

T.C
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ESKİŞEHİR YERLEŞİM YERİ ZEMİNİN BÜYÜTME
ETKİSİNİN MAKASLAMA DALGA HIZINA (V_s) BAĞLI
OLARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. ASLI BELİCELİ

Balıkesir, Eylül-2006

T.C
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ESKİŞEHİR YERLEŞİM YERİ ZEMİNİN BÜYÜTME ETKİSİNİN
MAKASLAMA DALGA HIZINA (Vs) BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Ash BELİCELİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN

Sınav Tarihi : 13/ 09/ 2006

Juri Üyeleri : Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN (Danışman - BAÜ)

Prof. Dr. Can AYDAY (ANADOLU Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Ali Murat KILIÇ (BAÜ)

Balıkesir, Eylül-2006

ÖZET

ESKİŞEHİR YERLEŞİM YERİ ZEMİNİN BÜYÜTME ETKİSİNİN MAKASLAMA DALGA HIZINA (Vs) BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

ASLI BELİCELİ

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN)

Balıkesir, 2006

Deprem hareketi altında yapı hasarına sebep olan en önemli faktörlerden birisi de yerel zemin koşullarıdır. Bu yüzden sismik riski yüksek Eskişehir’de yerel zemin koşullarındaki değişimin belirlenmesi, oluşabilecek hasarların en aza indirilmesi açısından önem arz etmektedir. Yerleşim alanı içerisinde 32 farklı noktada Sismik Konik Penetrasyon (SCPT) Testi, 247 farklı noktada Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve 41 noktada Sismik Kırılma verisi toplanmıştır. Arazi deneylerinden bulunan SPT-N darbe sayısı ve SCPT’den elde edilen uç direnç (qc) gibi zeminlerin rijitliğini ifade eden parametreler ile makaslama dalga hızına bağlı olarak ampirik yaklaşımlarla yerel zemin şartlarındaki değişimin büyütme üzerine etkisi araştırılmıştır. Yine her sondaj noktasında SPT-N sayılarından derinlik boyunca literatürdeki her tür zemin için İyisan (1996), sitli, killi, kumlu birimler için Lee (1999), çakıllı birimler için Ohto ve Goto (1978) bağıntıları kullanılarak 30 m için ortalama makaslama dalgası hızları hesaplanmış; Midorikawa (1987), Joyner & Fumal (1984), Borcherdt vd. (1991) bağıntıları ile de göreceli zemin büyütme hesaplanmıştır. Konik Penetrasyon testinden elde edilen uç mukavemetin kumlarda relatif sıkılığın bir fonksiyonu olması, dane dağılımı, yatay gerilme ve derinliğin uç direncini etkileyen önemli faktörlerden olması, bu tez çalışması kapsamında uç direnci zeminlerin mukavemet parametrelerinin belirlenmesinde kullanıldığı gibi tek başlarına büyütmenin bir fonksiyonu olarak da kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Bunun için çeşitli derinlikte ölçülen qc’lerin ağırlıklı ortalamaları alınarak, her CPT noktası bir eşdeğer qc değeri ile tanımlanmıştır ve 155 farklı derinlikten bağıl olarak zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte zemin büyütme parametrelerinin bölgedeki değişimini 3 Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojisi kullanılarak modellenmiş, araziden yerinde elde edilen veya darbe sayılarından dönüştürülen makaslama dalgası hızı (Vs) değerleri kullanılarak çalışma alanının National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)’ye göre yer sınıflaması yapılmış ve bu sınıflama büyütme karşı zemin davranışı gösterebilecek alanlarla karşılaştırılmış, zeminin zemin hakim titreşim periyodunun (To) hesaplanmasına çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Makaslama Dalga Hızı, Zemin Büyütme / Uç direnç / Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)/ Standart Penetrasyon Testi (SPT) / Sismik Konik Penetrasyon Testi (SCPT)

ABSTRACT

INSPECTION OF THE SHEAR WAVE VELOCITY (V_s) CHANGE BY THE SOIL PROPERTIES AND DETERMINED OF SOIL AMPLIFICATION IN THE ESKİSEHİR URBAN AREA

ASLI BELİCELİ

Balıkesir University, Institute of Science, Department of Geology Engineering

(MSc. Thesis / Supervisor: Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN)

Balıkesir, Turkey-2006

One of the major factors affecting the vulnerability of engineering structures during earthquakes is local site conditions. So, the investigation of the variation of local site conditions within a Eskisehir Region has an important influence in order to mitigate earthquake hazard. Totally 32 different points were selected and Seismic Conic Penetration Tests (SCPT), 247 points Standart Penetration Testing (SPT) and 41 points Seismic Refraction were applied in these locations. Soil sampling (N-value) was obtained in-situ penetration tests and conic tip resistance (q_c) in seismic conic penetration test, they shows rigidity parameter of soil. This parameters are connected with relative approaches on based shear wave velocity was investigated local site condition variation upon amplification influence. For example; for every type soil İyisan (1996), for silty, clay, sandy Lee (1990) and for gravelly soil Ohto & Goto (1978). In this study, properties of the soil transfer function have been investigated for the different parameters, for example depths and S-wave velocities of soil layers by using, 1D modelling method. For study area, relative amplifications has been calculated by Midorikawa (1987), Joyner & Fumal (1984) and Borcherdt et al's (1991) approaches. The values like conic penetration test tip resistance q_c were obtained during the CPT tests. q_c ; the most important parameter for determining soil type, mean grain size, horizontal pressure and depth. For this reason therefore were accumulated q_c mean-value of different depth and for each CPT points were described equivalent q_c . Finally were studied 155 different layer and some empirical relations were calculated for estimating the soil amplification. The Shear Wave velocity (V_s) values obtained from the relation were used for the susceptibility of the studied area deposit to ground motion amplification according to the National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP) and according to soil amplification map, soils are fitted into the soil classification The natural period (T_0) of the studied area alluvial deposits were calculated. In the end, the all obtained data were interpreted by using geographic information system (GIS) techniques.

KEY WORD : Shear wave velocity (V_s) / Soil amplification / conic penetration test tip resistance (q_c) / Geographic information system (GIS) / Standart Penetration Testing (SPT) / Seismic Conic Penetration Test (SCPT).

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI	2
3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ	2
4. ZEMİN BÜYÜTME KONUSUNDA ÖN BİLGİLER	5
4.1 Yerel Zemin Etkisi	5
4.1.1 Empedans Oranı ve Rezonans Etkisi	6
4.1.2 Havza Altı Topografyasına Bağlı Olarak Oluşan Odaklanma	11
4.1.3 Havza Kenarlarından Oluşan Yüzey Dalgaları	12
4.1.4 Topografya Etkisi	13
4.2 Doğrusal Olmayan Zemin Davranışı	14
5. ÖNCELİKLİ ÇALIŞMALAR	16
5.1 Depremsellik Çalışmaları	16
5.2 Jeolojik Birim ile Sismik Şiddet Arasındaki İlişki	17
5.3 Ayrıntılı Çalışmalar	22
5.4 Makaslama Dalga Hızının Zemin Büyütme Çalışmasındaki Önemi	25
6. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ	29
6.1 Çalışma Alanının Konumu	29
6.2 İklim Ve Topografya	30
6.3 Çalışma Alanının Jeolojisi	31
6.3.1Yerel Jeoloji	31
6.3.2 Jeofizik Özdirenç Çalışmaları	38
6.3.3 Yapısal Jeoloji	40
6.3.3.1 Oluşum Yaşlarına Göre Eskişehir Civarında Faylar	40
6.3.3.2 Konumlarına Göre Eskişehir Civarı Fayları	42
6.4 Eskişehir ve Civarının Sismotektonik Özellikleri	44

7. ESKİŞEHİR YERLEŞİM YERİ ZEMİNLERİNİN YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI VE ZEMİN BÜYÜTME DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ	48
7.1 Giriş	48
7.1.1 Doğrusal Ekstrapolasyon	49
7.2 Yerel Zemin Büyütme Değerinin (SPT)'den Elde Edilen Vs Yardımı ile Belirlenmesi	50
7.3 Yerel Zemin Büyütme Değerinin Konik Penetrasyon (CPT) Deneyi ile Belirlenmesi	58
7.3.1 Saha Verilerinin Değerlendirilmesi	60
7.4 Yerel Zemin Büyütme Değerinin Sismik Kırılma Ölçümleri ile Belirlenmesi	72
7.4.1 Sismik Hız ve Elastik Dalgalar	72
7.4.2 Saha Verilerinin Değerlendirilmesi	75
7.5 Tüm Arazi Verilerinin Büyütme Etkisine Göre Birlikte Yorumlanması	78
7.6 Çalışma Alanının Hakim Titreşim Peryodunun Belirlenmesi ve NEHRP Yer Sınıflaması	85
8. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ BELİRLENMES İÇİN YAPILAN DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALAR ARASINDAKİ İSTATİSTİKSEL İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI	95
8.1 Giriş	95
8.2 CPT-SCPT Uygulama Noktalarındaki İstatistiksel İlişkiler	97
8.3 Sondaj (SPT) Uygulama Noktalarındaki İstatistiksel İlişkiler	103
8.4 Sismik Kırılma Uygulama Noktalarındaki İstatistiksel İlişkiler	109
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	117
10. KAYNAKLAR	121

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge Adı</u>	<u>Tanımı</u>	<u>Birimi</u>
CPT	Konik Penetrasyon Testi	
SPT	Standart Penetrasyon Testi	
SCPT	Sismik Konik Penetrasyon Testi	
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program	
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri	
UTM :	Universe Transverse Mercator	
To :	Zemin Hakim Peryodu	
ξ	Zemin Sönümü	
G_{max}	Maksimum Kayma Modülü	
G/G_{max}	Modül Azalım Faktörü	
PI	Plastisite İndisi	
AHSA	Ortalama Yatay Spektral Büyütme	
A_k	Zemin Büyütme Oranı	
OCR	Aşırı Konsolidasyon Oranı	
DES	Düşey Elektrik Sondaj	
ϕ	Porozite	
F_c	Konik Uca Etkiyen Kuvvet	N
F_s	Sürtünme Koluna Etkiyen Yanal Sürtünme	N
H	Zemin Tabakası Kalınlığı	m
N_{60}	SPT Enerji Oranı	
R_f	Sürtünme Oranı	%
S	Makaslama Dalgası	
V_s	Makaslama Dalgası Hızı	m/s

F_s	Yanal Sürtünme	Mpa
q_c	Uç Direnç	Mpa
r	Korelasyon katsayısı	
σ	Poisson oranı	
E	Elastisite modülü	kg/m ²

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1.1	Zemin büyütmesini etkileyen faktörler	6
Şekil 4.1.2	Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği	7
Şekil 4.1.3	Farklı zemin tabakası hızları (Vs) için hesaplanan büyütme fonksiyonları	8
Şekil 4.1.4	Rijit taban kayası üzerinde yer alan zemin profilleri	9
Şekil 4.1.5	A, B ve C sahalarına ait büyütme fonksiyonları	9
Şekil 4.1.6	S-dalgası geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının değişimi	10
Şekil 4.1.7	Ana kaya derinliğinin (a) belirli olmaması ve (b) belirli olması durumları için hesaplanan büyütme fonksiyonları	11
Şekil 4.1.8	Havza altı topografyasına bağlı olarak oluşan odaklanmanın grafiksel gösterimi	12
Şekil 4.1.9	Coachella Vadisinde (California) gözlenen havza kenarlarından oluşan dalgalar	13
Şekil 4.1.10	Büyütme faktörünün plastisite indisleri ile değişimi	15
Şekil 4.1.11	Büyütme faktörünün kum ve kil ortamlarında frekansa göre değişimi	15
Şekil 5.1	Bağıl büyütme faktörlerinin karşılaştırılması	25
Şekil 6.1.1	Çalışma alanının yer bulduru haritası	29
Şekil 6.2.1	Eskişehir Ovası civarındaki İnönü ve Alpu Ovaları	30
Şekil 6.3.1	Çalışma alanının ayrıntılı jeoloji haritası	31
Şekil 6.3.2	Çalışılan bölgenin stratigrafik kolon kesiti	32
Şekil 6.3.3	Orhangazi mahallesinde (Karabayır) gabro yüzeylemesi	33
Şekil 6.3.4	Mamuca Formasyonu içinde konglomera- merceklenmesi	34

Şekil 6.3.5	Porsuk Formasyonu gözlenen sarı kumtaşları	35
Şekil 6.3.6	Tüf-marn-kil ardalanması	36
Şekil 6.3.7	Tepebaşı'nda yüzeyleyen eski alüvyon	37
Şekil 6.3.8	Yeni alüvyon profili	38
Şekil 6.3.9	Çalışma alanında özdirenç ölçüm noktaları ve alüvyon kalınlığı haritası	39
Şekil 6.3.10	Çalışma alanını içine alan bölgenin sayısal alüvyon kalınlığı modeli	39
Şekil 6.3.11	Sultandere Köyü batısında taş ocağında gözlenen fay	41
Şekil 6.3.12	Uydu görüntüsünde Eskişehir'in güneyinden geçen fayın konumu	42
Şekil 6.4.1	Türkiye deprem bölgeleri haritası	44
Şekil 6.4.2	Eskişehir yerleşim yeri ve civarının sismik aktivite durumu ve deprem kaynak alanları	45
Şekil 7.2.1	Çalışma alanında SPT uygulama noktaları	51
Şekil 7.2.2	SPT verileri için kayma dalga hızının derinlikle değişimi	52
Şekil 7.2.3	Yeni Alüvyon birimi üzerinde açılmış sondaj kuyusuna ait zemin profili	53
Şekil 7.2.4	Zemin tipinin bağıntılara etkisi (V_s - N ilişkisi)	54
Şekil 7.2.5	Plastisite indisi ile zemin büyütme ilişkisi	55
Şekil 7.2.6	Zemin büyütme (A_k) – kayma dalgası (V_s) ilişkisi	56
Şekil 7.2.7	Zemin tipinin V_s - A_k bağıntısına etkisi	57
Şekil 7.2.8	Çalışma alanının SPT uygulama noktalarının Midorikawa (1987)'e göre zemin büyütme değişimi	57
Şekil 7.3.1	Anadolu Üniversitesinin CPT sondaj aleti	59
Şekil 7.3.2	Çalışma alanının alanında SCPT uygulama noktaları	60
Şekil 7.3.3	Çalışma sahasının Robertson vd. (1986) zemin sınıflama yöntemine göre oluşturulmuş modeli	61
Şekil 7.3.4	SCPT verilerine göre derinlik- kayma dalgası hızı ilişkisi	62

Şekil 7.3.5	Kayma dalga hızının CPT uç direnci ile değişimi	64
Şekil 7.3.6	Büyütmenin CPT uç direnci ile değişimi	65
Şekil 7.3.7	SCPT uygulama noktaları için; a)Kayma dalgası hızı – zemin büyütme ilişkisi b) N_{60} - zemin büyütme ilişkisi	66
Şekil 7.3.8	Uç dirence bağlı zemin büyütme değişimi	67
Şekil 7.3.9	SCPT uygulama noktaları için zemin büyütme- kayma dalgası hızı ilişkisi	68
Şekil 7.3.10	Çalışma alanının SCPT uygulama noktalarının Midorikawa (1987)'e göre zemin büyütme değişimi	69
Şekil 7.3.11	Çalışma alanını içine alan bölgenin 3-B zemin büyütme modeli	70
Şekil 7.3.12	3 Boyutlu CBS kullanılarak elde edilen zemin türü ve zemin büyütme olasılığı çok yüksek olduğu yerlerin karşılaştırılması	71
Şekil 7.4.1	Ortalama hız bağıntısının elde edilişi	72
Şekil 7.4.2	Sismik hızlara etki eden faktörler	73
Şekil 7.4.3	S Dalgasının yayıldığı ortamda meydana getireceği deformasyon	74
Şekil 7.4.4	Sismik kırılma verilerine göre derinlik- kayma dalgası ilişkisi	76
Şekil 7.4.5	Sismik kırılma uygulama noktaları için zemin büyütme- kayma dalgası ilişkisi	77
Şekil 7.5.1	Tüm verilere göre derinlik- kayma dalgası ilişkisi	78
Şekil 7.5.2	Zemin büyütme (A_k) ve kayma dalga hızı (V_s) bağıntılarının karşılaştırılması	80
Şekil 7.5.3	Eskişehir yerleşim yerinin Midorikawa (1987) Zemin Büyütme Haritası	81
Şekil 7.5.4	Eskişehir yerleşim yerinin Joyner&Fumal (1984) Zemin Büyütme Haritası	82
Şekil 7.5.5	Çalışma alanı Borchardt ve diğ. (1991) yaklaşımı kullanılarak bağıl büyütme haritası (Zayıf hareket)	83
Şekil 7.5.6	Çalışma alanı Borchardt ve diğ. (1991) yaklaşımı	

	kullanılarak bağıl büyütme haritası (Kuvvetli hareket)	84
Şekil 7.6.1	Çalışma alanının zemin hakim periyodunun (T_0) değişimi	89
Şekil 7.6.2	Çalışma alanında belirlenen T_0 değerleri frekans histogramı	91
Şekil 7.6.3	NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program)	92
Şekil 7.6.4	NEHRP yer sınıflaması ve göreceli zemin haritasının karşılaştırılması	94
Şekil 8.2.1	Çalışma alanındaki a) SCPT verisinin zemin türü ve b) uç direnç frekans histogramı	97
Şekil 8.2.2	SCPT verisinin V_{sara} hızı ve zemin büyütme frekans histogramı	97
Şekil 8.2.3	Farklı zemin türlerinin zemin büyütme (A_k) frekans histogramları	98
Şekil 8.2.4	SCPT verisinin zemin hakim periyodu değerleri frekans histogramı	99
Şekil 8.2.5	Konik uç mukavemeti (q_c) ile N_{60} arasındaki ilişki	100
Şekil 8.2.6	a)Kayma dalgası (V_s) ile zemin büyütmesi ilişkisi b) $V_{s,30}$ ile zemin büyütme arasındaki ilişki	101
Şekil 8.2.7	Zemin hakim titreşim periyodu ile zemin büyütmesi arasındaki ilişki	101
Şekil 8.2.8	Zemin büyütme değerinin sürtünme koluna etkileyen yanal sürtünme, sürtünme oranı (%) ile ilişkisi	102
Şekil 8.2.9	Zemin büyütme frekans dağılımları	102
Şekil 8.3.1	SPT-N darbe sayılarına karşılık gelen kayma dalgası hızlarının frekans histogramı	103
Şekil 8.3.2	Sondaj uygulamalarının zemin türü frekans histogramı	103
Şekil 8.3.3	SPT-N uygulama noktaları için zemin büyütme frekans histogramı	105
Şekil 8.3.4	SPT-N frekans histogramı	105
Şekil 8.3.5	Çalışma alanının T_0 frekans histogramı	105

