşünülmektedir. Daha güvenli yapılaşma için aynı alanda yapılan zemin etüd sonuçlarından elde edilen zemin profilinin de gözardı edilemeyeceği açıkça görülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Adampira, M., Alielahi, H., Panji, M., Koohsari, H., 2014, Comparison of Equivalent Linear and Nonlinear Methods in Seismic Analysis of Liquefiable Site Response Due to Near-Fault Incident Waves: A Case Study, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 3103-3118.
- Adatepe, Ş., 2002, Küçükçekmece ve Sefaköy Yerleşim Bölgelerinin Zemin Büyütmesine Göre Mikrobölgelemesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Akın, M., Ozvan, A., Akın, K. M., Topal, T., 2013, Evaluation of Liquefaction in Karasu River Floodplain After the October 23, 2011, Van (Turkey) Earthquake, *Natural Hazards*, 69, 1551-1575.
- Akın, M.K., 2019, Evaluation of Liquefaction Potential of Soils in Düzce City Center, *Journal of Geological Engineering*, 43, 39-56.
- Akın, M.K., Akın, M., Akkaya, İ., Özvan, A., Üner, S., Selçuk, L., vd., 2015, Mikrobölgeleme Çalışmasına Altlık Oluşturmak Üzere Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Zemininin Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 39, 1-26.
- Aktuğ, B., Nocquet, J. M., Cingöz, A., Parsons, B., Erkan, Y., 2009, Deformation of Western Turkey from a Combination of Permanent and Campaign GPS Data: Limits to Block Like Behavior, *Journal of Geophysical Research*, 114, 10404.
- Akyüz, S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A., Kozacı, Ö., 2006, 3 Şubat 2002 Çay Depreminde Meydana Gelen Yüzey Kırığı Üzerinde Palaeosismolojik Araştırmalar, *Yerbilimleri*, 27, 41-52.
- Ambraseys, N., 2009, *Earthquakes In The Mediterranean and Middle East: A Multidisciplinary Study of Seismicity Up to 1900*, New York, United States of America: Cambridge University Press.
- Andrews, D.C.A., Martin, G.R., 2000, Criteria for Liquefaction of Silty Soils, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings, Auckland, New Zealand, 1-8.

- Ansal, A. ve Tönük, G., 2007, Source and Site Effects for Microzonation, Theme Lecture, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering, 4, 73-92.
- Ansal, A., 2002, Seismic Microzonation Methodology, 12th European Conference On Earthquake Engineering, 830, London, UK.
- Ansal, A., 2004, Recent Advances In Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Ansal, A., Biro, Y., Erken, A., Gülerce, Ü., Özçimen, N., 2001, Seismic Zonation In Istanbul: A Case Study, Geotechnical Earthquake Engineering and Microzonation Seminar, İstanbul.
- Ansal, A., İyisan, R., Güllü, H., 2001, Microtremor Measurements for The Microzonation of Dinar, Pure and Applied Geophysics, 158, 2525-2541.
- Ansal, A., Marcellini, A., 1998, Variability of Source and Site Factors in Seismic Factors In Seismic Microzonation, State of The Art Report, 11th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.
- Ansal, A., Tönük, G., Kurtuluş, A., 2011, Zemin Büyütme Analizleri ve Sahaya Özel Tasarım Depremi Özelliklerinin Belirlenmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 11-14 Ekim, Ankara.
- Arduino, P., Kramer, S.L., 2009, CEE 526 Geotechnical Earthquake Engineering Lecture Notes, University of Washington, Seattle, WAUSA.
- Arslan, H., Siyahi, B., 2006, A Comparative Study on Linear and Nonlinear Site Response Analysis, Environmental Geology, 50, 1193-1200.
- Aşçı, M., Özçep, F., Alpaslan, N., Karabulut, S., Yas, T., 2003, Evaluation of Liquefaction Potential By Different Approaches In Some Points of Northern Part of Golcuk, Turkey, The 3rd International Conference on Earth Sciences and Electronics, 23-24 October, 335-343, İstanbul.
- Aşçı, M., Özçep, F., Tezel, O., Yas, T., Alpaslan, N., 2004, Zeminlerin Elektrik Özelliklerinin Su İçeriğine Bağlı Değişimi, Zemin Mekaniği ve Temel

- Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 16-17 Eylül, İstanbul.
- ASTM D1586-99, 1999, Standart Penetrasyon Testi, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Avdan, U. ve Alkış, A., 2011, Doğal Afetlere Yönelik Bütünleşik Konumsal Veri Tabanı Modelinin Geliştirilmesi, *Electronic Journal of Map Technologies*, 3, 17-26.
- Aydoner, C., Maktav, D., 2013, Settlement Suitability Analysis In Terms of Earthquake, *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 6, 53-62.
- Başaran, V., Hiçyılmaz, M., 2020, Betonarme Çerçevelerde Farklı Deprem Yer Hareketi Düzeyi Etkilerinin İncelenmesi, *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 2, 27-41.
- Bayrakçı, E., Pekkan, E., Avdan, U., Güney, Y., 2013, Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sondaj Derinliğinin Sıvılaşma Analizine Etkisinin Belirlenmesi (Eskişehir Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 50-60.
- Bolisetti, C., Whittaker, A.S., Mason, H.B., Almufti, İ., Willford, M., 2014, Equivalent Linear and Nonlinear Site Response Analysis for Design and Risk Assessment of Safety-Related Nuclear Structures, *Nuclear Engineering and Design*, 275, 107-121.
- Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gibbs, J., 1991, Methodology For Predictive GIS Mapping of Special Study Zones For Strong Ground Shaking In The San Francisco Bay Region, *The 4th International Conference On Seismic Zonation*, 3, 545-552.
- Boulanger, R.W., Idriss, I.M., 2014, CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures, Report No. UCD/CGM-14/01, Center For Geotechnical Modeling, University of California at Davis, 138.
- Bray, J., Cubrinovski, M., Zupan, J. and Taylor, M., 2014, Liquefaction Effects on Buildings In The Central Business District of Christchurch, *Earthquake Spectra*, 30, 85-109.

- Bray, J., Sancio, R.B., Durgunoglu, T., Önalp, A., Youd, T. L., 2004, Subsurface Characterization at Ground Failure Sites in Adapazarı, Turkey, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 130, 673-685.
- Casagrande, A., 1936, Characteristics of Cohesionless Soils Affecting The Stability of Slopes and Earth Fills, *Journal of The Boston Society of Civil Engineers*, 23, 13-32.
- Castro, G., 1969, *Liquefaction of Sands*, Harvard Soil Mechanics Series 87, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Chandrakanth, B., Andrew, S., Whittakera, H., Benjamin, M., Ibrahim, A., Michael, W., 2014, Equivalent Linear and Nonlinear Site Response Analysis For Design and risk Assessment of Safety-Related Nuclear Structures, *Nuclear Engineering and Design*, 275, 107-121.
- Civelekler, 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, 18-21 Eylül, Eskişehir.
- Çavuş, U. Ş., Kilit, M., Zorluer, İ., Tuncer, B. E., 2019, Fuzzy Logic Based Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential and Its Application to Foundations of Bridge Piers, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36, 6001-6011.
- Çavuş, U.Ş., 2004, Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin “Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling)” İle Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 126s, Isparta.
- Çavuş, U.Ş., 2015, Zeminlerin Sıvılaşması ve Barajların Alüvyon Temellerinin Sıvılaşma Riskinin Pratik Değerlendirilmesi, *DSİ Teknik Bülteni*, 119, 32-33s.
- Çetin, K.Ö., Unutmaz, B., 2004, Zemin Sıvılaşması ve Sismik Zemin Davranışı, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 430, 33-34s.
- Dağdeviren, U., 2019, Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Zeminlerin Sıvılaşma Analizi ve Sıvılaşmaya Karşı İyileştirilmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5, 153-165.

- Darendeli, M. B., 2001, Development of A New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas, Austin, Texas.
- Das, B. M., 1983, Fundamentals of Soil Dynamics, Elsevier Science Publishing Co. Inc, 353-374, New York, USA.
- Das, B.M, 1993, Principles of Soil Dynamics, Hws Publ., USA.
- Day, R., 2002. Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, McGraw Hill Handbook, 700.
- Deepankar, C., Purnanand, S., 2009, Equivalent-Linear Seismic Analyses of MSW Landfills Using Deepsoil, Engineering Geology, 107, 98-108.
- Değerliyurt, M., 2014, Settlement Suitability Analysis of Local Ground Characteristics In Iskenderun: A Case Study, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 120, 637-644.
- Demir, H., 2006, Küçükçekmece-Halkalı Yerleşim Bölgesinin Yerel Zemin Koşullarına Göre Depremselliğinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Demirtaş, R., İravul ,Y., Yaman, M., 2002, 3 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri Ön Raporu, Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni, 1, 58-63.
- Desai, S.S., Choudhury, D., 2015, Non-Linear Site-Specific Seismic Ground Response Analysis for Port Sites in Mumbai, India, Japanese Geotechnical Society Special Publication, 2, 733-736.
- Dobry, R., Ladd, R.S., Yokel, F.Y., Chung, R.M., Powell, D., 1982, Prediction of Pore Water Pressure Buildup and Liquefaction of Sands During Earthquakes by The Cyclic Strain Method, U.S. National Bureau of Standards, Building Science Series 138, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F. T., Başarır, Baştürk, N., 2018, Seismotectonic Database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 3277-3316.

- Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., 2003, Surface Faulting Associated with The Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey, *Seismological Research Letters*, 74, 382-392.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., 2018, Active Fault Database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., and Elmacı, H., 2011, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Afyon (NJ 36-5) Quadrangle, MTA Ankara, 16.
- Erdik, M., Ansal, A., Aydınoglu, N., Barka, A., Işıkara, A.M., Yüzügüllü, Ö., vd., 2000, İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir.
- Erişen, B., 1996, Afyon Bölgesi Ömer-Gecek Jeotermal Alanında Yapılan AF-1 ve AF-3 Sondajlarına İlişkin Kuyu Bitirme Raporu, MTA Dergisi Rapor No:5623, 96s, Ankara.
- Eskişar, T., Kuruoğlu, M., Altun, S., Özyalın, Ş., Yılmaz, H.R., 2014, Site Response of Deep Alluvial Deposits in The Northern Coast of İzmir Bay (Turkey) and A Microzonation Study Based on Geotechnical Aspects. *Engineering Geology*, 172, 95-116.
- Evans, M.D., Seed, H.B., 1987, Undrained Cyclic Triaxial Testing of Gravel: The Effect of Membrane Compliance, Report UCB/EERC-87/08, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Evans, M.D., Zhou, S., 1995, Liquefaction Behaviour of Sand-Gravel Composites: *Journal of Geotechnical Engineering*, 121, 287-298.
- Eyidoğan, H., 2002, Mühendislik Sismolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul.
- Eyidoğan, H., Jackson, J., 1985, A Seismological Study of Normal Faulting In The Demirci, Alaşehir and Gediz Earthquakes of 1969-70 In Western Turkey: Implications for the Nature and Geometry of Deformation in the Continental Crust, *Geophys*, 81, 569-607.

- Fah, D., Rüttener, E., Noack, T., Kruspan, P., 1997, Microzonation of The City of Basel, *Journal of Seismology*, 1, 87-102.
- Francesco, C., Antonio, C., Antonio, F., Salvatore, G., Valentina, L., 2016, A Seismic Geotechnical Hazard Study in the Ancient City of Noto (Italy), *Procedia Engineering*, 158, 535-540.
- Grasso, M., Maugeri, M., 2009, The Seismic Microzonation of The City of Catania (Italy) for The Maximum Expected Scenario Earthquake of January, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 953-962.
- Gündoğdu, O., Özçep, F., 2003, Jeofizikte Zemin Davranışı, İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Ders Notları, 978, İstanbul.
- Gürboğa, S., 2013, 28 March 1970 Gediz Earthquake Fault, Western Turkey: Palaeoseismology and Tectonic Significance, *International Geology Review*, 55, 1191-1201.
- MTA, 1992, Summary of The GSJ-MTA Cooperative Project on The Geothermal System in Turkey, Examples At Hasandağ-Ziga And Sivrihisar- Sofular-Acıgöl Areas In Central Anatolia And Afyon Area In Western Anatolia(yayınlanmamış).
- Hasançebi, N., Ulusay, R., 2006, Evaluation of Site Amplification and Site Period Using Different Methods for An Earthquake-Prone Settlement in Western Turkey. *Engineering Geology*, 87, 85-104.
- Hashash, Y. M. A., Musgrove, M. I., Harmon, J. A., Groholski, D. R., Phillips, C. A., 2016, DeepSoil v6.1, User Manual.
- Hashash, Y.M.A., 2009, DeepSoil v3.7, Tutorial and User Manual, 2002-2009, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
- Herak M., 2011, Overview Of Recent Ambient Noise Measurements In Croatia In Free-Field And In Buildings, *Geofizika*, 28, 21-40.
- Hosseini, S.M.M.M., Pajouh, M.A., 2010, Comparative Study on The Equivalent Linear and The Fully Nonlinear Site Response Analysis Approaches, *Arabian Journal of Geosciences*, 5, 587-597.