Şekil 8.3.6	Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre tanımlanan çalışma alanındaki zeminlerin dağılımı	106
Şekil 8.3.7	Kayma dalgası hızı (V_{sort}) -zemin büyütme (Midorikawa) ilişkisi	107
Şekil 8.3.8	Zemin hakim periyodu (T_0) -zemin büyütme ilişkisi	107
Şekil 8.3.9	Plastisite indisi - zemin büyütme (A_k) ilişkisi	107
Şekil 8.3.10	SPT verileri için zemin büyütme frekans dağılımı	108
Şekil 8.4.1	Kayma dalgası (V_s) frekans histogramı	109
Şekil 8.4.2	Zemin hakim periyodu (T_0) frekans histogramı	111
Şekil 8.4.3	Zemin büyütme (Midorikawa) frekans histogramı	111
Şekil 8.4.4	Poisson Oranı (σ) frekans histogramı	111
Şekil 8.4.5	Elastisite Modülü (E) frekans histogramı	112
Şekil 8.4.6	Kayma Modülü (G_{max}) frekans histogramı	112
Şekil 8.4.7	Bulk (sıkışmazlık / incompressibility) modülü frekans histogramı	113
Şekil 8.4.8	Zemin büyütme (Tezcan&İpek, 1974) frekans histogramı	113
Şekil 8.4.9	Makaslama dalga hızı (V_s) - zemin büyütme (A_k) ilişkisi	114
Şekil 8.4.10	Zemin hakim periyodu (T_0) - zemin büyütme ilişkisi (A_k)	115
Şekil 8.4.11	Poisson oranı (σ) - zemin büyütme ilişkisi (A_k)	115
Şekil 8.4.12	Elastisite modülü (E) – zemin büyütme ilişkisi (A_k)	115
Şekil 8.4.13	Kayma Modülü (G_{max}) – zemin büyütme ilişkisi (A_k)	116
Şekil 8.4.14	Bulk (sıkışmazlık / incompressibility) modülü (k)	116
Şekil 8.4.15	Zemin büyütme frekans dağılımları	116

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.2	Jeolojik birimler ile sismik şiddet artımı arasındaki ilişki	18
Tablo 5.3	Çeşitli jeolojik birimlere göre Borchardt & Gibbs (1976), Shima (1978) ve Midorikawa (1987) tarafından verilen bağlı büyütme katsayıları	19
Tablo 5.4	Kuvaterner sedimentler için Lajoie ve Helley (1975) tarafından geliştirilen makaslama dalga hızları	20
Tablo 5.5	Zeminin büyütme karşı davranışının Finn (1993)'e göre sınıflandırılması	21
Tablo 5.6	SPT darbe sayısı (N) ile kayma dalgası hızı arasındaki ampirik korelasyonlar	23
Tablo 5.7	Büyütme oranları ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar	24
Tablo 6.1	UTM koordinatları ile tanımlı çalışma alanının koordinatları	30
Tablo 7.2.1	Plastisite indisi ile plastisite derecesi ilişkisi	55
Tablo 7.6.1	Türkiye deprem şartnamesi (1975) zemin sınıflandırması ve zemin hakim periyodu	87
Tablo 7.6.2	N katlı bir bina için bina hakim periyodu	90
Tablo 7.6.3	NEHRP 2000 hükümlerindeki zemin sınıfları	92
Tablo 8.2.1	Zemin büyütme, makaslama dalgası hızı (Vs), uç direnç (qc), ve zemin hakim periyod değerlerinin tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları	100
Tablo 8.3.1	SPT'e bağlı parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel sonuçları	105
Tablo 8.4.1	Sismik kırılma ölçümlerine bağlı parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel sonuçları	114

ÖNSÖZ

Tezin bölümlerini gözden geçirerek çeşitli önerileri ile destek veren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN 'a teşekkür ederim, tez çalışmamın en başından itibaren tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi aşamasında bana yardımcı olan bilgi ve görüşleri ile çalışmama yön veren Sayın Prof. Dr. Can AYDAY 'a teşekkürlerimi sunarım.

Literatür araştırmalarım esnasında bana yardımcı olan Sayın Dr. Banu YAĞCI 'ya, teşekkür ediyorum.

Canım Annem Nilgün BELİCELİ ve Kıymetli Babam Ayhan BELİCELİ' ye sonsuz sevgi ve hoşgörü gösterdikleri; bugüne kadar gelmemde, maddi ve manevi desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim, iyi ki varsınız..

Balıkesir, 2006

ASLI BELİCELİ

1. GİRİŞ

Yeryüzüne yakın ve sağlam bir kaya üzerinde yer alan zemin, deprem nedeniyle oluşan dalgaları filtreleyerek bazı periyottaki genlikleri arttırırken bazı periyottaki genlikleri de azaltabilmektedir. Bu olgu genellikle "zemin büyütmesi" olarak bilinmektedir [1].

Dinamik etkiler altında, yapılarda hasara sebep olan en önemli faktörlerden birisi de yerel zemin koşullarıdır. Ana kaya ile ana kayayı üstleyen birim arasında, deprem dalgaları için bir geçiş ortamı oluşturan yerel zemin koşulları, oldukça önemli rol oynar. Depremlerde sadece yerel zemin koşullarının sebep olduğu hasarlar; yerel şartların deprem dalgaları üzerindeki büyütme etkisi, sıvılaşma sebebiyle temel zeminin tamamen mukavemetini kaybetmesi, şev kaymaları ve heyelanlar sebebiyle meydana gelen büyük yer değiştirmeler ve temel zeminin sıkılaşması ile meydana gelen oturmalar şeklinde sıralanabilir. Bunlardan sıvılaşma, şev kaymaları ve heyelanlar özel topografik ve yerel zemin şartlarında meydana gelebilirler. Ancak deprem dalgaları üzerinde yerel zemin koşullarının büyütme etkisi, her depremde meydana gelir ve pek çok depremde üst yapı hasarlarının asıl sebebi olarak ortaya çıkmıştır [8]. (1967 Caracas, Venezuela depremi [2]; 1985 Meksika depremi [3], 1970 Gediz [4], 1992 Landers depremi [5], 1989 Loma Prieta [6] , 1999 Kocaeli depremi [7]).

Bir bölgedeki zemin tabakalarının büyütme potansiyelinin yüksek olması, bölgede yer alan yapıların depremler esnasında hasar göreceği anlamına gelmez. Hasar, depremin, üst yapının ve zemin tabakalarının frekansa bağlı davranışları arasındaki etkileşimin derecesine ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak çeşitli derecelerde meydana gelebilir yada hiç hasar görmez [8]. Zemin tabakaları ile üst yapının aynı periyotta hareket etmesi, hasar potansiyelini arttıran önemli bir durum iken, deprem dalgalarının hakim titreşim periyodunun da aynı değerde olması daha da önemli bir durumdur. Bu durum hem zemin tabakalarının hem de üst yapının rezonansa uğraması söz konusudur ve çifte rezonans olarak adlandırılır [9].

Yer hareketi üzerinde yerel etkilerin neler olduğu konusu incelenirken, bir bölgede;

- Yeryüzüne ulaşan deprem dalgalarının özelliklerinin nasıl olduğu,
- Yerel zemin ve topografik şartların nasıl olduğu,
- Yer hareketinin etkilerini göstermek için hangi parametrelerin kullanıldığı, konularının dikkate alınması gerekmektedir.

Çünkü;

- Depremlerde ortaya çıkan dalgaların özelliklerine bağlı olarak bölge farklı davranışlar gösterebilmektedir.
- Yerel zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak gelen dalga ortamının frekans içeriği, genliği ve süresi ortam tarafından değiştirilerek yüzeye iletilmektedir. Ana kaya topografyası, yüzey topografyası ve tabakalaşmanın çeşitli geometrik şekilleri, sismik dalgaların kırılma ve yansıma şekillerini etkileyebilmektedir.
- Yerel şartlar yer hareketinin özelliklerini ifade etmekte kullanılan parametreleri farklı şekillerde etkileyebilmektedir.

Bu durumda, genel olarak, depremlerde ortaya çıkan dalga ortamının çeşitliliği, yerel şartların çeşitliliği ve yer hareketinin çeşitli parametreleri düşünülürse çok sayıda yerel etkiler ortaya çıkar [8, 11].

Deprem risklerine karşı sismik bölgelendirme çalışmaları yapan bir grup bilim adamı (The Technical Comitee for Earthquake Geotechnical Eng., TC4, 1993) [12], bir zemin tabakasının yüzey kesimlerinde elde edilen kayma dalgası hızının, söz konusu zeminin büyütme seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir zemin özelliği olduğunu belirtilmişlerdir [12]. Shima (1978) [13] , yüzeyde ölçülen kayma dalgası hızı ile ana kayada ölçülen kayma dalgası hızı oranına bağlı olarak büyütme faktörünün analitik olarak hesaplanabileceğini göstermiştir. Buna göre ana kayadaki kayma dalgası hız değerinin sabit olduğu bölge üzerinde büyütme neden olan etkinin yüzeydeki kayma dalgası hızından kaynaklandığını belirtmiştir.

Midorikawa (1987) [14]; Borchardt vd. (1991) [15-16-17], tarafından yapılan araştırmalarda yer hareketi esnasında ortaya çıkan kayma dalgası hızının gözlenmesi ve analizi sonucunda, açığa çıkan bu hızın ortalama değeri, yüzeyde belirli derinlikte yer alan zeminlerde meydana gelen büyütme seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu tezin amacı, yerel zemin koşullarının Eskişehir yerleşim yerinde değişiminin incelenerek hasar etkisinin belirlenmesi amacıyla jeolojik gözlemlerin, jeofizik ölçümlerin ve jeoteknik deneylerin değerlendirilmesi yapılarak bölgedeki zemin büyütme değişimi araştırılmıştır.

3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Eskişehir yerleşim yeri yerel zemin koşullarının büyütme etkilerinin incelenmesi konusunda çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ampirik metotlar kullanılmıştır. İdeal olan, seçilen bölgede sıkça yerleştirilmiş cihazlarla çeşitli büyüklükteki depremlerde alınan kayıtların değerlendirilmesi yolu ile zemin tabakalarının büyütme özelliklerinin belirlenmesidir. Ancak bunu gerçekleştirmek, hem maddi açıdan hem de çeşitli büyüklükteki depremlerin meydana gelmesi için beklenen süre açısından çok güçtür. Bu bakımdan, Eskişehir yerleşim yerinde yer alan zeminlerin jeolojik açıdan fiziksel ve yapısal farklılıkları ortaya konulması ve makaslama dalga hızına (V_s) bağlı zemin büyütme değişim metodunu tercih etmenin uygun olacağı düşünölmüştür.

Eskişehir’de ana kaya seviyesinin tespiti için derin sondajlar yapılmadığından ve bu konuda kesin veriler bulunmadığından yapılan penetrasyon deneylerinden zemin büyötmelerinin belirlenmesi için yüzeye yakın ilk 30 m nin kritik bir derinlik olduğu, yapılacak incelemelerin en az bu kadar olması gerektiğinden doğrusal

ekstrapolasyon sayısal çözümlene metodu ile inceleme derinlikleri 30 metreye kadar taşınmıştır. 30 m derinlikteki tabaka kalınlıklarının ağırlıklı ortalamaları göz önünde bulundurularak ortalama SPT-N değerlerinden makaslama dalga hızının tahminine olanak sağlayan farklı zemin türleri için ampirik ilişkiler kullanılmış ve bu ilişkiler vasıtasıyla zemin büyütme değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen veriler ile hazırlanan tüm haritalar sayısal ortamda hazırlanmıştır. Haritaların hazırlanması ve bu haritalar kullanılarak analizlerinin yapılmasında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yöntemi kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), konumsal verilerin bilgisayar ortamında veritabanı oluşturulması, istenilen harita koordinat sistemlerine göre coğrafik modellemelerinin yapılmasını ve görsel ortama getirilmesini sağlayan yazılım, donanım ve kullanıcıdan oluşan bir bilgisayar sistemidir. Sahip olduğu matematiksel, istatistiksel araçlar ve bilinen koordinatlar sayesinde verileri coğrafik lokasyon ile ilişkilendirmesi sonucu sorgulama ve model çözümleri ile faydalı bir bilgi deposunun elde edilmesine yardımcı olur. Bu tez çalışması kapsamında SCPT verilerine bağlı olarak zemin türü sınıflaması ve zemin büyütme parametrelerinin Eskişehir yerleşim yeri zeminlerindeki değişimin 3 boyutlu CBS teknikleri ile modellenmesi ve bu parametrelere göre ara yüzeylerde birimlerin ve büyütme değerlerinin dağılımları CBS' nin sahip olduğu üstün niteliklerle incelenmiştir.

Çalışılan sahanın ayrıntılı jeolojisi, SPT ve SCPT 'nin uygulandığı yeni-eski alüvyon ve kaya birimi zemini hakkındaki ön değerlendirmede, Anadolu Üniversitesi Uydur ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından 2001 yılı içerisinde tamamlanan "Eskişehir Yerleşim Yerinin Yerleşim Amaçlı Jeoloji ve Jeoteknik Etüt Raporu [18]" dan yararlanılmıştır. Ayrıca zemin büyütme olgusu ve mikrobölgeleme amaçlı kullanımı Yalçınkaya 2002 [19], ISSFE 1993 [20] ve Gündoğdu & Özçep 2003 [21]'den geniş ölçüde yararlanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

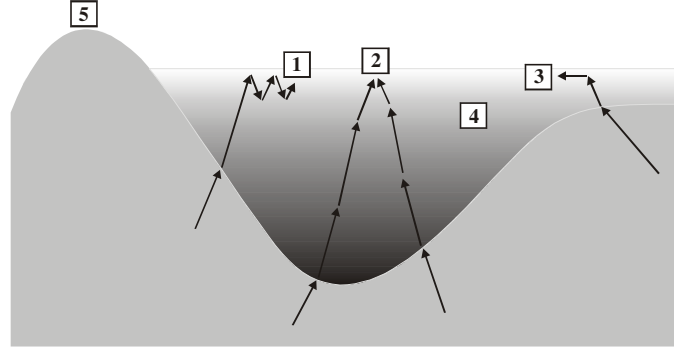
4. ZEMİN BÜYÜTME KONUSUNDA ÖN BİLGİLER

4.1 Yerel Zemin Etkisi

Yer içinde bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar kaynaktan yola çıkarlar ve yer içinde hızla yayılırlar. Bu dalgalar yeryüzüne eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır. Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin büyük bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert kaya içinde geçirmelerine karşın, seyahatlerinin son bölümü özellikleri kayaya göre oldukça farklı olan yumuşak zemin tabakaları içinden geçer ve bu zemin tabakalarının özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin doğasını büyük ölçüde belirler. Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönmüldürülürken bazıları da büyütür. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne "yerel zemin etkisi" adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden yerel zemin etkisi terimi; zemin büyütmesi, zemin transfer fonksiyonu veya zemin tepkisi olarak da adlandırılır.

Teoride zemin büyütmesi terimi, sismik dalgaların yeryüzüne yakın yumuşak zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinin artmasına karşılık gelir. Bunun nedeni zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluk yani düşük empedans değeridir. Pratikte ise zemin büyütme terimi, sismik dalgaların iki farklı birim arasında empedans farkı olsun olmasın, herhangi bir farkı temsil etmek için kullanılır. Zemin büyütmesini etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir (Şekil 4.1.1).

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



Şekil 4.1.1 Zemin büyütmesini etkileyen faktörler: 1-Empedans oranı ve rezonans etkisi, 2- Havza altı topografyasına bağlı olarak oluşan odaklanma, 3-Havza kenarlarından oluşan yüzey dalgaları, 4-Doğrusal olmayan zemin davranışı, 5- Topografya etkisi [19]

4.1.1 Empedans Oranı ve Rezonans Etkisi

Empedans, tanecik hareketine karşın ortam direncinin bir ölçümü olarak düşünülebilir [22]. Bir zemin tabakası içinde yayılan düşey S dalgası için empedans (z), yoğunluk (ρ) ve S dalga hızının (V_s) çarpımıdır.

$$z = \rho V_s \quad (4.1.1)$$

Genellikle yeryüzüne yakın birimlerin derinlerdeki birimlere göre dalga hızları ve yoğunlukları daha küçüktür. Eğer saçılmalar ve sönüm nedeni ile oluşan kayıplar ihmal edilirse, enerjinin korunması ilkesine göre elastik dalga enerjisinin yeryüzüne kadar sabit kalması gerekir. Sismik enerji akısını $E(t)$;

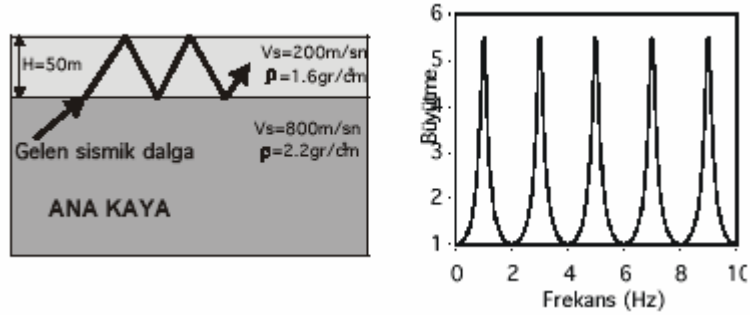
$$E(t) = \frac{1}{2} (\rho V_s) v^2(t) \quad (4.1.2)$$

Formülü ile gösterirsek, dalgalar yeryüzüne yaklaşırken ortam yoğunluğunun (ρ) ve dalga hızının (V_s) azalması, yani empedansın küçülmesi nedeni ile enerjinin korunması için tanecik hızının $v(t)$ artması gerekir [23].

Ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans farkı, sismik dalgaların zemin tabakaları içinde kapanlanmasına neden olur. Yatay olarak tabakalanma 1 boyutlu, yani fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelinde (Şekil 4.1.2) bu kapanlanma sadece zemin tabakası içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Zemin modeli 2 veya 3 boyutlu olup yanal süreksizlikleri içeriyorsa kapanlanma aynı zamanda bu süreksizliklerde oluşan yüzey dalgalarını da etkiler. Kapanlanan bu dalgalar arasındaki girişimler en yüksek rezonans değerlerinin oluşmasına yol açar. Maksimum rezonans frekansı, ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı ve S dalga hızıyla, yapı 2 veya 3 boyutlu ise genişliğiyle de ilişkilidir [24]. Bir boyutlu tek tabaka modeli için (Şekil 4.1.2) temel rezonans frekansı ve harmonikleri sırasıyla izleyen bağıntılar ile verilir [23].

$$f_0 = V_s / 4H \quad (\text{temel frekans}) \quad (4.1.3)$$

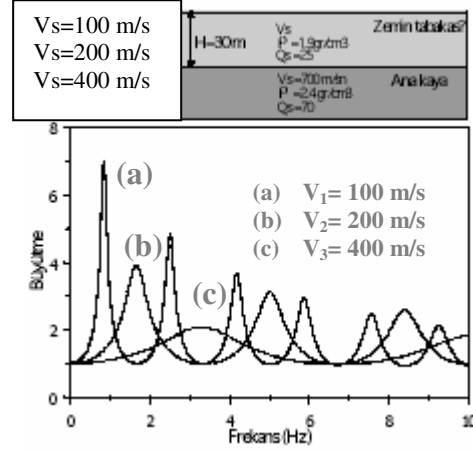
$$f_n = (2n+1) f_0 \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (\text{harmonikler}) \quad (4.1.4)$$



Şekil 4.1.2 Yatay tek tabaka durumunda dalga yansımalarının gösterimi (solda) ve bu parametreler kullanılarak düşey yayılan S dalgası için elde edilen büyütme fonksiyonu grafiği [19]

Eşitlik (4.1.3)'te Vs, tabakanın S-dalga hızı, H ise ana kaya üzerindeki tabakanın kalınlığıdır. Zemin hakim periyodu $T_0 = 1/f_0$ olarak tanımlanır. Temel frekansın değeri 0.2 Hz ile 10 Hz veya daha yüksek değerler arasında değişir [25]. Rezonansın genliği, asıl olarak zemin tabakası ve ana kaya arasındaki sismik empedans farkına ve zemin tabakasının sönümlenme özelliğine, ikinci derecede ise

gelen dalga alanının özelliklerine (dalga tipi, geliş açısı, yakın veya uzak alan oluşu) ve üç boyutlu yapılar için yapının geometrisine bağlıdır. Şekil 4.1.3'te zemin tabaka hızına bağlı olarak, bir boyutlu düşey yayılan S dalgası için hesaplanan rezonans frekanslarının ve büyütme değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



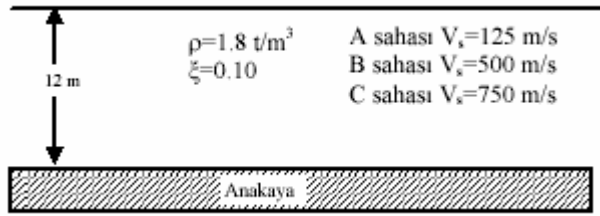
Şekil 4.1.3 Farklı zemin tabakası hızları (V_s) için hesaplanan büyütme fonksiyonları

Şekil 4.1.3 de 30 m kalınlığına sahip bir zemin tabakası için V_s dalga hızları değiştirilerek, hesaplanan büyütme fonksiyonları gösterilmektedir. Zemin tabakasının hızının değişmesi, ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans oranının değişmesi anlamına gelir ve bu doğrudan büyütme değerini etkiler.

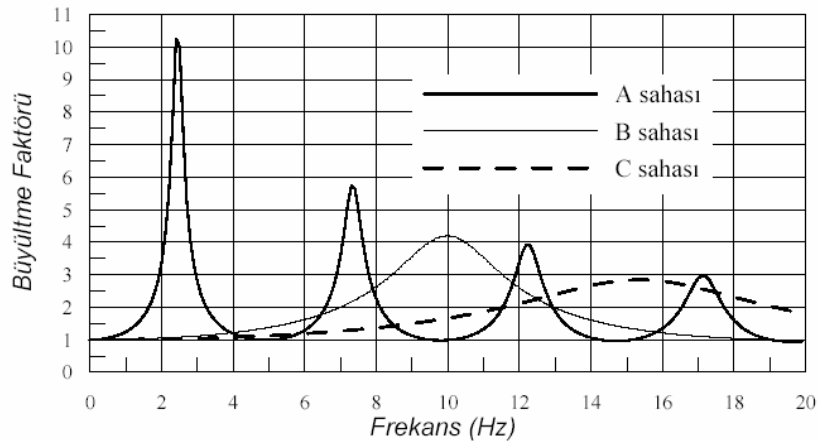
İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değeri o kadar yüksek olur. Ayrıca, zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim frekansı daha yüksek frekanslara doğru kayar [28]. Şekil 4.1.3 'de görüldüğü gibi zemin tabakası kalınlığı arttıkça veya zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim periyodu büyür.

Bu sonuç, kalın alüvyonlar üzerine yüksek katlı, sıg zemin tabakaları üzerine ise düşük katlı yapılar yapılmamalıdır anlamına gelmez, yapılması gereken mümkün olduğunca rezonans olayından kaçmaktır. Bunun için zemin hakim periyodu değiştirilemeyeceğine göre yapı hakim periyodunun zemin hakim periyodundan uzak tutulması gerekir.

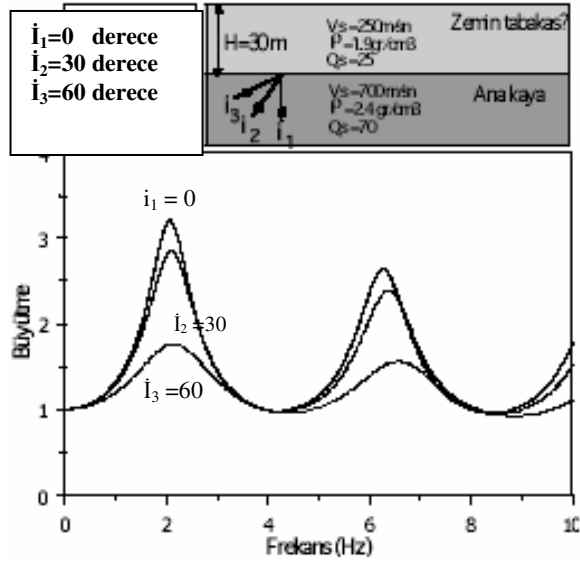
Kuvvetli yer hareketleri üzerinde yerel zemin şartlarının etkisi teorik ve analitik çözümlerle desteklenmiştir. Genellikle ana kayadan yeryüzüne yaklaştıkça, zemin ortamlarının yoğunluğu ve makaslama dalga hızı düşer. Deprem dalgalarının saçılma etkisi ve malzeme sönümü ihmal edilirse, elastik dalga enerjisinin korunumuna göre, sismik dalga genlikleri, genellikle sediment ortamlarda, düşük kütle yoğunluğu ve düşük sismik hızlardan dolayı oldukça büyür. Büyütme etkisinin yerel zemin koşullarına göre değişimi Şekil 4.1.4 ve 4.1.5 gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.1.5, Şekil 4.1.4’de verilen modelin geometrik özellikleri aynı, makaslama dalgası hızları farklı, doğrusal elastik zemin profillerine ait büyütme fonksiyonlarının frekansa bağlı olarak değişimini göstermektedir. Burada sert zeminler anakaya hareketini yüksek frekanslarda büyültürken, yumuşak zeminler düşük frekanslarda büyültmektedir. Şekil 4.1.5 ’de, A sahası maksimum büyütme faktörü 2.40 Hz’te 10.25, B sahası maksimum büyütme faktörü 10.0 Hz te 4.19 ve C sahası maksimum büyütme faktörü 15.3 Hz te 2.84 değerlerini aldığı görülmektedir. Şekil 4.1.5 den, sonuç olarak anakaya hareketinin zemin yüzeyindeki etkilerinin farklı rijitlikteki zemin ortamları tarafından değişebildiği görülmektedir [30].



Şekil 4.1.4 Rijit taban kayası üzerinde yer alan zemin profilleri [30]

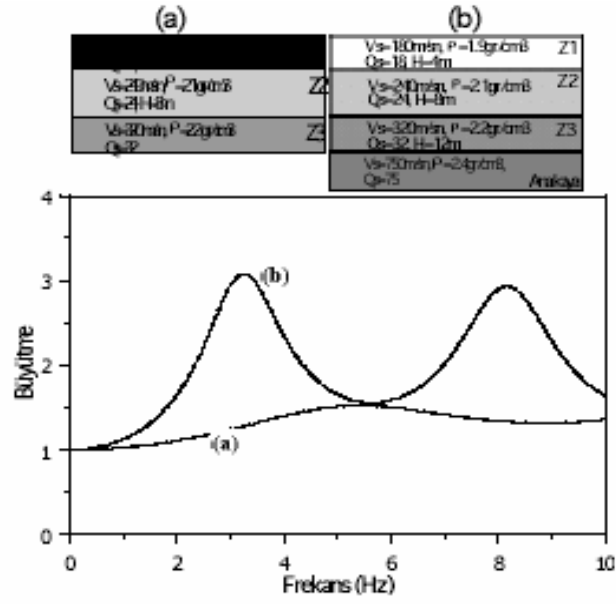


Şekil 4.1.5 A, B ve C sahalarına ait büyütme fonksiyonları



Şekil 4.1.6 S-dalgası geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının değişimi

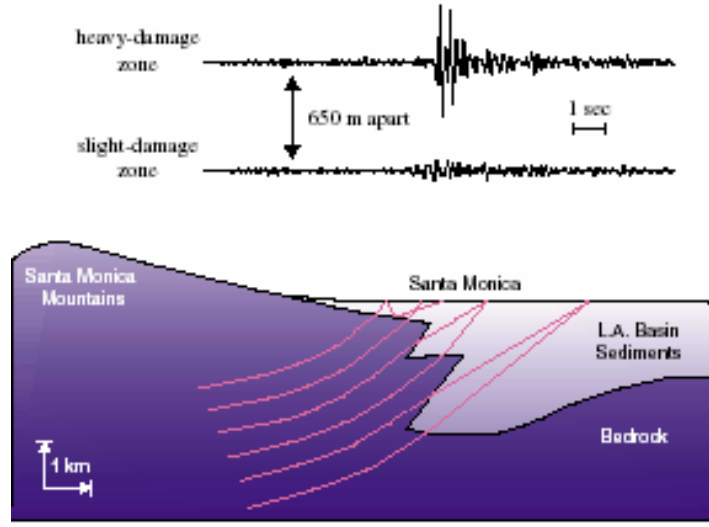
Şekil 4.1.6'da dalga geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının özellikleri incelenmiştir. Zemin hakim frekansı üzerinde geliş açısının önemli bir etkisi yoktur. Sadece geliş açısı arttıkça, büyütme değerlerinde küçük bir azalma gözlenmektedir. Mühendislik açısından genellikle düşey S dalgalarını kabul etmek önemli bir hata doğurmaz. Geliş açısının önemi, iki boyutlu, yani yanal süreksizliklerin bulunduğu ve bu nedenle oluşan havza içi yüzey dalgaları açısından önemlidir [31]. Yukarıdaki örnekler zemin ve ana kaya tabakalarının özelliklerinin bilinmesinin zemin büyütme fonksiyonlarının belirlenmesi açısından çok önemli olduğunu göstermiştir. Zemin özelliklerini ortaya çıkarmak amacı ile çok sık başvurulan sismik kırılma çalışmalarında, kullanılan kaynağın yetersiz kalması nedeniyle, çoğu kez ana kaya derinliğine veya ana kaya olarak kabul edilebilecek bir S dalga hızına (700 m/s) erişilememektedir. Bu durumda hesaplanacak zemin hakim periyodu ve büyütmelerdeki farkı gösterebilmek amacı ile Şekil 4.1.7 de iki örnek sunulmuştur. Birinci örnekte (Şekil 4.1.7a), erişilebilen araştırma derinliği 12 m ve bu derinlikteki S dalga hızı 320 m/s dir. İkinci örnekte ise (Şekil 4.1.7b), erişilebilen araştırma derinliği 24 m ve bu derinlikteki S dalga hızı 750 m/s dir. Her iki model için hesaplanan büyütme fonksiyonlarından görüldüğü gibi hesaplanan zemin hakim periyodu ve büyütmelerde önemli farklar vardır.



Şekil 4.1.7 Ana kaya derinliğinin belirli olmaması (a) ve belirli olması (b) durumları için hesaplanan büyütme fonksiyonları [28]

4.1.2 Havza Altı Topografyasına Bağlı Olarak Oluşan Odaklanma

Havza altı topografyasına ve dalga geliş yönlerine bağlı olarak bazen sismik dalgalar yeryüzünde küçük bölgelerde odaklanabilirler ve bu noktalarda yüksek hasarlara neden olabilirler. Bu olayın en belirgin örneği Northridge depremi sırasında Santa Monica'da gözlenmiştir [32]. 650 m aralığı olan iki istasyonda artçı şok kayıtlarının genlikleri arasında 5 katına varan farklar gözlenmiştir ve bu farklar ana şokun neden olduğu hasar ile ilişkilidir. Gao ve diğ. (1996) [32], Santa Monica'daki bu yüksek şiddet farkını açıklayabilmek için farklı yollardan gelen dalgaları odaklayan mercek şeklinde bir yer altı modeli önermişlerdir. Graves ve diğ.,(1998) [33]'den esinlenerek çizilen benzer model Şekil 4.1.8'de görülmektedir [5]. Şekil 4.1.8 de, 650 m aralığı bulunan ağır hasar ve hafif hasar bölgesine karşılık gelen hız kayıtları gösterilmektedir [5].

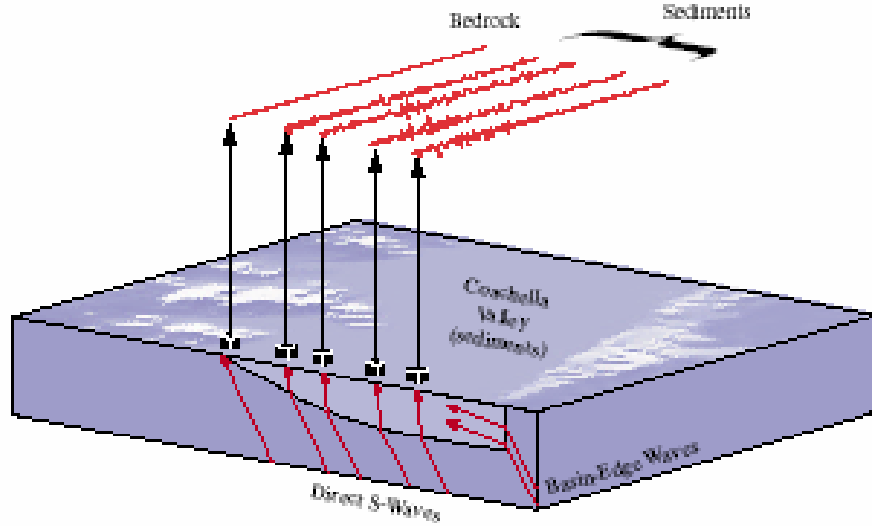


Şekil 4.1.8 Havza altı topografyasına bağlı olarak oluşan odaklanmanın grafiksel gösterimi.

Bütün bu çalışmalardan anlaşılabilceği gibi odaklanma için kaynak yerinin büyük önemi vardır. 1999 İzmit-Gölcük depremi sırasında kaynaktan 100 km uzakta olmasına karşın ağır hasar meydana gelen İstanbul Avcılar ilçesi için benzer odaklanma problemlerinin ve havza kenarından oluşan yüzey dalgalarının etkisi bulunmaktadır. Bilindiği gibi Avcılar, Marmara denizinin hemen kenarında yer alır ve ağır hasar çok dar bir bölgede toplanmıştır [21].

4.1.3 Havza Kenarlarından Oluşan Yüzey Dalgaları

Havza kenarı süreksizliklerinde cisim dalgalarının yüzey dalgalarına dönüşmesi ve bu dalgaların zemin tabakaları içinde kapanlanması yer yüzündeki hareket genliğinin ve süresinin artmasına neden olabilir [34]. Bu dalgaların genliklerinin doğrudan gelen S dalgalarından daha büyük olduğu bir çok çalışmada gözlenmiştir. Havza süreksizliklerinden oluşan yüzey dalgaları için iyi bir örnek 1992 Landers depremi artçı şoklarından Coachella Vadisi'nde gözlenmiştir [5] (Şekil 4.1.9).



Şekil 4.1.9 Coachella Vadisinde (California) gözlenen basen kenarlarından oluşan dalgalar [5]

İlk S dalgaları ana kayaya göre büyütülmesine rağmen en büyük genlikli dalgalar vadinin kuzey kenarından gelir [5]. Bu gözlemlerin çoğu büyük boyutlu vadilere rastlamaktadır. Bu nedenle buralarda oluşan yüzey dalgaları yüksek periyotlara ve seyahat zamanlarına sahiptirler ve kayıtlarda ayrı bir faz olarak kolayca görülebilirler. Fakat küçük boyutlu vadilerde (kalınlık 100 m' den genişlik 10 km' den daha küçük) bu fazlar S dalgaları ile karışır ve ayırt etmek güçleşir. Hız sismogramları S dalgaları ile başlar ve görüldüğü gibi en büyük genlikler düşey vadi kenarından giren enerji tarafından üretilir [5].

4.1.4 Topografya Etkisi

Yer hareketinin bölgesel değişmesine sebep olan faktörlerden biride topografik etkilerdir. Yüzey topografyası, ana kaya yüzeyinin zemin tabakalarının ara yüzeylerinin şekli, deprem dalgalarının çeşitli şekillerde kırılma ve yansımalara uğrayarak bir takım ilave etkilerin oluşmasına sebep olurlar. Zemin yüzeylerinin yatay ve düz bir topografyaya sahip olması düşey doğrultuda gelen SH dalgalarının tamamen düşey doğrultuda yansımaya ve yüzeyde, gelen dalgaların iki katı olan bir etki oluşmasına sebep olurlar [11, 26]. Farklı zeminlerin yatay tabakalaştığı bir ortamda, düşey doğrultuda gelen makaslama dalgalarının kırılma ve yansımaları yine

düşey doğrultuda olur ve bu yüzden düz topografya ve yatay tabakalaşmanın sebep olduğu bir bölgesel değişme meydana gelmez [11, 36].

En basit şekli ile bir bölgede topografya, düz serbest yüzey üzerinde bir tepe teşkil ediyorsa, düşey doğrultuda gelen SH dalgalarının amplifikasyonu, tepe üst noktasında en büyük değeri alacak şekilde, bölge topografyasından etkilenmekte olduğu, eğer topografya bir vadi teşkil ediyorsa vadi tabanında vadi tabanında amplifikasyon yerine deamplifikasyon meydana geleceği belirlenmiştir. Bu büyütme yatay bileşenlerde daha belirgin ve topografyanın eğimi, dalga geliş açısı ve yönü ile ilişkilidir.

4.1.5 Doğrusal Olmayan Zemin Davranışı

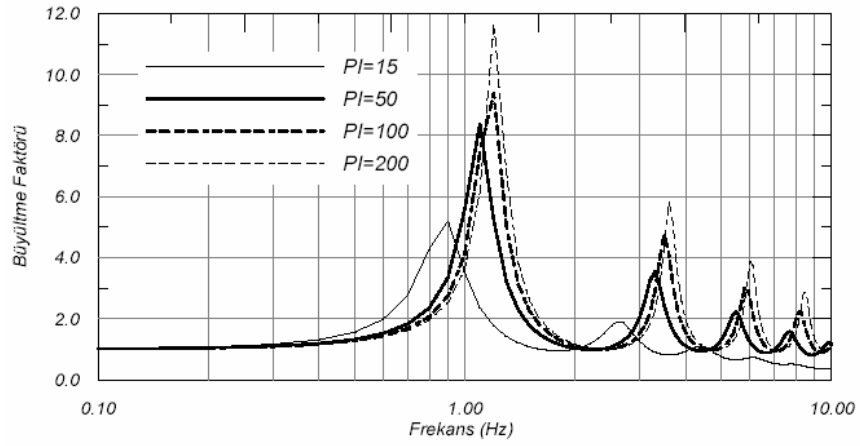
Doğrusal olmayan zemin davranışının etkisini incelemek üzere üniform kalınlıkta, doğrusal olmayan ve histerik davranış gösteren bir yüzey tabakasının davranışını göz önünde bulundurulur. Düşük sarsıntı seviyelerinde davranış büyük ölçüde elastik olacağı için büyütme faktörleri periyod, makaslama dalga hızı (kayma dalga hızı) veya rijit tabaka derinliğine doğrudan bağımlı olacaktır. Yer hareketinin genliği arttıkça meydana gelecek şekil değiştirme seviyeleri artacak ve doğrusal olmayan histerik davranış ortaya çıkmaya başlayacaktır.