- Idriss, I.M. and Sun, J.I., 1992, Shake91, A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analysis of Horizontally Layered Soil Deposits Modified Based on The Original SHAKE program Published.
- Idriss, I.M., Boulanger R.W., 2008, Soil Liquefaction During Earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute, EERI Publication, Monograph MNO-12, Oakland, CA, 237.
- Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2010, SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures, Report No. UCD/CGM-10/02, Center For Geotechnical Modeling, University of California at Davis, 259.
- Ishihara K., 1984, Post-Earthquake Failure of A Tailings Dam Due to Liquefaction of The Pond Deposit, Proceedings of International Conference of Case Histories in Geotechnical Engineering, University of Missouri, St. Louis, 3, 1129-1143.
- Ishihara K., 1985, Stability of Natural Deposits During Earthquakes, Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 321-376.
- Ishihara, K., Takatsu, H., 1979, Effects of Overconsolidation and Ko Conditions on the Liquefaction Characteristics of Sands, Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 19, 59-68.
- ISSMFE, 1993, Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- ISSMGE-TC4, 1999, Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, The Technical Committee No. 4 for Earthquake Geotechnical Engineering of the ISSMGE, Japanese Geotechnical Society of SMGE, 83-99, Tokyo.
- Iswanto, E.R., Yee, E., 2016, Comparison of Equivalent Linear and Non Linear Methods on Ground Response Analysis: Case Study at West Bangka Site, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 18, 23-29.
- Iwasaki, T., 1986, Soil liquefaction Studies in Japan, State-of-Art, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 5, 2-68.

- İnce, G.Ç., 2005, Sismik Bölgeleme ve İstanbul'un Deprem Zararlarının Tahmini, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- İyisan, R., 1996, Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıklar, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 1187-1199.
- Japan National Committee on Earthquake Engineering, 1965, Niigata Earthquake of 1964, Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand.
- Joyner, W.B., Fumal, T.E., 1984, Use of Measured Shear Wave Velocity For Predicting Geologic Site Effects on Strong Ground Motion, Eighth World Conference on Earthquake Engineering, 2, 777-783.
- Kaklamanos, J., Bradley, B.A., Thompson, E.M., Baise, L.G., 2013, Critical parameters Affecting Bias and Variability In Site-Response Analyses Using Kik-Net Downhole Array Data, Bulletin of the Seismological Society of America, 103, 1733-1749.
- Kaklamanos, J., Baise, L.G., Thompson, E.M., Dorfmann, L., 2015, Comparison of 1D Linear, Equivalent-Linear, and Nonlinear Site Response Models at Six Kik-Net Validation Sites, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 69, 207-219.
- Kaklamanos, J., Bradley, B.A., 2015, Evaluation of 1D Nonlinear Total-stress Site Response Model Performance at 114 Kik-net Downhole Array Sites, 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Christchurch, New Zealand.
- Kale, P., 2008, Yerel Arazi Etkilerinin Bir ve İki Boyutlu Analizlerle İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161, İstanbul.
- Karasu, M. E., 2009, Bakırköy İlçesinin Mikrobölgeleme, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kavurmacı, M., 2017, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi: Aksaray Örneği, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 23, 303-311.

- Khalid, M., Ziaur, R., Khalid, F., Shazim, A. M., 2016, One Dimensional Equivalent Linear Ground Response Analysis a Case Study Of Collapsed Margalla Towerin Islamabad During 2005 Muzaffarabad Earthquake, Journal of Applied Geophysics, 130, 110-117.
- Kılıç, H., Özener, P.T., Ansal, A., Yıldırım, M., Özaydın, K., Adatepe, S., 2006, Microzonation of Zeytinburnu Region With Respect To Soil Amplification: A Case Study, Engineering Geology, 86, 238-255.
- Kim, B., Hashash, Y.M.A., Kottke, A.R., Assimaki, D., Li, W., Rathje, E.M., Campbell, K.W., Silva, W.J., Stewart, J.P., 2013, A Predictive Model For The Relative Differences Between Nonlinear And Equivalent-Linear Site Response Analyses, Proceedings Of The 22nd International Conference In Structural Mechanics Inreactor Technology, San Francisco, August, 18-23.
- Koçyiğit, A., Özacar, A., 2003, Extensional Neotectonic Regime Through The NE Edge of Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67-90.
- Koçyiğit, A., ve Deveci, Ş., 2007, ANS Trending Active Extensional Structure, The Şuhut (Afyon) Graben: Commencement Age of The Extensional Neotectonic Period in The Isparta Angle, SW Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 391-416.
- Koçyiğit, A., 1984, Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 27, 1-15.
- Koçyiğit, A., 2005, The Denizli Graben-Horst System and The Eastern Limit of Western Anatolian Continental Extension: Basin Fill, Structure, Deformational Mode, Throw Amount and Episodic Evolutionary History, SW Turkey, Geodin Acta, 18, 167-208.
- Koçyiğit, A., Unay, E., Saraç, G., 2000, Episodic Graben Formation and Extensional Neotectonic Regime In West Central Anatolia and Isparta Angle: A Case Study In The Akşehir Afyon Graben, Turkey, Journal Geological Society of London, 173, 405-421.