Doğrusal olmayan histerezis modeli için makaslama dalga hızı ve sönüm genlik bağımlıdır. Bunu sismolojik açıdan anlamı şudur: (4.1.3) numaralı denklemde belirtildiği gibi zemin tabakasının temel rezonans frekansı dalga yayılım hızı ile orantılıdır. Artan deformasyon ile V_s dalga hızı azalacak böylece temel rezonans frekansı daha küçük frekanslara doğru kayacaktır. Ayrıca artan sönüm nedeni ile zayıf yer hareketine göre kuvvetli yer hareketi sırasında zemin büyütmesi azalacaktır.

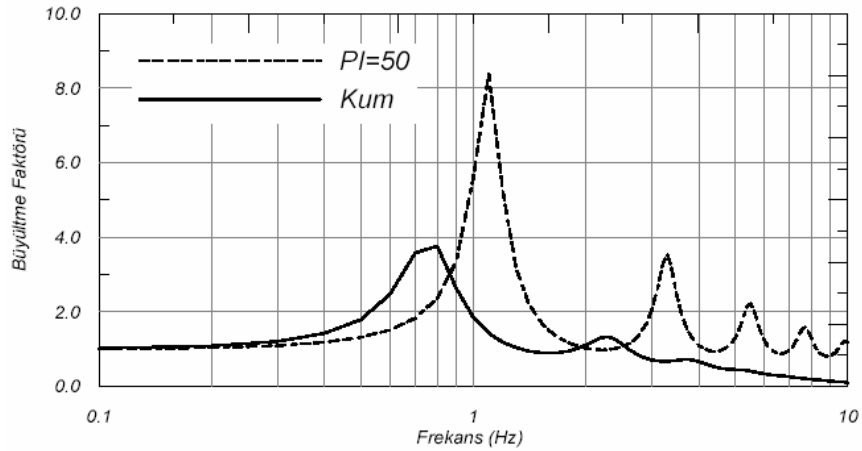
Yapılan deneysel çalışmalar ve deprem kayıtları, bu tür durumlarda zemin malzeme davranışının lineer davranışa yaklaştığını göstermektedir. Basitleştirilmiş bir modelin $H=20$ m tabaka kalınlığı, $V_s= 100$ m/s makaslama hızı ve PI değeri 15, 50, 100 ve 200 olan zemin ortamları için yapılan hesaplamaların sonuçları Şekil 4.1.10 da verilmektedir. Açıkça görüldüğü üzere, PI arttıkça zemin hakim

periyodunda kısaltmalar, zemin büyütmesinde ve spektral ivmede artışlar meydana gelmektedir [30]. Plastisite indisi $PI=50$ olan kil ve Seed ve Idris (1970) [38]'in killi ve kumlu zeminlerin sismik yükler altındaki davranışı Şekil 4.1.11 de gösterilmektedir. Kumlu zeminlerin zemin büyütmesi ile PI değeri 50 olan zeminlerin büyütmesi arasındaki oranın yaklaşık 3 misli olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; [38] tarafından yapılan çalışmada, çok yüksek plastisiteli killer, düşük plastisiteli killer ile karşılaştırıldığında 3-4 kat daha fazla büyütme sergiledikleri ve tabaka kalınlığının çok artması durumunda ise büyütme azalacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.1.10 Büyütme faktörünün plastisite indisleri ile değişimi



Şekil 4.1.11 Büyütme faktörünün kum ve kil ortamlarında frekansa göre değişimi

5. ÖNCELİKLİ ÇALIŞMALAR

5.1 Depremsellik Çalışmaları

Kuvvetli yer sarsıntısı için potansiyel oluşturması nedeniyle ilgilenilen alanın depremselliğinin incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kuvvetli yer hareketi değerlendirmeleri genelde, kaya veya sert zemini kapsayan (sismik hareketler için önemli zemin spesifik büyütmesi yoktur) bir referans noktası için beklenen harekete dayanmaktadır. Bölgesel ve yerel depremsellik, sismolojik ve jeolojik veri kullanılarak incelenebilmektedir. Sismolojik veri, aletsel ve tarihsel olarak depremlerin yerlerinin belirtildiği kataloglardan elde edilmektedir. Jeolojik veri, çoğu yerlerde mevcut olan aktif fay haritalarından toplanırlar. Tarihsel depremlerin yerleri ve büyüklükleri, aletsel olarak kaydedilmiş depremlere kıyasla güvenilir olmamasına rağmen, tarihsel depremler daha uzun zamana dönemlerine ilişkin bilgi sağlarlar.

Jeolojik veriler mevcut tarihsel deprem verisinin sınırlı olduğu alanlar için sismik potansiyeli değerlendirmede önemli olmaktadır. Jeolojik veri genelde, fayın atım miktarı, olgular arasındaki tekrarlanma aralıkları, en yeni olayın geçtiği zaman, yer değiştirme miktarı ve fay geometrisi konularını kapsamaktadır. Bu veriler uzun dönemli deprem potansiyelinin değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Kuvvetli yer hareketini değerlendirmek için yaklaşımlar, deterministik ve probabilistik yaklaşımlar olmak üzere iki alanda sınıflandırılmaktadır. Deterministik yaklaşımla, jeofizik ve jeolojik veri; ilgi alanını etkileyen depremleri belirlemede ve görünür gelecekte yıkıcı hasara neden olacak potansiyele sahip hipotetik depremi belirlemede kullanılırlar. Probalistik yaklaşımda; depremsellik, verilen bir dönem, periyot sırasında deprem oluşumunun olasılığı olarak değerlendirilir. Sonuçta istatistikse yöntem kullanılır. İlk aşama Gutenberg-Richter ilişkisinin oluşturulmasıdır. Gutenberg-Richter ilişkisinin yer hareketi şiddetinin azalım ilişkisi ile kombinasyonu verilen bir zaman sürecinde kuvvetli yer sarsıntısının olasılığı belirlenebilir.

5.2 Jeolojik Birim ile Sismik Şiddet Arasındaki İlişki

Bir zeminin litolojik özelliği, o yerin şiddet artışını yorumlamada kullanılmaktadır. Tablo 5.2 de Ortadoğu, Kaliforniya, Japonya ve Şili’de meydana gelmiş depremlerde yapılan gözlemlere göre, yüzeye yakın farklı jeolojik birimler ile sismik şiddet artımı arasındaki ilişki hakkında değişik araştırmacılar tarafından ileri sürülen öneriler verilmektedir.

Tablo 5.3 de bazı araştırmacılar tarafından farklı jeolojik birimlerde ve zemin çökellerinde meydana gelmesi beklenebilecek yer hareketi büyütmesi (bağlı büyütme) değerleri için önerilen değerler özetlenmektedir. Bu tabloda bağlı büyütme faktörü 1.0 olarak kabul edilen jeolojik birimde meydana gelecek yer hareketi referans yer hareketi olarak kabul edilmektedir. Bağlı büyütme kavramı Borchardt ve Gibbs (1976) [17] tarafından zeminin etkisini sayısal olarak değerlendirmek için önerilmiştir.

Borchardt ve Gibbs; göreceli olarak, hareketlerin zemin spektral büyütmesini elde etmek için çeşitli jeolojik koşullara sahip zeminlerde nükleer patlatmalarda üretilen yer hareketlerini ölçmüştür. Bu araştırmacılar, yüzey jeolojisi ve ortalama yatay spektral büyütme (AHSA) arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Bağlı büyütme şiddet artışı ile yakın ilişkilidir [17].

Tablo 5.2 Jeolojik birimler ile sismik şiddet artımı arasındaki ilişki

Jeolojik Birim	Şiddet Artımı
Medvedev (1962)	
	(M.S.K Ölçeği)
Granit	0
Kireçtaşı, Kumtaşı, Şeyl	0.2 ~ 1.3
Jips, Marn	0.6 ~ 1.4
Kaba Daneli Zeminler	1.0 ~ 1.6
Kumlu Zeminler	1.2 ~ 1.8
Killi Zeminler	1.2 ~ 2.1
Dolgu Zeminler	2.3 ~3.0
Islak Zeminler (çakıl, kum, kil)	1.7 ~ 2.8
Islak Dolgu ve Toprak (bataklık)	3.3 ~ 3.9
Evernden ve Thompson (1985)	
	(M.M. Ölçeği)
Granit ve Metamorfik Kayalar	0
Paleozoik Kayalar	0.4
Erken Mezozoik Kayalar	0.8
Kraterler ve Eosen Kayalar	1.2
Kırksız Tersiyer Kayalar	1.3
Oligosen ve Pliosen Kayalar	1.5
Pliosen-Pleistosen Kayalar	2.0
Tersiyer Volkanik Kayalar	0.3
Kuaterner Volkanik Kayalar	0.3
Alüvyon (su seviyesi < 9 m)	3.0
9 m < su seviyesi < 30 m	2.0
30 m < su seviyesi	1.5
Kagami ve diğ. (1988)	
	(J.M.A Ölçeği)
Yamaç Birikintisi	0
Andezit	0
Çakıl	0.2
Nehir Birikintisi	0.4
Volkan Külü	0.5
Kumlu Silt	0.7
Killi Silt	0.8
Silt	1.0
Turba Zeminler	0.9
Astroza ve Monge (1991)	
	(M.S.K Ölçeği)
Granitik Kaya	0
Volkanik Pumisitik Küller	1.5 ~ 2.5
Çakıl	0.5 ~ 1.0
Kolluvyon	1.0 ~ 2.0
Lakustrin Birikintileri	2.0 ~ 2.5

Tablo 5.3 Çeşitli jeolojik birimlere göre Borchardt & Gibbs (1976) [17], Shima (1978) [12] ve Midorikawa (1987) [14] tarafından verilen bağıl büyüme katsayıları

Jeolojik Birim / Zaman	Bağıl Büyütme Faktörü
Borchardt & Gibbs (1976)	
Körfez Çamuru	11.2
Alüvyon	3.9
Granit	1.0
Shima (1978)	
Turba	1.6
Humuslu zemin	1.4
Kil	1.3
Kum	0.9
Midorikawa (1987)	
Halosen	3.0
Pleistosen	2.1
Volkanik kaya	1.6
Miyosen	1.5
Tersiyer Öncesi	1.0

Jeolojik verilerin değerlendirilmesinde bir başka yaklaşım da, San Fransisco Bay bölgesindeki farklı Kuvaterner sedimentler için Lajoie ve Helley (1975) [43] tarafından makaslama / kayma dalgası hızına göre verilen ve Tablo 5.4 de gösterilen sınıflandırmadır. Finn (1993) [44]'e göre Tablo 5.5 de verilen ve zeminlerin büyütme özelliklerine göre sınıflandırmasını içeren çalışmasının kullanılması mevcut bilgiler ile zemin büyütme etkisi üzerindeki davranışının incelenmesinde faydalı olacaktır.

Tablo 5.4 Kuvaterner sedimentler için Lajoie ve Helley (1975) [43] tarafından geliştirilen makaslama dalga hızları

Jeolojik Formasyon	Dane Çapı	Ortalama Değer (Vs, m/s)	Standart Sapma
Holosen	İnce	200	20
	Orta	230	30
	İri	320	25
	Daha İri	365	20
Pleistosen	İnce	200	50
	Orta	230	115
	İri	320	85
	Daha İri	365	155

Tablo 5.5 Zeminin büyütme karşı davranışının Finn (1993)e göre sınıflandırılması [44]

Zemin Sınıfı	Genel Tanımlama	Zemin Karakteristikleri	Büyütme karşı zemin davranışı
A	Kaya	$V_{ort} > 750$ m/s	-
B	Derin kohezyonsuz zeminler, sıkı kohezyonlu zeminler yada ikisinin karışımından oluşan zeminler	$360 < V_{ort} < 760$ m/s	Düşük
C	Kum, silt ve/veya sıkı/veya çok sıkı kil bazı çakıllar; kalınlığı < 3 m yumuşak kil tabakaları	$180 < V_{ort} < 360$ m/sec	Orta
D ₁	Kalınlığı (H_c) az ve yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_{ort} < 180$ m/s, ve/veya $3 \text{ m} < H_c < 15 \text{ m}$	Yüksek
D ₂	Kalınlığı (H_c) fazla ve yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_{ort} < 180$ m/s, ve/veya $15 \text{ m} < H_c < 35 \text{ m}$	Yüksek
E ₁	Turba yada organik madde oranı yüksek killer	$H_p > 3 \text{ m}$	Çok Yüksek
E ₂	Yüksek plastisiteli killer	$H_{cp} > 7 \text{ m}$ ve $PI < 75\%$	Çok Yüksek
E ₃	Çok kalın (H_c) yumuşak ve orta sıkı kil içeren tabakalar	$H_c > 35 \text{ m}$	Çok Yüksek

Yerel zemin etkisinin yapı yönetmeliklerinde yeri, oldukça geniş bir zemin sınıflaması şeklindedir. Genellikle bu sınıflama kaya zeminler, sıkı-sert zeminler, derin kohezyonsuz zeminler, orta-yumuşak kil ve kum zeminler olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Bu sınıflamanın temeli jeolojik ve jeofizik parametrelere dayanır. Bu parametreler; standart penetrasyon değeri, relatif sıkılık, serbest basınç direnci, makaslama dalga hızı, zemin tabakalarının kalınlığı ve jeolojik yaş gibi parametrelerdir. Ülkemiz için bu sınıflama Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998) [45] kitapçığında yer almaktadır. Yönetmelik bu zeminler için karakteristik periyotlar önermekte ve yapı periyoduna bağlı olarak tasarım ivme spektrumları belirlemektedir. Bu yönetmelikte tüm zeminler için öngörülen spektral büyütme değerinin sınır koşul olarak 2.5 değeri verilmiştir.

Sonuç olarak, yerel zemin etkisi çalışmalarının amacı büyük bir deprem anında hangi bölgeler etkilenecek, hangi frekanslardaki dalga genlikleri zemin tarafından büyütülecek sorularına yanıt aramaktır. Özellikle yapılaşmaların, potansiyel büyütme etkileri taşıyan düz ova bölgelerde gelişmesi göz önünde bulundurulursa konunun önemi daha iyi anlaşılabilir.

5.3 Ayrıntılı Çalışmalar

İnşaat alanında beklenebilecek sismik davranışın daha gerçeğe yakın olarak analiz edilebilmesi için jeofizik ve jeoteknik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Arazi zemin koşulları hakkında ayrıntılı bilgiler elde etmek amacı ile yapılacak araştırmalar, taban kayası (kayma dalgası hızı yüzeye yakın tabakalara göre çok daha yüksek olan tabaka) derinliğine kadar gerçekleştirilmektedir. Genellikle kayma dalgası hızı (V_s), 700 m/s den büyük olan formasyonlar ‘taban kayası’ olarak kabul edilmektedir. Zemin profilinin sismik davranış açısından tanımlanabilmesi için kohezyonsuz zeminlerde ve katı zeminlerde standart penetrasyon deneyi (SPT), yumuşak zeminlerde ise Konik penetrasyon deneyi (CPT) gibi arazi deneyleri çok yararlı bilgiler vermektedir. SPT deneyi, sınıflandırma için numune alınması ve zeminin sıklık derecesinin belirlenmesi için bilgiler vermesinin yanında, darbe sayısı (N) ile kayma dalgası hızı (V_s) arasında kurulan korelasyonlar açısından da yararlı olmaktadır. Tablo 5.6 da SPT-N sayısı ile kayma dalga hızı arasında değişik araştırmacılar tarafından önerilen ampirik bağıntılar verilmektedir. CPT deneyinde de zeminin cinsi ve sıklık derecesi zemin profili derinliği boyunca sürekli olarak belirlenebilmekte, CPT koni direnci ile SPT darbe sayısı arasındaki korelasyonlardan, kayma dalgası hızına geçilebilmektedir [45].

Tablo 5.6 SPT darbe sayısı (N) ile kayma dalgası hızı arasındaki ampirik korelasyonlar

Araştırmacı	Bağıntı V_s (m/s)	Zemin Cinsi
Kanai ve diğ. (1996)	$V_s=19N^{0.6}$	Tüm
Shibata (1970)	$V_s=31.7N^{0.54}$	Kum
Ohba ve Toriuma (1970)	$V_s=84N^{0.31}$	Tüm
Ohta ve diğ. (1972)	$V_s=87.2N^{0.36}$	Kum
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s=81.4N^{0.39}$	Tüm
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$	Tüm
Imai, Fumoto ve Yokota (1975)	$V_s=89.9N^{0.341}$ $V_s=41.6q_u^{0.417}$	Tüm
Campbell ve Duke (1976)	$V_s=97.2D^{0.386}$, D:feet $V_s=149.7D^{0.358}$, D:feet	Genç Alüvyon Yaşlı Alüvyon
Imai (1977)	$V_s=a.N^b$ a=102 b=0.29 =81 =0.33 =114 =0.29 =97 =0.32	Holosen Kil Holosen Kum Pleistosen Kil Pleistosen Kum
Ohta ve Goto (1978)	$V_s=69N^{0.17}.D^{0.2}.E.F$ E=1.0 (H) F=1.00 E=1.3 (P) F=1.09 1.07 1.14 1.15 1.45	Kil İnce Kum Orta Kum Kaba Kum Çakıllı Kum Çakıl
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=56.4N^{0.5}$	Tüm
Okamoto vd. (1989)	$V_s=125N^{0.3}$	Pleistosen Kum
Barrow ve Stokoe (1983)	$V_s=154+0.64q_c$	Tüm
Sykora ve Stokoe (1983)	$V_s=100.5N^{0.29}$	Tüm
Lee (1990)	$V_s=57.40N^{0.49}$ $V_s=114.43N^{0.31}$ $V_s=105.64N^{0.32}$ $V_s=57.40D^{0.46}$, D:m	Kum Kil Silt Kum
Lee (1990)	$V_s=70.81D^{0.37}$, D:m $V_s=70.52D^{0.39}$, D:m	Kil Silt
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$	Tüm
Fujiwana (1972)	$V_s=92.1N^{0.33}$	Tüm
Athanasopoulos (1995)	$V_s=76.55N^{0.445}$	Kil
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$	Tüm

Yüzeğe yakın tabakaların kayma dalgası hızları bu arazinin sismik büyütmesi için oldukça yararlı bir indeks olarak kabul edilmektedir. Tablo 5.7 de ve Şekil 5.1 de, değişik araştırmacılar tarafından önerilen, bağıl büyütme ile yüzeğe yakın tabakaların ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Büyütme oranları ile ortalama kayma dalgası hızı arasındaki korelasyonlar [20]

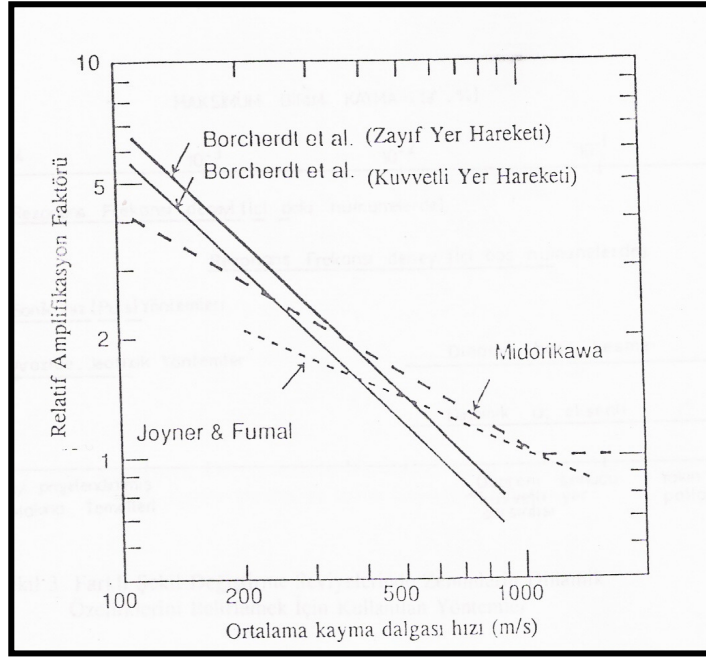
Araştırmacılar	Eşitlikler
Midorikawa (1987)	$A = 68V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100$ m/sn) $= 1.0$ ($V_1 > 1100$ m/sn)
Joyner&Fumal (1984)	$A = 23V_2^{-0.45}$
Borcherdt vd.(1991)	$AHSA = 700/V_1$ (zayıf hareket için) $= 600/V_1$ (kuvvetli hareket için)

A: Zemindeki en büyük hız için bağıl büyütme faktörü

AHSA: 0.4 ~ 2.0 s periyod aralığında ortalama yatay spektral büyütme

V_1 : 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/sn)

V_2 : Bir saniye periyodlu dalga için $1/4$ dalga boyu derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızı (m/s)



Şekil 5.1 Bağıl büyütme faktörlerinin karşılaştırılması

5.4 Makaslama Dalga Hızının Zemin Büyütmesi Çalışmasındaki Önemi

Düşük empedansa sahip yüzeylere ulaşan basınç dalgaları çekme dalgaları olarak yansır ve böylece başlangıç basınç dalgasının genliğini azaltıcı etkisi oluşur. Basınç dalgaları daha yüksek empedansa sahip yüzeylere ulaştıklarında, yine basınç dalgası olarak yansır ve genlikleri artar, dalga alanları genişler. Diğer taraftan, makaslama dalgaları farklı empedansa sahip her çeşit yüzeyden yine makaslama dalgası olarak yansır ve ortaya çıkan etki daima zemin büyütmesini arttıracak yöndedir [53].

Makaslama hızı depremler sırasında zemin tabakalarının meydana getireceği büyütme hesaplanmasında kullanılan zeminlerin en önemli dinamik özelliğidir. Zeminlerin rijitliği hakkında doğrudan bilgi verdiği için zemin davranışının belirlenmesi için yapılan büyütme analizlerinde de doğrudan kullanılır. Zemin türü, derinlik ve jeolojik yük kayma dalgasını etkileyen en temel faktörler olup bunlara bağlı olarak, efektif gerilme (σ_0'), aşırı konsolidasyon oranı (OCR) ve boşluk oranı

(e) da doğrudan etkileyen başlıca faktörlerdir. Ayrıca, Vucetic ve Dobry (1991) [38] in çalışmalarında belirtildiği gibi zeminlerin plastisite indeksi de maksimum kayma modülünü ve dolayısıyla kayma dalgası hızı üzerinde önemli rol oynayan bir indeks özelliğindedir.

Deprem sırasında zemin tabakalarının, deprem dalgasının frekans içeriği ile zeminin hakim periyoduna bağlı olarak bir davranış sergilediği bilinmektedir. Üiform elastik bir zemin için düşünüldüğünde, kayma dalga hızının zeminin hakim periyodunu ve dolayısı ile tabakaların davranışını etkileyen önemli faktörlerden birisi olduğu çok sık olarak kullanılan denklem 4.1.3'deki ifade ile de açıkça anlaşılmaktadır.

Tablo 5.7 de verilen bağıntılardan belirlenen kayma dalgası hızlarının, büyütme çalışmalarında kullanılması ise, zemin profili için Ansal (1994) [47] tarafından tanımlanan eşdeğer kayma dalgası hızının hesaplanması ile gerçekleştirilir. Eşdeğer kayma dalgası hızı, zemin profili derinliği boyunca ağırlıklı ortalamalara göre bir hesaplama yöntemi olup, zemin rijitliğini ifade eden bir parametredir. Jeoteknik araştırmalarda kritik derinlik ilk 25-30 m olduğu için, eşdeğer kayma dalgası hızının bu kritik derinlik boyunca hesaplanması gerekir. Ancak farklı özellikte heterojen zeminlere sahip tabakalar için hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızının veya diğer rijitlik parametrelerinin tek başlarına büyütmenin bir göstergesi olarak ifade edilmeleri her zaman uygun bir parametre olmayabilir. Bu yüzden, ifadelerde tabakaların birtakım üniform özelliklere sahip olduğu kabullerinin yapılması gerekmektedir [47].

Zeminlerin mühendislik amaçlı olarak yerindeki özellikleri arazi deneyleri ile araştırılırken Finn (1991) [44], Ansal ve diğ. (1994) [47] ve Anderson ve diğ. (1996) [48] tarafından vurgulanan deprem hareketi altında ilk 25-30 m içindeki zeminlerin mühendislik özelliklerinin yapı davranışını daha baskın olarak kontrol ettiği unutulmamalıdır. Bu kalınlık sismolojik amaçlar için yaklaşık 10-15 km aşağıda oluşan bir depremin analizinde yok sayılacak kadar az olduğu halde jeoteknik araştırmalar açısından oldukça önem arz etmektedir. Deprem dalgalarının özelliklerinin derinlikle değişimi üzerine Power ve diğ (1986) tarafından yapılan bir

çalışmada Japon aşağı kuyu (down-hole array) kayıt şebekelerinde, en büyük değeri 0.1 g olan bir depremde, 60 m ye kadar çeşitli derinliklerde alınmış kayıtlar, Shake programı ile analiz edilerek incelendiğinde, en büyük ivme değerinin değişiminde 10-20 m deki yüzey tabakalarının önemli bir etkisi olduğu, ayrıca kaydın frekans içeriğinin de derinlikle önemli değişimler gösterdiği belirtilmiştir. Ansal (1994) [47] ve Lav (1994) [8], 13 Mart 1992 Erzincan depreminde, yüzey kaydının (doğu-batı bileşeni) en büyük ivme değeri ve frekans içeriğinin derinlikle değişimini incelemişler ve 25 m derinlikte elde ettikleri spektrumların, yüzey tabakalarının 0.1-0.3 s periyot aralıklarında davranış üzerinde etkili olduğunu, 100 m derinlikte hesaplanan spektrumların ise 25 m den daha derindeki tabakaların 0.5-0.7 s periyotlarında etkili olabileceğini ancak 52 m için hesaplanan ivme spektrumlarının, 0.5-0.7 s periyotlarında, 100 m spektrumlarına benzer oluşu, 50 m den daha derindeki tabakaların etkisinin oldukça küçük mertebelerde kaldığını belirtmişlerdir.

Yapılan bu çalışmalar, bir bölgenin yerel zemin koşullarının arazi deneyleri ile incelenirken ilk 30 m nin kritik bir derinlik olduğunun unutulmaması gerektiğini ve açılacak sondajların ve yapılacak incelemelerin en az bu kadar derinlik için olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Zeminin özelliklerini yerinde belirlemek için sismik deneylerin kullanımı yaygın olarak kullanılmasının yanında, önemli projelerde tercih edilmektedir. Laboratuvar ve diğer arazi deney yöntemleriyle karşılaştırıldığında önemli üstünlüklere sahip olan sismik yöntemler zeminlerin elastik davranış sergiledikleri düşük deformasyon genliklerinde üretilen sismik dalga hızlarının hızlarının bulunmasını içermektedir. Dalga yayılma hızı ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olduğundan zemin hakkında önemli bilgiler içermekte ve kayma modülü gibi zemin davranışını gösteren dalga hızlarından elde edilmektedir [49].

Sismik deneylerin uygulanmadığı veya sınırlı sayıda uygulandığı ancak diğer arazi deneylerinin yapıldığı durumlarda da litolojik birimlerin dinamik özelliklerin saptanabilmesi amacı ile, sismik ve çeşitli penetrasyon deney sonuçları arasında bağıntıların aranmasına yol açmıştır. Ölçüm teknikleri, toplanan veri sayısı ve seçilen değişkenler bağıntıları etkilemektedir. Arazi ölçümlerine dayanan bu tür bağıntılara

penetrasyon dirençleri ve efektif gerilme önemli derecede etkili olurken, zemin tipi ve jeolojik yaş gibi faktörlerin etkisi daha az olmaktadır [50]. Arazi donanımının ve modern deney tekniklerinin gelişimi, daha kaliteli ve daha fazla sayıda arazi verilerinin toplanabilmesine ve bu verilerle istatistiksel analizler yapılarak mühendislik uygulamalarında pratik amaçlar için kullanılacak bağıntıların geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Zemin büyütme çalışmaları için çoğunlukla yapılan arazi deneyleri, standart penetrasyon (SPT) ve koni penetrasyon (CPT) deneyleri olarak söylenebilir. Standart penetrasyon deneyi ile elde edilen SPT-N değerleri literatürde verilen bağıntılar yardımı ile kayma dalgası hızının bulunmasında kullanılır. Aynı zamanda SPT_N değerleri zemin profili boyunca zeminin rijitliğinin ve dolayısı ile zemin büyütmesinin bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir. Koni penetrasyon deneyinden elde edilen CPT uç mukavemetleri (q_c) de kayma dalgası hızının belirlenmesinde kullanılabilceği halde, CPT uç mukavemeti ile kayma dalgası arasındaki bağıntılar oldukça sınırlıdır. Bu yüzden zemin CPT uç mukavemeti değerleri de zemin profili boyunca rijitliğin ve dolayısı ile de büyütmenin bir göstergesi olarak da kullanılabilir.

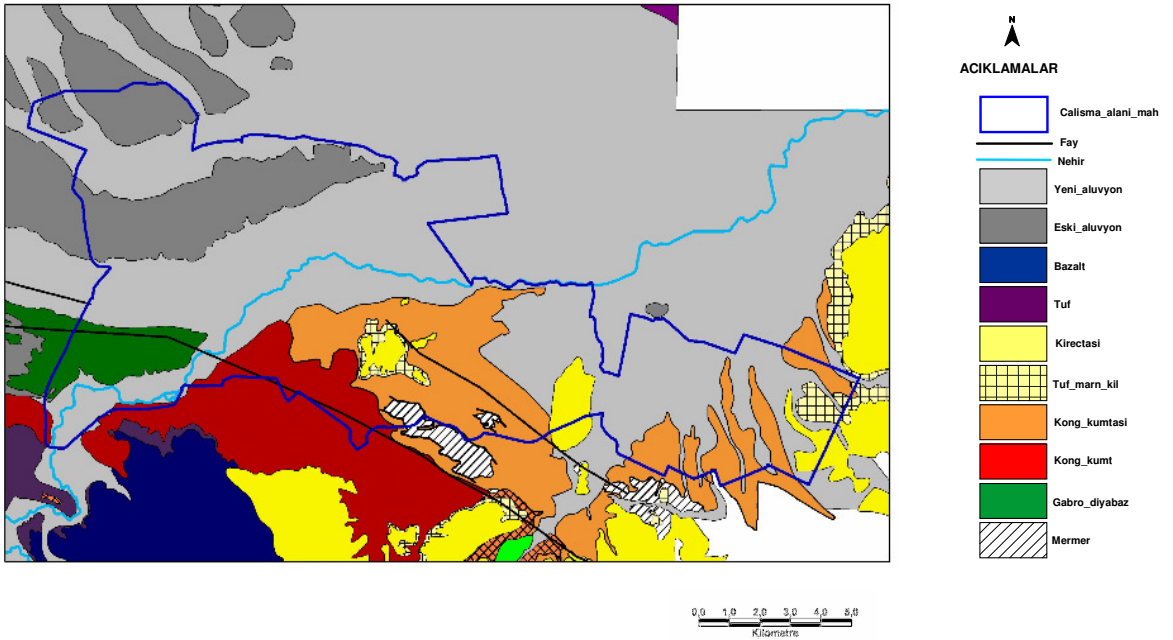
Tablo 5.7 de verilen bağıntılar yardımı ile zeminler için belirli bir derinliğe kadar kayma dalgası hızı ile bağıl zemin büyütmesi değeri saptanabilmektedir. Bu bağıntılarda kayma dalga hızının (V_s) birimi m/s olup, ilk 30 m lik zemin profilindeki ortalama değerdir. Hesaplanan bu büyütme değerinin yerel zemin koşullarının büyütme etkisinin hasar üzerindeki sonuçlarının deprem öncesi incelenmesinde doğrudan kullanılabilmesinin mümkün olabileceği söylenebilir.

Çalışma alanının denizden yüksekliği 779 m ile 800 m arasındadır. Çalışma sahasının en önemli akarsuyu Porsuk Çayı'dır. Güneyden gelerek çalışma alanına giren Porsuk, sahayı D-B yönünde iki alana böler. Çalışma alanına ait sayısallaştırılmış 1/25.000 ölçekli paftalar kullanılarak bölgenin topografya haritası yapılmış ve yükselti farkının düşük olduğu gözlenmiştir. Eğim haritası incelendiğinde, çalışma sahasındaki yerleşimin yoğunlaştığı yerlerde genellikle arazinin düz ve eğim açısının 5^0 den az olduğu belirlenmiştir. Yerleşim yerinin güneyinde topografyanın yükselmesi ile birlikte eğimde artmaktadır. Bu yerlerde eğim açısının 10^0 - 20^0 arasında değiştiği görülmektedir [18].

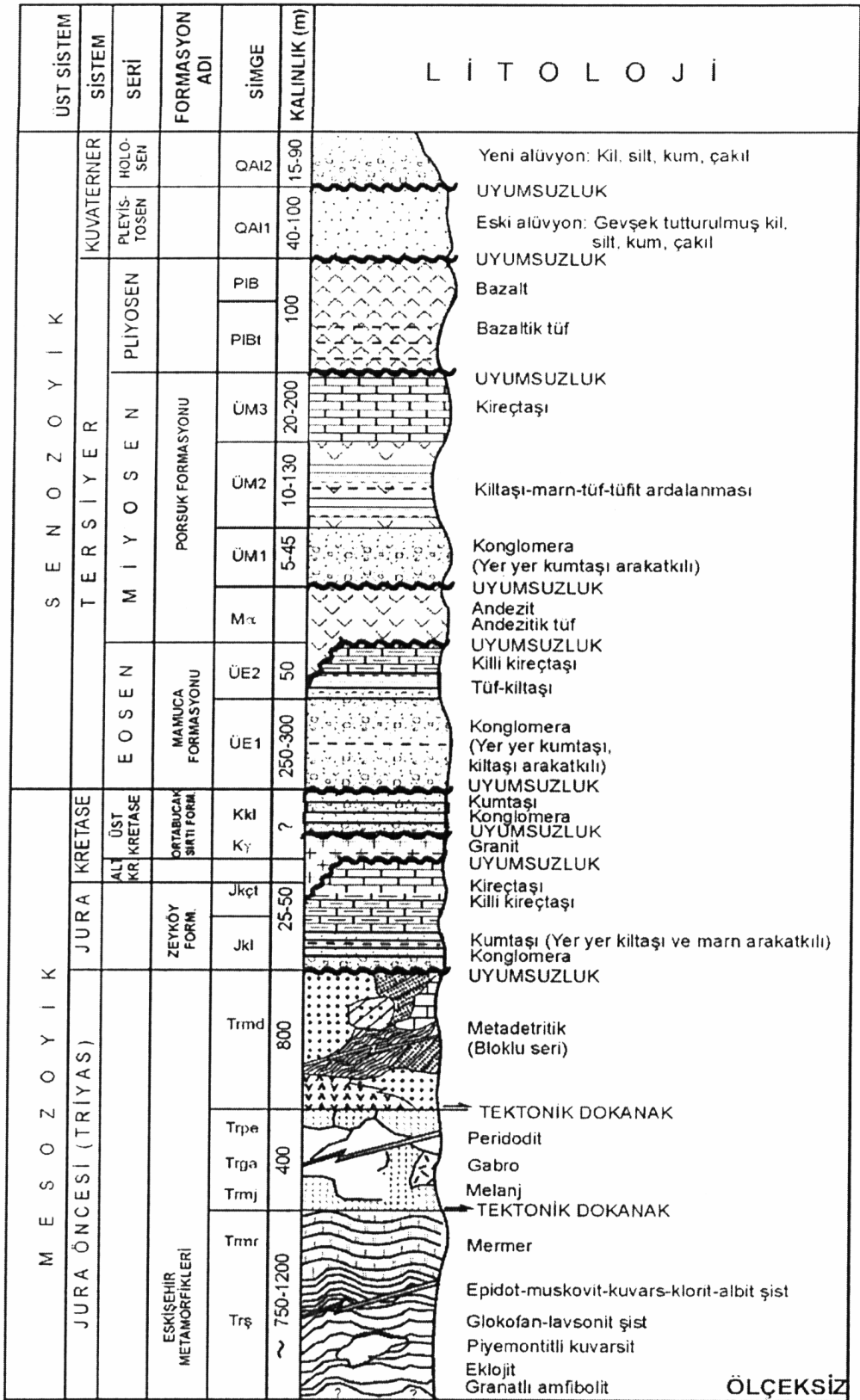
6.3 Çalışma Alanının Jeolojisi

6.3.1 Yerel Jeoloji

Çalışma alanının jeolojisi, Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü "Eskişehir Yerleşim Yerinin Yerleşim Amaçlı Jeoloji ve Jeoteknik Etüt Raporu" [18]'dan geniş ölçüde yararlanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.



Şekil 6.3.1 Çalışma alanının ayrıntılı jeoloji haritası [18]



Şekil 6.3.2 Çalışılan bölgenin stratigrafik kolon kesiti [59-97]

Çalışma sahası içinde gözlenen litolojik birimlerin özellikleri şunlardır:

Mermer: Mermerler, Triyas yaşlı kaya birimi olan şistlerin en üst seviyelerinde gözlenmektedir. Mermer Odunpazarı Belediyesine ait Çankaya Mahalle sınırı içinde mostra vermektedir. Düz bir topoğrafya gösteren mermerlerde, sistematik süreksizlikler gelişmiştir. Süreksizlik aralıkları yaklaşık 30-50 cm olarak ölçülmüştür. İki bloktan oluşan bu mermerlerin, içinde bulunduğu diğer kaya birimi ile olan sınırının faylı olduğu düşünülmektedir. Hava fotoğraflarının incelenmesi sırasında, fayların izleri olabilecek çizgisellikler blokların kuzey ve güney sınırlarında gözlenmiştir [18].

Gabro-Diyabaz: Bu birim melanj ile ilişkilidir ve melanj içinde gözlenir. Bölgede Triyas sonunda kapanan okyanusun olma olasılığı yüksektir. Çalışma alanında Karabayır civarında Orhangazi mahallesi sınırları içinde gözlenir. (Şekil 6.3.3). Ultrabazik kayaların diğer türleri gözlenirse de, sahada en çok gabro blokları egemendir. Bu kaya birimi D-B yönünde uzanım göstermektedir. Batıya doğru gidildiğinde gabronun yerini diyabaza bıraktığı görülür. Bu diyabazın dayk şeklinde sokulum yapmıştır. Görsel olarak da renk farklılaşması bunu belirler [18].