- KOERI (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü), 2019, Recent Earthquakes In Turkey.
- Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, PrenticeHall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kramer, S.L., Stewart, J.P., 2004, Geotechnical Aspects of Seismic Hazards, Earthquake Engineering From Engineering Seismology to Performance Based Engineering, CRC Press, 85.
- Kurnaz, T.F., Ramazanoğlu, S., 2014, The Interrogation of Settlement Suitability by Using GIS, A Case Study In Esenler (Istanbul), Sakarya University Journal of Science, 18, 171-182.
- Luna, R., Jadi, H., 2000, Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods. Proceedings of the First International Conference on The Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure, Saint Louis.
- M. Akin, 2010, Seismic Microzonation of Erbaa (Tokat-Turkey) Located Along Eastern Segment of The North Anatolian Fault Zone Nafz, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Manav, Y., Toprak, S., Karakaplan, E., and Inel, M., 2019, Soil Improvement to Counter Liquefaction by Colloidal Silica Grout Injection, Journal of Environmental Protection and Ecology.
- Matasovic, N., Vucetic, M., 1993, Cyclic Characterization of Liquefiable Sands, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 119, 1805-1822.
- Matasovic, N., Vucetic, M., 1995, Generalized Cyclic Degradation Pore Pressure Generation Model for Clays, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 121, 33-42.
- McClusky, S., 2000, Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucasus, Geophys, 105, 5695-5719.

- Mert, M., 2018, Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerle Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Midorikawa, S., 1987, Prediction of Iseismic Map In The Kanto Plain Due To Hypothetical Earthquake, Journal of Structural Engineering, 33, 43-48.
- Mirshekari, M., Ghayoomi, M., 2015, Simplified Equivalent Linear and Nonlinear Site Response Analysis of Partially Saturated Soil Layers, American Society of Civil Engineers, IFCEE 2015, 2131-2140.
- Mola, E., 2005, Deliklitaş Mahallesi-Eskişehir Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Deprem Risk Analizi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Mollamahmutoğlu, M., Babuçcu, F., 2006, Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, 3-98, Ankara.
- Nitish, P., Ashwani, J., Piyush, M., Subhamoy, B., 2018, Earthquake Response Analysis of Sites in State of Haryana Using DeepSoil Software, Procedia Computer Science, 125, 357-366.
- O. Subaşı, M. Haşal, B. Özaslan, R. İyisan, H. Yamanaka, K. Chimoto., (2017), Bir Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması, Uluslararası Katılımlı 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul.
- Obermeier, S.F., 1996, Use of Liquefaction-Induced Features For Paleoseismic Analysis An Overview of How Seismic Liquefaction Features Can be Distinguished From Other Features and How Their Regional Distribution and Properties of Source Sediment Can be Used to Infer The Location and Strength of Holocene Paleo-Earthquakes, Engineering Geology, 44, 1-76.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999, Tethyan Sutures of Northern Turkey, In The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within The Alpine Orogen, Geological Society, London, Special Publication, 156, 475-515.
- Okay, A.I., 2011, Tavşanlı Zonu: Anatolid Torid Blokunun Dalma Batmaya Uğramış Kuzey Ucu, MTA Dergisi, 195.

- Önalp, A., Arel, E., 2002, Siltlerin Sıvılaştırma Yeteneği: Adapazarı Kriteri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, 1, Eskişehir 363-372.
- Önalp, A., Bol, E., Ural, N., 2006, Siltlerin Sıvılaştırılabilirliği: Adapazarı Kriterinin Geliştirilmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Özaydın, K., 2007, Zeminlerde Sıvılaştırma, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 232-239.
- Özçep, F., 2007, Mikrobölgeleme: İlkeler ve Uygulamalar, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 231, 211, Ankara.
- Özçep, F., Aşçı, M., Karabulut, S., Alpaslan, N., Yas, T., 2004, Zeminlerin Sıvılaştırma Potansiyelinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Uygulamalı Yerbilimleri, 3, 11-22.
- Özdağ C., Gönenç T., Akgün M., 2015, Dynamic Amplification Factor Concept of Soil Layers: A Case Study in İzmir (Western Anatolia), Arabian Journal of Geosciences, 8, 10093-10104.
- Özden, S., Kavak, K. Ş., Koçbulut, F., Över, S., Temiz, H., 2002, 2002.02.03 Çay (Afyon) Earthquakes, Geological Bulletin of Turkey, 45, 49-56.
- Özener, P., 2012, Yer Hareketi Parametrelerinin Hesaplanması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Geoteknik Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul.
- Özkan M.Y., 2017, Zemin Dinamiğine Giriş, Nobel Yayın Dağıtım, 316, Ankara.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçievi, M.O., Tiryakioğlu, İ., 2019, Late Holocene Coseismic Rupture and Aseismic Creep on The Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkish Journal of Earth Sciences, 28, 787-804.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., 2017, Geologic, Geomorphologic and Geodetic Analyses of Surface Deformations Observed in Bolvadin (Afyon-Akşehir Graben, Afyon), Geological Bulletin of Turkey, 60, 169-188.