Şekil 6.3.3 Orhangazi mahallesinde (Karabayır) gabro yüzeylemesi (G: gabro)[18].

Bu birimin güney sınırında yamaç molozları birimi uyumsuz olarak örtmektedir. Araziye yamaç molozları içinde belirgin bir tabakalanma gözlenmiştir. Yamaç molozlarının içinde bulunan çakıllar çok köşeli, tane şekline sahiptir.

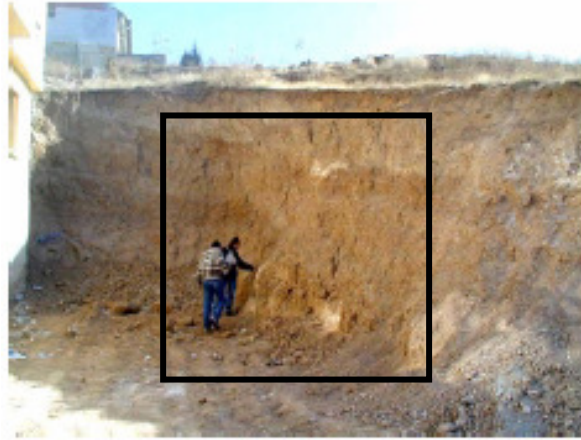
Mamuca Formasyonu: Çalışma alanının güneyinde Odunpazarı Belediyesine ait mahallelerin sınırları içinde gözlenir. Yaşının Eosen olduğu yapılan çalışmalardan belirlenmiştir. Genellikle konglomera, kumtaşı kil ve marn olarak bilinir. İstifin kırmızı kil bağlayıcı içinde çoğunluğu ultrabazik kayalık çakıllarından oluşan konglomera ile başlayıp, kum, çakıl, kıltaşı ve konglomera ardalanması şeklinde devam ettiği gözlenir. Killi ve marnlı birimler Mamuca formasyonunun bir üyesi olarak, konglomera ve kumtaşlarının üstüne gelirler. Konglomera bu birimin en karakteristik litolojisidir [18].

Konglomera kırmızı ve koyu kırmızı renklidir. Konglomera alt seviyelerde düzenli bir tabakalanma göstermez, yer yer mercekleme ve kapanır. Buna karşın üst seviyelerde ise, düzgün tabakalanmaya sahip olduğu gözlenmiştir. Konglomeranın çakılları genellikle yuvarlak gabro, diyabaz çakıllarıdır. Konglomeraların üstüne ultrabazik tanelerin yoğunlukta olduğu kum seviyelerinin geldiği gözlenmiştir. Kum seviyelerinin bazı yarmalarda tabaka yapısı gösterirken, bazı yerlerde mercekleme görülmektedir (Şekil 6.3.4) [18].



Şekil 6.3.4 Mamuca Formasyonu içinde konglomera-kil mercekleme [18].

Porsuk formasyonu : Bu birim, alttan üstte doğru istiflenmenin en iyi gözleendiği birimdir. Bu birimin en altında iri çakıllı konglomera başlar, konglomeranın çakılları kireçtaşı ve çokça granitten oluşmuştur. Çakıl tanelerinin boyutu 15-5 cm arasındadır. Üstte doğru konglomeranın yerini kumtaşlarının aldığı, kumtaşı ve konglomeranın ardalandığı gözlenmektedir (Şekil 6.3.5). Konglomera ve kumtaşlarının alt seviyelerinin sıkça, üst seviyelerinin daha az ve düzensiz süreksizliklerle kesildiği gözlenmiştir [18]. Kumtaşlarına asit döküldüğünde köpürdüğü gözlenmiştir. Bu durumda kumtaşlarının çimento malzemesinin karbonat olduğu belirlenmiştir. Yapılan ince kesit tanımlamalarından kumtaşının kalsit, kuvars ve feldspat minerallerinden oluşmuştur. Kumtaşı tabakalarının eğim yönü ve eğim açısı $160^{\circ}/30^{\circ}$ ile $140^{\circ}/40^{\circ}$ dır. Konglomeraları oluşturan blok ve çakılların uzun eksenlerinin tabakalanmaya paralel olduğu gözlemiştir. Bu birimin yaşının Miyosen olduğu kabul edilmiştir [18].



Şekil 6.3.5 Porsuk Formasyonunda görülen sarı kumtaşları [18].

Porsuk formasyonu'nun bir diğer üyesi olan birim; tuf, marn ve en üstte kilden oluşmuştur. Konglomera ve kumtaşlarının üstüne doğrudan gelen bu üyenin yaşının Miyosen olduğu sanılmaktadır [18]. Tuf, beyaz renkli olup, marn ve kilin rengi kırmızıdır. Huzur mahallesi ve Kimsesizler Yurdu'nun yer aldığı tepenin etrafını bir kuşak gibi sarar. Yine Devlet mahallesinden Yenikent mahallesine giden yolun kuzeyinde bulunan yol yarmalarında mostra vermiştir (Şekil 6.3.6). Pembe ve

beyaz ardalama şeklinde gözlenen iki cins tuf olduğu ve pembe tufün beyaza göre daha çok aşınmaya uğradığı gözlenmiştir. Optik mikroskop incelemelerinde bu birimin feldspat, biyotit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir [18].

Kireçtaşı, Porsuk Formasyonu'nun en üstte yer alan üyesini oluşturur. Kent içinde en tipik olarak gözlendiği yer, Aziz Bolel Kimsesizler Yurdu'nun bulunduğu tepedir. Birim beyaz renkli kireçtaşından oluşmuştur. Kireçtaşının içinde boşluklar olduğu gözlenmiştir. Asit ile test edildiğinde asite karşı fazla duyarlı olmadığından, bu birimin dolomitik olabileceği düşünülmektedir. Kireçtaşı üst seviyelere doğru şeker dokusunda kristalize kireçtaşına dönüşür.



Şekil 6.3.6 Tuf-marn-kil ardalaması (Porsuk formasyonu üst üyesi) [18]

Eski Alüvyon: Bu birim, yeni alüvyon ile birlikte Eskişehir yerleşim alanının önemli bir bölümünü kaplar. Yaşının Pleyistosen olduğu bilinmektedir. Eski alüvyon, D-B veya KB-GD yönünde uzanan eski akarsuların taşıyıp biriktirdiği tortullardan oluşmuştur. Bu birim, tamamen Tepebaşı Belediyesine ait mahalleleri kapsar. Bu belediyenin sınırları içinde bulunan Şirintepe, Seyrantepe ve Uluönder mahallelerinin tamamı; Çamlıca Mahallesinin kuzey tarafları (Yunuskent) hariç tüm alanları; Zincirlikuyu Mahallesinin kuzey tarafları; Yeşiltepe Mahallesinin orta ve güney kesimleri; Esentepe Mahallesinin orta kesimleri bu birimin üzerinde bulunur (Şekil 6.3.7) [18].



Şekil 6.3.7 Tepebaşı'nda mostra veren eski alüvyon [18]

Eski alüvyonun en üst seviyesini kil ve kireçtaşı birikiminden oluşan ince sert bir seviye oluşturur. Tüm mostralarda bu durumu görmek olanaklıdır. Bu seviyenin asit ile köpürdüğü, yüzeyine bakıldığında içinde kil boyutunun üstünde başka malzemelere ait taneler ve boşluklar olduğu gözlenir. Bu seviyenin altında ince kum-silt, iri kum seviyeleri bulunur. Bunların kalınlıkları 5-15 cm arasındadır. Devamlı tabakalanma gösterirler. Bu seviyelerin altında konglomera gözlenir. Çakıllar peridotit, diyabaz, gabro, çört ve kireçtaşından oluşur. Bu seviyede belirgin bir tabakalanma gözlenmez ve yer yer kamalanarak merceksi bir yapı oluştururlar. Konglomera altında kumtaşı, silttaşı ve kiltası tekrar ardalanır. Kumtaşı seviyeleri oldukça gevşektir ve elde ufalanır, buna karşın üst seviyeyi oluşturan killi kireçtaşı sert olup, oldukça zor ufalanır [18].

Yeni Alüvyon: Yeni alüvyon olarak adlandırılan birim, Eskişehir ve civarının en genç birimidir. Eskişehir yerleşim alanı içinde en geniş alanları kaplar Tepebaşı Belediyesi'nin eski alüvyon dışında bulunan tüm mahalleleri bu birimin üstünde yer alır. Odunpazarı Belediyesi'nin kuzey sınırı boyunca ve Porsuk Çayı'na sınırı olan mahalleleri yine bu birimin üstünde yer alır. Bu birim Eskişehir Ovasını dolduran gevşek tortullardan oluşmuştur [18]. Taneler arasında çimentolanmadan bahsetmek olanaksızdır (Şekil 6.3.8). Bu birimin en üst seviyesini oluşturan organik toprak görünümündeki seviyenin kalınlığı yer yer değişir. Genellikle bu seviyenin altında silt %'sinin daha fazla olduğu siltli-kum gelir. Bu seviyenin rengi sarıdır. Bazı yerlerde bu seviyenin altında kalan kil seviyesi gelir. Daha alt seviyelerde kum

seviyesi ve onun altında siltli-kum gelir. Altta doğru kum %' si artar ve çakıllı kum seviyeleri başlar. Bu birim hakkında tüm bilgiler, arazi çalışmaları sırasındaki gözlemlerden, krokilenen temel çukurlarından, sondaj ve SCPT sondaj verilerinden elde edilmiştir [18].

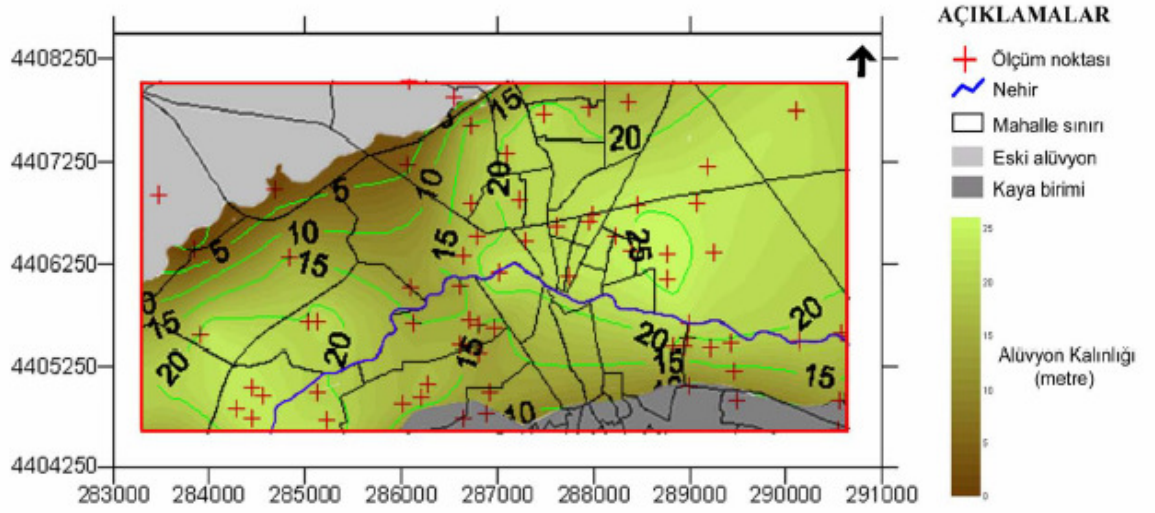


Şekil 6.3.8 Yeni alüvyon profili, Hasan Polatkan Bulvarı sonu [18]

6.3.2 Jeofizik Özdirenç Çalışmaları

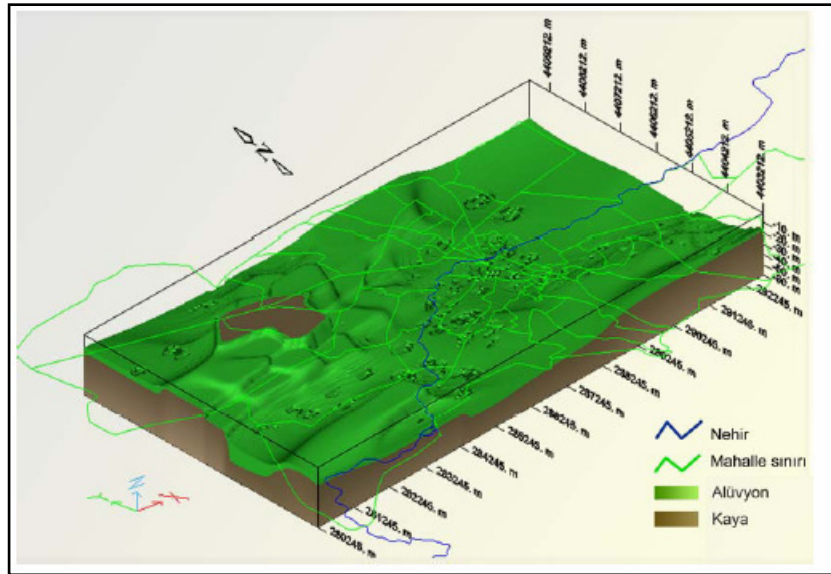
Eskişehir Odunpazarı ve Tepebaşı Belediyeleri sınırları içerisinde yapılacak zemin etüdlerine veri teşkil etmek amacı ile DSİ III. Bölge Müdürlüğü tarafından 112 lokasyonda, derinlikleri yaklaşık 60 m olan Düşey Elektrik Sondaj (DES) yapılmıştır [55,56].

Bu ölçülerin neticesinde çıkartılan jeofizik kesitler, çalışılan bölgede kalan alüvyon kalınlığının 10-25 m arasında değiştiğini, kuzeydoğuya doğru gidildikçe Porsuk Çayı'nın fazla malzeme depolaması ile diğer yerlere göre 10-15 m kalınlığından 15-25 m kalınlığa kadar (Şekil 6.3.9) ulaştığı belirlenmiştir [55,56].



Şekil 6.3.9 Çalışma alanında öz direnç ölçüm noktaları ve alüvyon kalınlığı haritası [54]

Yeni alüvyon, çalışma alanı içinde en geniş alanı kaplar. Eskişehir DSI III. Bölge Müdürlüğü tarafından [55,56] yapılan öz direnç çalışmaları ve sondaj kuyu verileri ile bölgenin alüvyon kalınlığı modeli Anadolu Üniversitesi Uydü ve Uzay Bilimleri Enstitüsü tarafından oluşturulmuştur (Şekil 6.3.10) [54].



Şekil 6.3.10 Çalışma alanını içine alan bölgenin sayısal alüvyon kalınlığı modeli [54]

6.3.3 Yapısal Jeoloji

Eskişehir ve civarının yapısal jeolojisi incelendiğinde, bu bölgenin oldukça karmaşık bir konumda bulunduğu anlaşılır. Çalışma alanı ve civarındaki bölgenin, Türkiye'nin bugünkü konumuna gelmesini sağlayan kıta hareketlerinden etkilenmesi, bölgenin yapısal jeolojisini de etkilemiştir.

Dağ sıralarının oluşması (orojenez) sırasında etkilenen alanlar, tektonik bakımından oldukça aktif yerlerdir. Bu açıdan ele alındığında, Türkiye tektonik bakımından oldukça aktif bir konumdadır. Aynı tanım Eskişehir ve civarı içinde yapılabilir. Eskişehir ve civarı Hersinyen Orojenezinden başlayarak Alp Orojenezine kadar ve daha sonraki safhalarda tüm kıta hareketlerinden etkilenmiştir [18].

6.3.3.1 Oluşum Yaşlarına Göre Eskişehir Civarında Faylar

a) Neojen Öncesi Oluşan Faylar

Eskişehir ve Eskişehir'in kuzeyi, Triyas'ta Paleo-Tetis'in bir kenar denizi olan Karakaya Kenar Denizi'nin kapanması ve hemen ardından, Orta-Jura'da bu kez Paleo-Tetis'in kapanması sırasında oluşan sıkışma tektoniğinden etkilenmiştir. K-G yönlü olan bu sıkışma nedeni ile, Triyas ve Triyas öncesi oluşan kaya birimleri içinde bu sıkışma sonucu oluşan faylanmanın izlerini görmek olanaklıdır [18].

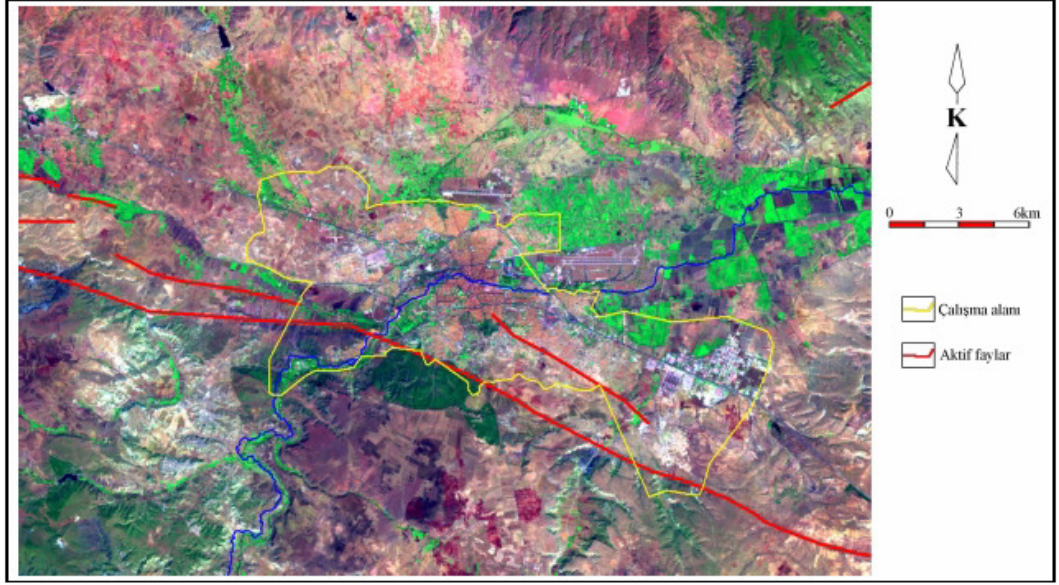
Faylanmanın uzantısının KB-GD olduğu ve Mamuca Köyünden Eskişehir yerleşim yerine doğru uzandığı arazideki taş ocağında gözlenmiştir (Şekil 6.3.11). Bu faylar Eskişehir'in deprenselliğini etkileyecek bir özelliğe ve konuma sahip değildirler [18].



Şekil 6.3.11 Sultandere Köyü Batısında taş ocağında gözlenen fay [18].

Şaroğlu vd., (1992) [57] tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay haritasında Eskişehir'in konumuna bakıldığında, bölgenin günümüzden 15-5 milyon yıl önce (Orta Miyosen-Pliyosen dönemi) oluşmaya başlayan Kuzey Anadolu Fay'ından (KAF) etkilenmeye başladığı gözlenir. Bu dönemde çalışma alanında K-G yönlü gerilmeler ve buna ek olarak doğudan batıya doğru olan Batı Anadolu-Ege Plakasının hareketi ile yanal veya oblik faylar gelişmiştir. Bursa İnegöl-Eskişehir-Kaymaz Fay hattının bu dönem içinde oluştuğu düşünülmektedir [57-58]. Çalışma sahasını etkileyeceği düşünülen fay zonu, bu olmaktadır. MTA Aktif Fay Haritasında yer alan, bundan önce yörede çalışanların ortaya koyduğu ve İnönü-Eskişehir arasındaki fay, bu çalışmada "Eskişehir Fay Zonu" olarak adlandırılmıştır [57-58]. Bu sahada ve bu konuda ayrıntılı çalışanlar, bu fayı alt parçalara bölerek ayrı isimlerle adlandırmışlardır [58-18].