- Özocak, A., Çetin, M., 2016, Farklı Kil Oranına Sahip Siltli Zeminlerin Dinamik Davranışı, Engineering and Science, 3-5 November, Antalya.
- Özyazıcıoğlu, M., Dönmezçelik, K., Orhan, S.N., Özkan, M.Y., 2019, Erzincan İli Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Mikrobölgeleme Çalışması, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5, 247-256.
- Phillips, C., Hashash, Y.M.A., 2009, Damping Formulation for Nonlinear 1-D Site Response Analyses, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29, 1143-1158.
- Pitilakis, K., 2004, Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 139-197, Netherlands.
- Pruiksma, J.P., 2016, Nonlinear and Equivalent Linear Site Response Analysis For The Groningen Area, TNO 2016 R10460, 37.
- Rathje, E.M., Kottke, A.R., 2011, Relative Differences Between Equivalent Linear and Nonlinear Site Response Methods, 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago, Chile.
- Richard, F.E., Hall, J.R., Wood, R.D., 1970, Vibrations of Soils and Foundations, Prentice Hall International Series In Theoretical and Applied Mechanics, New Jersey, USA.
- Saita, J., Nakamura, Y. and Sato, T., 2012, Liquefaction Caused by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and the Result of the Prior Microtremor Measurement, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal.
- Savaş, H., Tosun, H., Türköz, M., Orhan, A., Seyrek, E., 2012, Eskişehir Çifteler İlçesi Temel Zeminin Statik ve Dinamik Davranışının İncelenmesi, ESOĞÜ-BAP “201015012” No’lu Proje Sonuç Raporu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 90, Eskişehir.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97, 1249-1273.

- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1982, Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes, Earthquake Research Institute, Berkeley, California.
- Seed, R.B., Çetin, K. Ö., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu J., vd., 2003, Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework, 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, California, 4.
- Selçuk, M.E., Kılıç, H., Özaydın, K., 2007, Kalın Zemin Çökellerinde Eşdeğer Doğrusal ve Nonlinear Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 197-198, İstanbul.
- Seyrek, E., 2020, Yeni Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Ege Bölgesi İçin Değerlendirilmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9, 414-423.
- Sitharam, T.G., Anbazhagan, P., 2007, Seismic Hazard Analysis for Bangalore Region, Journal of Natural Hazards, 40, 261-278.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.-1900 A.D.), TÜBİTAK Rapor No: TBAG-341, 171.
- Sönmezer, Y.B., 2016, Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikrobölgelemesi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kırıkkale.
- Stewart, J.P., Liu, A.H., Choi, Y., 2003, Amplification Factors for Spectral Acceleration in Tectonically Active Regions. Bulletin of The Seismological Society of America, 93, 332-352.
- Stone, A.A., Reed, B.R., Neale, J.M., 1987, Changes In Daily Event Frequency Precede Epidoses of Physical Symptoms, Journal of Human Stress, 70-74.
- Subaşı, O., Haşal, M., Özaslan, B., İyisan, R., Yamanaka, H., Chimoto, K., (2019), Bir Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması, Teknik Dergi, 552, 9459-9481.

- Şen, G., 2004, Gümüşler Belediyesi Mücavir Alanının Sıvılaşma Analizi ve Coğrafi Bilgi Sisteminde Uygulaması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147, Denizli.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008, The Earthquakes Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 405-418.
- Taşdelen, S., Çelik, S.B., Akyol, E., 2016, Irgılı Beldesi (Denizli) Yerleşim Alanının Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 213-219.
- TCEGE, Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. Publication of the Japanese Geotechnical Society, Revised Version, 209, 1999.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1967, *Soil Mechanics In Engineering Practice*, Second Edition, A Wiley International Edition, New York.
- Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Sözbilir, H., Uysal, M., 2018, Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in The Western Part of The Sultandağı Fault In Turkey, *Annals of Geophysics*, 61, 335.
- Tolluoğlu, Ü.A., Erkan, Y., Yavaş, F., 1997, Afyon Metasedimenter Grubunun Mesozoyik Öncesi Metamorfik Evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 40, 1-17.
- Tonaroğlu, M., 2006, Sıvılaşmanın Nümerik Yöntemlerle Modellenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 150, İstanbul.
- Toprak, S. and Jinguuji, M., 2006, A New Test for Liquefaction Prediction: Electrical Resistivity Vibration Penetration Test, Eighth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, April 18-22, San Francisco, California.
- Toprak, S., Jinguuji, M., Manav, Y. and Manav, R., 2016, Soil Liquefaction At Hinode Area During 2011 Great East Japan Earthquakes, 4th International Conference on New Developments In Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, TRNC,535-541, June 2-4, Near East University, Nicosia.