İnönü-Eskişehir ve Eskişehir'in yaklaşık 30 km Doğusuna kadar olan hat boyunca yapılan arazi gözlemleri ve hava fotoğrafları-uydu görüntüleri yorumları esas alınarak, bu hat boyunca uzanan fay haritaya işlenmiştir. Eskişehir Fay zonunun birbirine paralel birkaç parçadan oluştuğu, yaklaşık 2-4 km genişliğinde bir zon içinde yer aldığı belirlenmiştir. Eskişehir'in güneyinden geçtiği, uydu verilerinden saptanmıştır (Şekil 6.3.12) [18].



Şekil 6.3.12 Uydu görüntüsünde Eskişehir'in güneyinden geçen fayın konumu [18].

Bu konuda yapılan yayınlardan [57-58-59] fayın aktif olduğu, sağ-yanal doğrultu atımı bulunmakla birlikte, eğim yönünde de kayma izlerinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Buna göre, Eskişehir Fayı doğrultu atımlı, az normal bileşene de sahip bir faydır. Sultandere civarında Porsuk Formasyonunun üst birimlerini (Miyosen yaşlı) kestiği ve burada 50° - 60° kuzeye eğimli fay yüzeyleri bulunmuştur. Bu nedenle, Eskişehir Fay Zonunun Eskişehir'i deprem açısından etkileyebilecek özellikte olduğu düşünülmektedir [18].

6.3.3.2 Konumlarına Göre Eskişehir Civarı Fayları

Eskişehir yerleşim yeri ve civarında yapılan çalışmalardan çıkartılan sonuçlara göre Eskişehir yerleşim yerini etkileyecek farklı konumdaki faylar üç grup altında değerlendirilmiştir [18].

Bunlar;

1) Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kanadı,

1.a. Akyazı-Taraklı doğusu

1.b. Akyazı-Taraklı batısı

2) Kütahya-Simav Fay Zonu

3) Eskişehir Fayı

1999 yılından bu yana oluşan güncel depremler incelendiğinde, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) güney kanadının, kuzeye göre daha az etkinlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Tüm bu nedenler göz önüne alındığında, KAF'ın güney segmentinde bir hareketliliğin olma olasılığı yüksek görünmektedir. Bu nedenle ve Eskişehir yerleşim yerine oldukça yakın olması nedeni ile KAF'nın güney tarafı Eskişehir yerleşim alanını etkileyebilecek deprem kaynak alanı olarak düşünülebilir.

a) Akyazı-Taraklı Doğusu, Eskişehir yerleşim yerine uzaklığı 84 km,

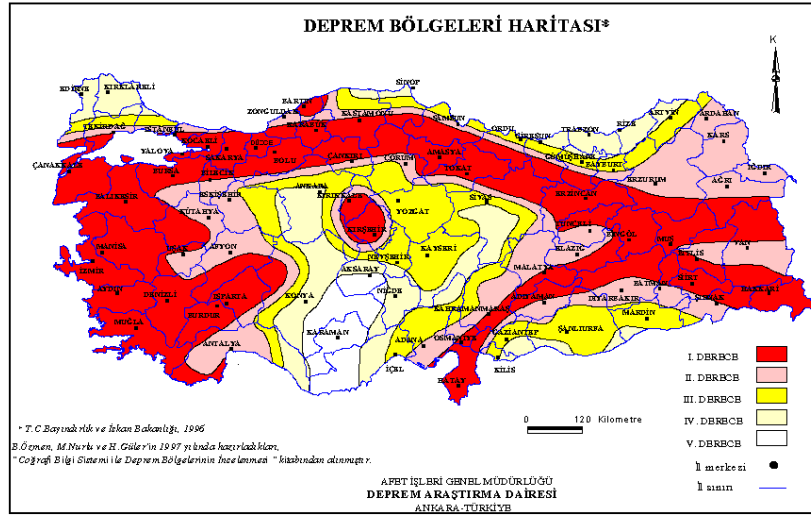
b) Akyazı-Taraklı Batısı Eskişehir yerleşim yerine uzaklığı 79 km

olmak üzere iki kısımda ele alınmıştır [18].

Kütahya-Simav Fay Zonu: Eskişehir yerleşim yerinin yaklaşık 55-85 km güneybatısında yer alan bu fay zonu, Ege Bölgesi'nin açılma konumuna uygun, yaklaşık D-B uzanımlı bir zondur. Kütahya Fayı ile Simav Fay Zonu birbirlerine paralel olarak uzanan iki ayrı fay konumunda olup, Kütahya Fayı uzunluğu 40 km, sol yanal bir fay özelliğine sahiptir. Simav Fay Zonu ise, yaklaşık 65 km uzunluk ve 20 km genişliğe sahip bir fay zonu olup, graben özelliği gösterir. Fay zonunun bazı parçaları sol yanal atımlı fay karakterine sahiptir (Şaroğlu vd., 1992) [18].

6.4 Eskişehir ve Civarının Sismotektonik Özellikleri

Depremsellik açısından en tehlikeli bölgeler, yer ivmesinin 0.4 g ve daha büyük olacağı bölgeler olup, Şekil 6.4.1 Türkiye deprem bölgeleri haritasında I. Bölge olarak işaretlenmiş kırmızı renkli bölgelerdir. Yer ivmesinin 0.3-0.4 g arasında olmasının beklendiği bölgeler II. Bölge olarak temsil edilmiştir [61].



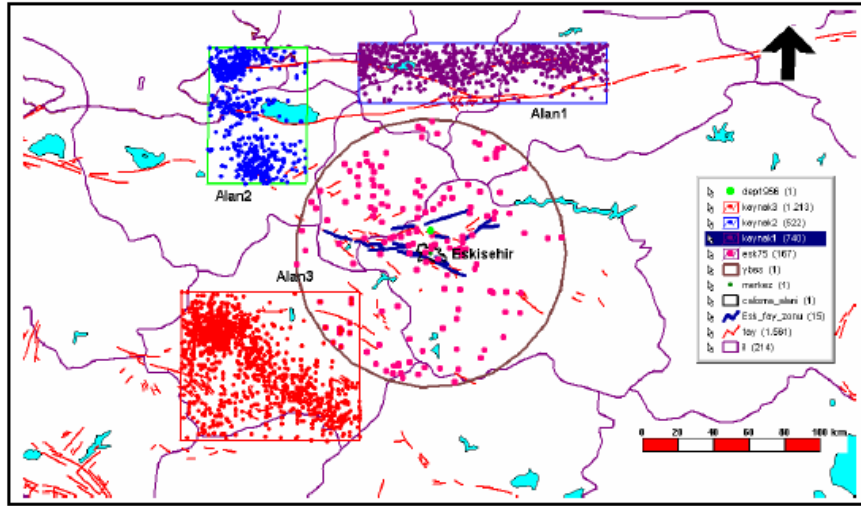
Şekil 6.4.1 Türkiye deprem bölgeleri haritası ve diri fay haritası [60]

Eskişehir son düzenlenmiş Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında II. Derecede Deprem Bölgesi içinde yer almıştır (Şekil 6.4.1). Böylece mevcut yönetmeliklerde belirtildiği şekliyle, Eskişehir yerleşim alanı ve civarını etkileyebilecek bir depremin oluşturabileceği en büyük yer ivmesinin en az 0.3 g, en çok 0.4 g olması beklenmektedir [62].

Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan "Eskişehir Yerleşim Yerinin Yerleşim Amaçlı Jeoloji ve Jeoteknik Etüt Raporu" [18] kapsamında Eskişehir yerleşim yeri ve civarında etkili olan depremlerin taraması yapılmış, 38.15° - 41.35° kuzey enlemleri ve 28.9° - 32.1° doğu boylamları arasına giren veriler kullanılmıştır. Tarama sonucunda belirtilen alanın

içine 15.913 adet sismik nokta girdiği saptanmıştır. 15.913 adet veri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak sayısal harita üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.4.2) [18].

En düşük ve en yüksek deprem büyüklük değerleri sırasıyla, “1” ile “7.4”dür. Bu değerler arasında bir gruplandırma yapıldığında, deprem büyüklüğü “3” ve daha üstünde olan sismik aktivitelerin sayısı 4107; “4” ve daha üstünde olan sismik aktivitelerin sayısının ise, 604 olduğu görülmüştür. Sismik aktivitenin arttığı yerlerin, tektonik hatların bulunduğu yerlere karşılık geldiği gözlenmiştir. Eskişehir yerleşim yeri ve civarının sismik aktivite durumu CBS ile oluşturulan haritadan açıkça görülebilmektedir (Şekil 6.4.2). [18]



Şekil 6.4.2 Eskişehir yerleşim yeri ve civarının sismik aktivite durumu ve deprem kaynak alanları [18]

Eskişehir'in depremsellik ve sismik tehlike analizinde deterministik ve probabilistik olarak adlandırılan iki yöntem kullanılmıştır [18]. Deterministik ve probabilistik yöntemlerde, Eskişehir yerleşim yerini etkileyecek en önemli deprem kaynağının Eskişehir Fay Zonu olduğu belirlenmiştir. Deterministik yöntemle yapılan analizde farklı araştırmacıların ivme azalım ilişkileri kullanılarak, Eskişehir Fay Zonu'nda oluşacak 6.5 büyüklüğünde bir depremde, Eskişehir yerleşim yerini etkileyeceği düşünülen en büyük yatay yer ivme (pha) değerinin 0.319 g olduğu bulunmuştur.

Olasılığa dayalı probabilistik yöntemle yapılan analiz sonucunda Eskişehir yerleşim yerini etkileyebilecek farklı pha değerlerinin oluşabilme olasılıkları hesaplanmıştır. 0.3 g'lik pha'nın 27-70 yıl, 0.4 g için ise, 66-140 yıl arasında tekrarlanma süresinin olduğu bulunmuştur. Gutenberg-Richter bağıntısına göre, 1956 Eskişehir Depremi büyüklüğünde bir depremin, doğrusal denklem dikkate alındığında 47 yıl, üssel denklem dikkate alındığında 80-90 yılda bir tekrarlanabileceği ortaya çıkmıştır [18].

Eskişehir yerleşim yerinin sismik tehlike analizini yapabilmek için, Eskişehir yerleşim yerini etkileyebileceği düşünülen deprem kaynakları, tektonik hatlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Yapılan CBS sorgulamaları sonucunda, dış merkezlerin harita üzerinde ortaya çıkan kümelenmesinden hareket edilerek, Eskişehir yerleşim yerini etkileyecek 3 adet alan kaynak, 1 adet çizgi kaynak ve 1 adet nokta kaynak olmak üzere toplam 5 adet kaynak saptanmıştır [18].

Bu deprem kaynakları;

- a) Kuzey Anadolu Fayının (KAF) Bolu-Taraklı Kısım,
- b) Kuzey Anadolu Fayının (KAF) Geyve-İznik Kısım,
- c) Kütahya-Simav Fay Zonu,
- d) Eskişehir Fay Zonu,
- e) 1956 Eskişehir Depremi'dir.

Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) Bolu-Taraklı Kısım (Alan 1) : Bu fay, Mudurnu Vadisi Fayı olarak da adlandırılır. Bu yörede yapılan çalışmalar sonucunda, fayın sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay ve toplam uzunluğunun da, 70 km olduğu belirtilmiştir. Genellikle D-B yönünde uzanan fay, yaklaşık 2 km lik bir zon içindedir. Yapılan çalışmalar sonucunda fayın aktif olduğu ortaya konmuştur. KAF'nın en güneydeki parçasını oluşturan bu fayın deprem etkinliğinin aletsel dönem kayıtlarına göre, 1957 Abant ve 1967 Mudurnu depremleri ile sona erdiği görülmüştür. Yaklaşık 30-40 yıllık bir tekrarlanma süresine sahip olan bu fayda yıkıcı deprem oluşturma olasılığının yüksek olduğu belirtilmektedir. Abant Depreminin 7.0 ve 10 sene sonra olan Mudurnu Depreminin ise 7.1 büyüklüğünde (Ms) olması ve belirlenen tekrarlanma süresinin aşılması, bu fay zonunun deprem

oluşturma olasılığının bulunduğunu ortaya koyar. Bu fayın Eskişehir yerleşim yerine uzaklığı yaklaşık 80 km dir [18].

Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) Geyve-İzmit Kısmı (Alan 2) : Eskişehir yerleşim yerine yakınlığı yaklaşık 79 km olan KAF nın bu kısmı, Göynük-Akyazı hattının batısından başlar ve Gemlik Körfezi'nde denizde son bulur. Uzunluğu yaklaşık 120 km olan sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. Bu fay konusunda yapılan çalışmalarda, fayın en son 500 yıl önce depreme neden olduğu ortaya konmuş olup, bu nedenle bugüne kadar fayda enerji birikimi olduğu ve fayın bir sismik boşluk oluşturduğu belirtilmiştir [18].

Kütahya-Simav Fay Zonu (Alan 3) : Eskişehir yerleşim yerinin yaklaşık 50-100 km GB'da yer almaktadır. Kütahya Fayı Eskişehir yerleşim yerine daha yakın olup, 50 km uzaklıktadır. Simav Fay Zonu bir graben karakterindedir. Bu zon 60 km uzunluğunda olup, genişliği yaklaşık 20 km dir [18].

Eskişehir Fay Zonu : Eskişehir'i etkileyecek durumda olan aktif bir faydır. Eskişehir'in güneyinde yer alır. Eskişehir Fay Zonu'nun Eskişehir yerleşim yeri güneyinde bulunan kısmı çizgi kaynak olarak alınmıştır. Uydu görüntüsü ve saha çalışmaları sonucunda fayın uzunluğu yaklaşık 40 km olarak alınmıştır. Fayın alışma yeri merkezine en yakın uzaklığı 3 km olup, fayın uçlarına olan uzaklıklar ise, 18 ve 25 km' dir [18].

1956 Eskişehir Depremi : 1956 Eskişehir Depreminin odak noktası deprem kaynak noktası olarak alınmıştır. Kandilli Rasathanesi deprem kayıtlarında 1956 Eskişehir Depreminin odak derinliğinin (h) 40 km olduğu belirtilmektedir. Depremin çalışılan yere olan dış merkezinin uzaklığı 12 km olarak belirlenmiştir [18].

7. ESKİŞEHİR YERLEŞİM YERİ ZEMİNLERİNİN YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI VE ZEMİN BÜYÜTME DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ

7.1 Giriş

Bu çalışmada öncelikli olarak saha içindeki veriler incelenerek yeraltı seviyesinin değişimlerine bakılmıştır. Anadolu Üniversitesinin yapmış olduğu SPT uygulama noktalarında her bir sondaj noktası için ortalama 1.5 metre aralıkla yapılmış SPT-N sayılarının değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından Eskişehir yerleşim alanı içerisinde 16938.5 hektar'lık bir alanı içine alan yeni alüvyon üzerinde 32 farklı noktada Sismik Konik Penetrasyon Testi (SCPT) yapılmıştır. SCPT uygulamasında 155 katmanda uç direnç (qc), yanal sürtünme (fs) ve makaslama dalgası hızı (Vs) değerleri ölçülmüştür. Aynı katmanlara ait sürtünme oranı (Rf), drenajsız makaslama dayanımı (Su), SPT enerji oranı (N60), katmanların Robertson vd. (1986)'ne göre zemin sınıfları ve zemin doğal titreşim periyodu (To) hesaplanmıştır [54].

Eskişehir'de ana kaya seviyesinin saptanması için derin sondajlar yapılmadığından ve bu konuda kesin veriler bulunmadığından, Power (1986), Finn (1991), Ansal ve diğ., (1994) ve Anderson ve diğ., (1996)'nin, zemin yüzeyindeki ilk 25-30 metrelik tabakaların, deprem dalgalarının ivme değerlerini daha derin tabakalara göre daha çok büyüttüğü şeklindeki görüşleri dikkate alınmıştır [63]. Yapılan penetrasyon deneylerinden zemin büyütmelerinin belirlenmesi için literatürde belirtilen yüzeye yakın ilk 30 m nin kritik bir derinlik olduğunun ve açılacak sondajların ve yapılacak incelemelerin en az bu kadar derinlik için olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle doğrusal ekstrapolasyon metodu ile bu derinlikler 30 metreye kadar taşınmıştır. 30 m derinlikte tabaka kalınlıklarının ağırlıklı ortalamaları göz önünde bulundurularak ortalama SPT-N sayısı ve ortalama makaslama dalgası hızı hesaplanmıştır ve bu değerler zemin büyütmesinin bir göstergesi olarak düşünülmüştür. Yine her sondaj noktasında SPT-N sayılarından derinlik boyunca literatürdeki her zemin türü için İyisan (1996) [64-65-66]; sitli,

killi, kumlu birimler için Lee (1999) [67]; çakıllı birimler için Ohto ve Goto (1978) [68]; bağıntıları ile ortalama makaslama dalgası hızları hesaplanmış ve Midorikawa (1987) [69], Joyner & Fumal (1984) [70], Borchardt vd. (1991) [16] bağıntıları ile de göreceli zemin büyütme oranları hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken Özçep (2005) tarafından geliştirilen Excel tabanlı program [94] kullanılmıştır. Bu analiz, sayısal çözümleme yöntemiyle hesaplanan 30 metredeki ortalama hız ($V_{s,30}$) değerleri kullanılarak büyütme oranları ve NEHRP yer sınıflaması için yapılmıştır.

Saha çalışmaları sonucu elde edilen tüm veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak sayısal ortamda yorumlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), coğrafi verilerin toplanması, modellenmesi ve analiz edilmesi amacı ile geliştirilmiş bilgisayar yazılımlarından oluşur. Sayısallaştırılmış haritaların CBS kullanılarak yorumlanması ve modellenmesinde GeoMedia Professional 6.0 [86] yazılımı kullanılmıştır. 3-Boyutlu CBS özellikle 3 boyutlu değerlendirilebilen jeolojik çalışmalar için geliştirilmiştir, böylece veri kümeleri üç boyutlu koordinatlandırma ile hacimsel olarak karakterize edilebilir. Bu üç boyutlu koordinatlandırmada, yatay yüzey için x, y ve dikey derinlik için z değişkenleri kullanılır [88]. Üç boyutlu modelleme çalışmalarında Voxel Analyst [85] yazılımı kullanılmıştır.

7.1.1 Doğrusal Ekstrapolasyon

Bir serinin ilk teriminden önceki veya son terimini takiben bulunacak terim değerinin tahmin edilmesi işlemine denir. İnterpolasyonla aynı işlemlere tabidir. Bir polinom veya üstel bir fonksiyon esas alınarak serinin bilinen terimlerine dayanılarak, bilinmeyenler hakkında sonuç çıkarılır. Eğri denklemi, noktaların arasından geçecek şekilde ifade olunur. Doğru denklemi, parabol denklemi ve üstel fonksiyonla ekstrapolasyon yapılır [96].