- Toprak, S., Nacaroglu, E. and Koç, A. C., 2015, Seismic Response of Underground Life Line Systems, Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology, 2, 23-31.
- Toprak, S., Nacaroglu, E., O'Rourke, T. D., Koc, A. C., Hamada, M., Cubrinovski, vd., 2014, Pipeline Damage Assesment Using Horizontal Displacements from Air Photo and LIDAR Measurements Avonside Area, Christchurch, NZ, The Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 156-164.
- Tosun, H. ve Orhan, A., 2007, Coğrafi Bilgi Sistemi Programlarının Temel Zemininin Jeo Mühendislik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanımı: Eskişehir Örneği, ESOĞÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20, 43-64, Eskişehir.
- Tosun, H., 2002, Dolgu Baraj Depremselliği ve Tasarım Esasları, DSİ Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 45-74.
- Tosun, H., Seyrek, E., Orhan, A., Savaş, H., Türköz, M., 2011, Soil liquefaction Potential In Eskişehir, NW Turkey, Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1071-1082.
- Tunçel, A., Özdağ, Ö.C., Pamuk, E., Akgün, M., 2019, Mikrotremor Verisi Kullanılarak Zeminlerin Dinamik Büyütme Faktörü Değerlerinin Hesaplanması: İzmir (Kuzey) Örneği, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34, 43-52.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, Tarih: 18 Mart 2018, 30364.
- Ulusay, R., 2000, Zemin Sıvılaşması, Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi, 2, 47-54.
- Ulutaş, E., 2006, Doğu Marmara Sismik Bölgeleme, Kocaeli İl Sınırları ve İzmit Yerleşim Alanının Sismik Mikrobölgelemesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli.
- Ulutürk, Y., 2009, Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) dolayının jeolojisi ve suların kökensel yorumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.

- Ural, N., ve Gündüz, Z., 2007, Zeminlerde Sıvılaşma ve Taşıma Gücü Kayıpları, International Earthquake Symposium, 22-26 Ekim, Kocaeli, 506-509.
- Utku, M., Danışman, M. A., Akyol, N., Akçığ, Z., 2003, Afyon ve Çevresinin Depremselliği: 03 Şubat 2002 Çay Depremi Eşşiddet Haritası ve Deprem Riski, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 27, 18-34.
- Uyanık, O., 2002, Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 218, İzmir.
- Uzunoglu, S. H., 2019, Aydın İl Merkezinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Vucetic, M., Dobry, R., 1991, Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117, 89-107.
- Wang, W.S, 1979, Some Findings in Soil Liquefaction, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, China, 1-17.
- Wei, L.M., Yang, J., 2014, On the Role of Grain Shape In Static Liquefaction of Sand Fines Mixtures, Geotechnique, 64, 740-745.
- Yağcı, B., 2005, Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir.
- Yağcı, B., Ansal, A., 2009, Balıkesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması, Teknik Dergi, 20, 4583-4607.
- Yalçınkaya, E., 2002, Zemin Özelliklerinin Deprem Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi Örnekleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yamaguchi, A., Mori, T., Kazama, M. and Yoshida, N., 2012, Liquefaction in Tohoku District During The 2011 Off The Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Soils Foundation, 52, 811-829.
- Yasuda, S., Harada, K., Ishikawa, K. and Kanemaru, Y., 2012, Characteristics of Liquefaction in Tokyo Bay Area by The 2011 Great East Japan Earthquake, Soils Foundation, 52, 793-810.

- Yegian M.K, Gharaman V.G, Harltılnyan, R.N., 1994, Liquefaction and Embankment Failure Case Histories, 1988 Armenia Earthquake, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE,117, 35-50.
- Yıldız, A., Dumlupınar, İ., Bağcı, M., Ulutürk, Y., Başaran, C., Erdoğan, E., 2012, Afyonkarahisar ve Çevresinin Depremselliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F., 1998, Geology of The Quaternary Volcanic Centers of The East Anatolia, Journal Volcanol Geoterherm, 85, 173-210.
- Youd T.L., 1985, The Borah Peak, Idaho Earthquake of October 28, 1983-Liquefaction, Earthquake Spectra, 2, 71-89.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., 2001, Liquefaction Resistance of Soils, Summary Report From The NCEER and NSF Workshops, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, 127, 817-833.
- Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç., Selçuk, L., 2003, Could the Coseismic Fractures of a Lake Ice Reflect The Earthquake Mechanism? (Afyon Earthquakes of 2 February 2002, Central Anatolia, Turkey), Geodinamica Acta, 16, 83-87.
- Zarif, İ.H., Özçep, F., Seyyar, T., 2004, Yalova'daki Alüvyon Zeminlerin Sıvılaşma Tehlike Analizi, 16. Uluslararası Jeofizik Kongresi, Ankara.
- Zhang, Y., Yao, S., Christie, S.R., 2013, Non-Linear and Equivalent Linear Site Response Analysis for The İzmit Bay Bridge, Cesedininse of The 3rd International FLACDEM Symposium, Hangzhou, P.R. China.

İnternet Kaynakları:

- 1) AFAD, 2018, <https://deprem.afad.gov.tr> , 24.07.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Süleyman GÜCEK
Doğum Yeri ve Tarihi : Adana 29.09.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : sgucek@aku.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Abdülkadir Paksoy Lisesi (2000-2003)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği,
(2005-2009)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Yapı ABD (2009-2011)
Doktora : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği ABD (2014-2020)
Çalıştığı Kurum ve Yıl : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü (2013-Devam Ediyor)

Yayınları (SCI ve diğer)

Zorluer, İ., Gücek, S., 2020, The Usability Of Industrial Wastes On Soil Stabilization.
Revista De La Construcción, 19(1), 80-89.

Gücek, S., Zorluer, İ., 2020, Standart Penetrasyon Testi (SPT) İle Afyonkarahisar
Merkez Uydükent Bölgesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması,
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(2),
118-126.

Zorluer, İ., Gücek, S., 2019, Şişen Killerin Mermer Tozu Katkı Maddesiyle
Stabilizasyonu, International Symposium on Innovations in Civil Engineering
and Technology, 23 - 25 October, Afyonkarahisar, Turkey.

- Zorluer, İ., Gücek, S., 2019, Standard Penetrasyon Testi (SPT) ile Afyonkarahisar Merkez Uydu Kent Bölgesi Zeminlerinin Sıvılaştırma Potansiyelinin Araştırılması, 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 22-24 November, Şanlıurfa, Turkey.
- Gücek, S., Zorluer, İ., 2019, Afyonkarahisar Uydu Kent Bölgesinin Zemin Mühendislik Özellikleri Haritalarının Üretilmesi Ve Bölgenin Zemin Büyütmesinin Belirlenmesi, International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, 23 - 25 October, Afyonkarahisar, Turkey.
- Göksu, S., Şen, M. A., Gücek, S., 2019, İnşaat Sektörü, Faiz Oranı ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin Analizi: Türkiye Örneği (2002-2019), EKEV Akademi Dergisi, 23, 80, 465-482.
- Zorluer, İ., Gücek, S., 2019, Afyonkarahisar Uydu Kent Bölgesinin Sismik Kırılma Yöntemi Sonuçlarının Mikrobölgeleme Esasına Göre Değerlendirilmesi, International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, 23 - 25 October, Afyonkarahisar, Turkey.
- Zorluer, İ., Gücek, S., Uygunoğlu, T., 2018, Composite Modeling On Modulus Of Elasticity Of Layered Clay Soils, Gece Kitaplığı, 1, 39-50.
- Zorluer, İ., Gücek, S., 2017, Usage Of Fly Ash And Waste Slime Boron For Soil Stabilization, Periodicals Of Engineering And Natural Sciences, 5(1), 51-54.
- Zorluer, İ., Gücek, S., 2017, Usage Of Fly Ash And Granite Dust For Soil Stabilization, 5rd International Symposium on Innovative Technologies In Engineering and Science, 29-30 September, 532-538, Bakü-Azerbaycan.
- Zorluer, İ., Gücek, S., 2016, Zemin İyileştirmede Endüstriyel Atıkların Dayanıma Etkisi, AKÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı 16, 244-248.
- Gücek, S., Zorluer, İ., 2016, Killi Zeminlerde Su Muhtevası-Dayanım İlişkisi, 1st International Conference On Engeneering Technology And Applied Sciences, 21-22 April, 1650-1654, Afyonkarahisar-Turkey.
- Gücek, S., Zorluer, İ., 2015, Katkılı Zemin İyileştirmede Kür Süresi Ve Zemin Suyunun Etkisi, 6. Geoteknik Sempozyumu Çukurova Üniversitesi, 26-27 Kasım, Adana-Turkey.

Zorluer, İ., Gücek, S., 2014, The Effects Of Marble Dust And Fly Ash On Clay Soil, Science And Engineering Of Composite Materials, 21(1), 59-67.

Gürer, C., Akbulut, H., Düşmez, C., Sürüç, O., Gevrek, L., Karlı, T., Gücek, S., 2014, Karayollarında Yüzey Sürtünme Özelliklerinin Karayolu Trafik Güvenliğine Etkileri, 5. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Ankara.

Zorluer, İ., Gürer, C., Çetin, S., Gücek, S., 2013, Granit Atığının Temel Tabakası Stabilizasyonunda Kullanılabilirliği, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 222-229, Ankara.