Serinin verilerine karşılık noktaların arasından geçirilen ve olayın normal gelişimini gösteren trend denklemi, seride varolmayan değerleri tahmine yarar. Eğrinin sürekliliğine ve dönüm noktalarına göre, fonksiyonun tipi ve derecesi saptanır [96].

<u>Polinom</u>	<u>Üstel Fonksiyon</u>	<u>Kullanılacak Veri Sayısı</u>	<u>Fonksiyon Derecesi</u>
$Y=a+bX$	$Y=a.b^X$	2	1
$Y=a+bX+cX^2$	$Y=a.b^X.c^{X^2}$	3	2
$Y=a+bX+cX^2+dX^3$	$Y=a.b^X.c^{X^2}.d^{X^3}$	4	3
.	.	.	.
.	.	.	.
$Y=a+bX+\dots+kX^{n-1}$	$Y=a.b^X\dots k^{X^{n-1}}$	n	n-1

$$Y= f(X,a,b,c\dots) \quad a, b : \text{Aranılan Parametreler}$$

$$Y= a + bX \quad X, Y : \text{Değişken Veriler}$$

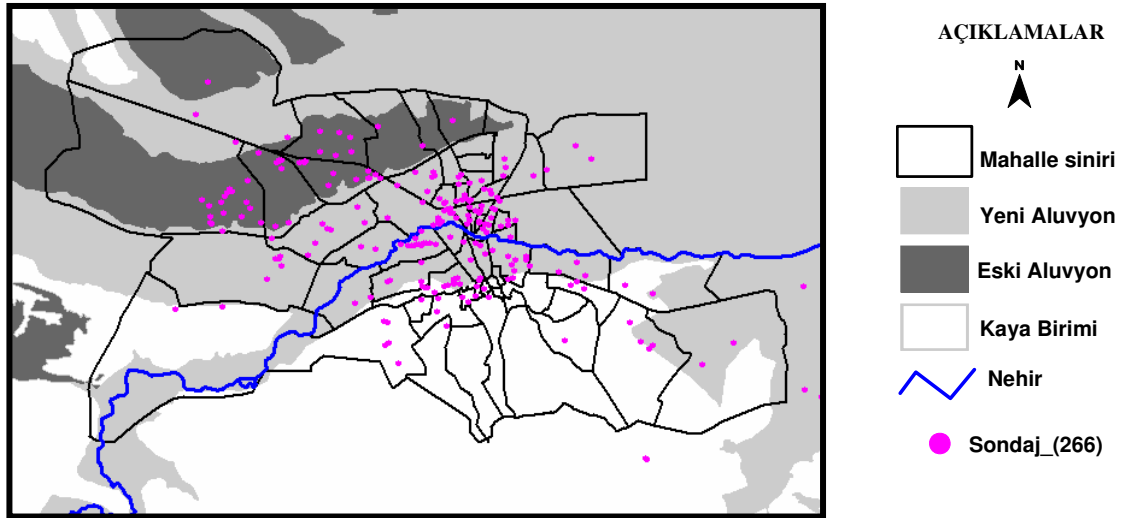
Doğru denklemi ile ekstrapolasyon, olayın doğrusal bir değişme gösterdiğini veya aritmetik bir dizi şeklinde artıp-azaldığını gösterir. İki veri arasında, X'in herhangi bir değeri, Y belirli bir fonksiyonu ifade eder.

7.2 Yerel Zemin Büyütme Değerlerinin (SPT)'den Elde Edilen Vs Yardımı ile Belirlenmesi

Eskişehir yerleşim yerinin daha önceki yıllarda yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları sırasında zeminin özelliklerinin ortaya çıkartılması amacıyla zemin ve CPT sondajları yapılmıştır [18-54]. Kayalık yerlerden örnekler alınmış ve arazide kayaçların tek eksenli dayanım özellikleri tanımlanmıştır. Bu sondaj yerleri çalışma alanında homojen dağılmış ve alüvyon birim içinde konuşlandırılmıştır. Çalışma sırasında bu sondajlardan 98 adedinin kaya birimleri üzerinde yapılmış olduğu saptanmış ve zemin konusunda bilgi vermesinin olanaksız olacağı düşünülmüştür. Eskişehir yerleşim yerinin güneyinde ve Odunpazarı belediyesine ait yerlerde geniş alanları kaplayan kaya birimlerinin yoğun olduğu gözlenir. Bu sondajlara ek olarak Standart Penetrasyon (SPT) deneyleri yapılmıştır [18].

Yerel zemin koşullarının jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile açılan sondaj kuyuları içinde kaba daneli zeminlerin yerleşim sıklıkları, ince daneli zeminlerin de kıvamını belirlemek ve örselenmemiş numune almak için ideal olarak 1.5 m aralıklar ile SPT deneyi yapılır. SPT-N sayıları statik ve dinamik zemin parametrelerinin bulunmasında pratik olarak kullanıldığı gibi tek başına zemin büyütmesinin bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir.

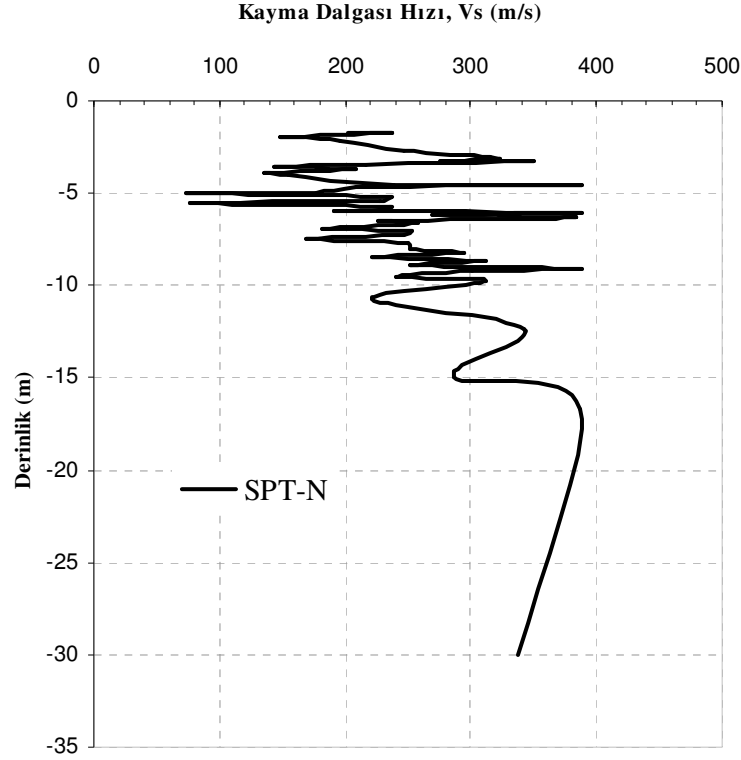
Bu tez çalışmasının kapsamında eşdeğer SPT-N sayıları kullanılarak zemin büyütmesinin bir göstergesi olarak kullanılmıştır. Çalışma alanında önceden belirlenen noktalarda toplam 266 adet Standart Penetrasyon Testi (SPT) verisi elde edilmiştir. Bu veriler Anadolu Üniversitesi tarafından elde edilmiştir. Bu verilerin 247 tanesi zemin büyütme çalışması için kullanılabilir niteliktedir (Şekil 7.2.1).



Şekil 7.2.1 Çalışma alanında SPT uygulama noktaları

Derinlikle V_s ' nin değişimi, ölçüm derinliklerine bağlı olarak yaklaşık 16 m derinliğe inilmiştir. Doğrusal ekstrapolasyon sayısal çözümleme ile bu derinlik 30 metreye kadar çekilebilmiştir. Derinlikle hızın artış göstermesine karşılık uygulanan arazi deneylerinde, zemin kesitinde ince ve iri daneli tabakaların ardalanmalı olarak yer alması nedeniyle, yüksek hıza sahip tabakalar altında daha düşük hızlı tabakalarla da karşılaşmıştır. Şekil 7.2.2 den anlaşılacağı gibi 5 m kadar yüksek hız değerleri

(150-398 m/s) görülmekte olup 5 m de Vs değerlerinde azalma (ortalama 100 m/s) görülmektedir ve daha derinlerde hız değerleri 200-350 m/s arasında değişmektedir.

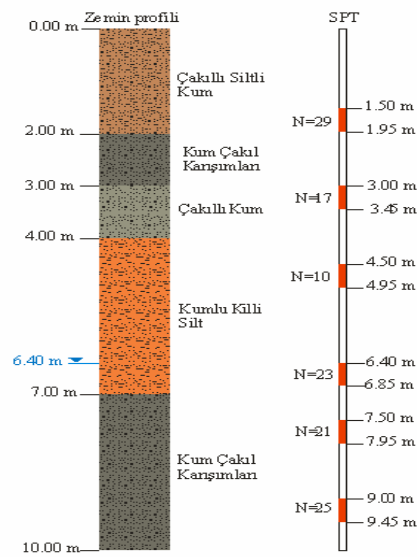


Şekil 7.2.2 SPT-N verileri için kayma dalga hızının derinlikle değişimi

Bu çalışma için zemin büyütmelerinin değerlendirilmesi ve hesaplanmasında, düzeltilmemiş SPT-N sayıları kullanılmış olup birinci bölümde '5.3 Ayrıntılı Çalışmalar' kısmında verilen ampirik bağıntılar yardımıyla SPT-N sayılarından kayma dalga hızı ve zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır.

Elde edilen bağıntılardan SPT-N nin yaklaşık 25 değerine kadar düşük hız değeri hesaplanmakta, yüksek SPT-N değerinde ise belirgin bir farklılaşma göze çarpmaktadır. SPT deneyinin uygulanması sırasında kullanılan donanım, deney teknikleri, analizlerde kullanılan bağıntıları etkilemektedir. Uygulama sırasında, ağırlık düşürme yöntemlerine bağlı olarak oluşan enerji kayıpları ve ağırlığın tam ölçüsünden düşürülmemesi N değerlerini etkilemektedir. Çeşitli ağırlık düşürme yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan deney; sondaj tijlerine takılmış, ortadan ikiye ayrılabilen (yarık) ve içinde pirinçten yapılmış bir tüpün bulunduğu bir

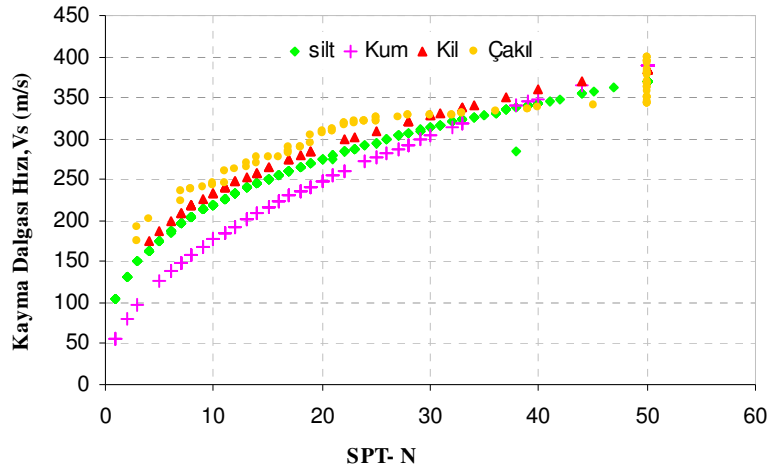
örnekleyicinin, 63.5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 760 mm yükseklikten tijlerin üzerine düşürülerek zemine sokulması ilkesine dayanır [81]. Bu test sırasında zemine 45 cm sokulan örnekleme tüpünün, son 30 cm'lik zemin içinde yaptığı ilerlemeyi sağlayan düşme sayısı N darbe sayısı olarak tanımlanır. Deney başlangıcında özellikle yumuşak veya gevşek zemin tabakalarında gerekli penetrasyona daha düşük N değerinde ulaşılrken, SPT deneyi için gerekli penetrasyona ulaşılması için daha fazla darbenin gerektiği daha sağlam tabakalarda ise tersi olmaktadır. Bu durumda düşme yüksekliğine bağlı olarak uygulanan enerji azalmakta ve N sayıları daha büyük elde edilmektedir (Şekil 7.2.3).



Şekil 7.2.3 Yeni Alüvyon birimi üzerinde açılmış sondaj kuyusuna ait zemin profili

Kumun derecelenme özelliğine bakıldığında bazı yerlerde “SW” (iyi derecelenmiş kum) özelliği gözlenirse de, oldukça yaygın olarak “SP” (kötü derecelenmiş kum) olduğu belirlenmiştir. Kötü derecelenmiş kum olarak tanımlanan bu tür zemin genellikle aynı boyutta kumdan oluşmuştur ve bu tür zemin problem oluşturur. Bu tür zeminlerde, yapılaşmada ani oturmalar ve buna bağlı olarak binalarda deformasyonlar gözlenebilir. Bu kum seviyesini içeren alanın çok büyük bir kesiminde yeraltı seviyesinin kum seviyesinin üstünde olduğu bilindiğinden, bir diğer deyişle bu seviyenin yeraltı seviyesinin altında olması nedeni ile “SP” (kötü derecelenmiş kum) ile birlikte zeminde problem oluşturmaya yatkın ortam oluşur [18]. Kumlu zeminler tüm çalışma alanının %27'sini oluşturmaktadır.

Zemin tipinin bağıntılara etkisini araştırmak için Anadolu Üniversitesinin yeni-eski alüvyon birimleri ile kaya birimi üzerinde yapmış olduğu arazi deneylerinde elde edilen tüm veriler çakıl, kil, kum, silt olmak üzere dört ana gruba ayrılmıştır. Kil grubu verileri, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sistemine göre CH ve CL (düşük plastisiteli kil) sınıfına dahildir. Kil içeren zeminler toplam zeminin %23'dür. Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda likit limit % 2-95 arasında, plastik limit %14-71 ve plastisite indisinin ise % 1-52 arasında değiştiği görülmüştür. Çakıl grubu verileri ise genel olarak GP (kötü derecelenmiş çakıl), GC, GW sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanında yapılan tüm sondajlardan toplam zeminin %16'sı çakıl ihtiva etmektedir. Zemin tipinin etkisini daha iyi gözleyebilmek için SPT-N bağlı hesaplanan V_s değerleri karşılaştırması Şekil 7.2.4 de verilmiştir.

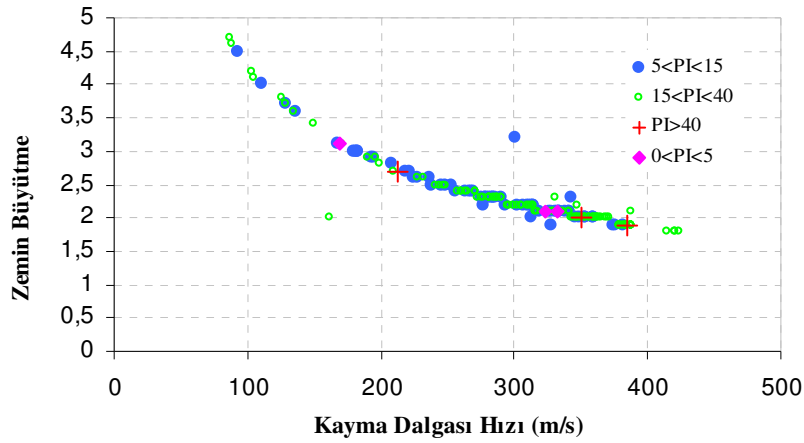


Şekil 7.2.4 Zemin tipinin bağıntılara etkisi (V_s - N ilişkisi)

Bu çalışmada Eskişehir yerleşim yeri zeminlerinde makaslama dalgası hızı (V_s) değerlerinin 57-398 m/s arasında değiştiği hesaplanmıştır. Zemin sınıflandırması değerlerine göre V_s hızı konusunda bir değerlendirme yapıldığında,

- Killi Birimlerde (CH-CL) V_s = 175-384 m/s
- Siltli Birimlerde (MH-ML) V_s = 105-369 m/s
- Kumlu Birimlerde (SW-SM-SP-SC) V_s = 57-390 m/s
- Çakıllı Birimlerde (GC-GP-GW) V_s = 174-398 m/s

hız değerleri hesaplanmıştır. Şekil 7.2.4 den anlaşılacağı üzere en yüksek kayma dalgası değerini çakıllı birimlerin, en düşük Vs değerini kumlu birimlerin vermiş olduğu görülmüştür. Eskişehir ve civarında muhtemel bir deprem sırasında, farklı genlik ve frekanslardaki tekrarlı gerilmelere maruz kalabilecek zemin tabakalarının gerilme-şekil değiştirme özellikleri ve mukavemet özellikleri de değişecektir. Bu durumda hem zemin tabakalarının davranışı hem de yüzeydeki yer hareketi karakteristikleri, zemin tabakalarının özelliklerinden etkilenecektir. Özellikle plastisite indisinin, zemin tabakalarının tekrarlı yükler altındaki gerilme-deformasyon davranışını etkileyen parametrelerden önemli bir tanesi olduğu laboratuvar deneylerine dayalı olarak bilinmektedir. Şekil 7.2.5 de plastisite indisine bağlı olarak zemin büyütme ile kayma dalgası arasındaki ilişki görülmektedir.



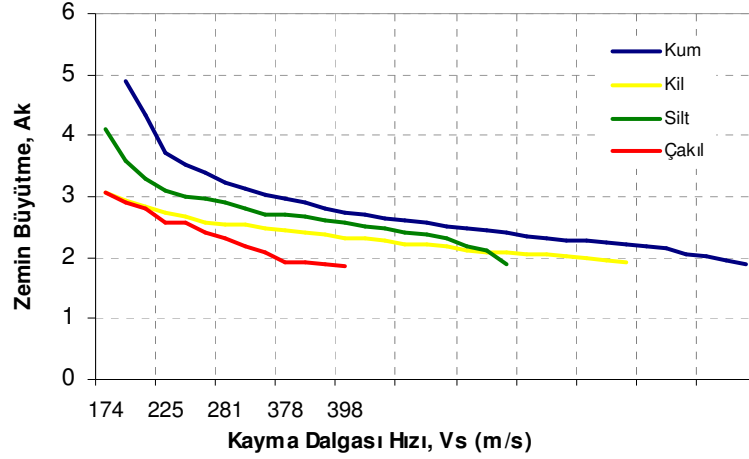
Şekil 7.2.5 Plastisite indisi ile zemin büyütme ilişkisi

Tablo 7.2.1 Plastisite indisi ile plastisite derecesi ilişkisi [71]

Plastisite İndeksi, PI (%)	Plastisite Derecesi	Kuru Dayanım
0-5	Plastik Değil	Çok Düşük
5-15	Az Plastik	Düşük
15-40	Plastik	Orta
>40	Çok Plastik	Yüksek

Şekil 7.2.5 ve Tablo 7.2.1 göz önünde bulundurulduğunda düşük ve orta plastisiteli killi zeminlerde düşük kayma dalgası değerinde yüksek büyütme değeri vermektedir.

Her sondaj noktasında SPT-N değerlerinden literatürdeki siltli, killi, kumlu birimler için Lee (1999) [67], çakıllı birimler için Ohto ve Goto (1978) [68] bağıntıları kullanılarak ortalama kayma dalga hızları ile zemin büyütme hesaplanmış, Şekil 7.2.6 da gösterilmiştir.

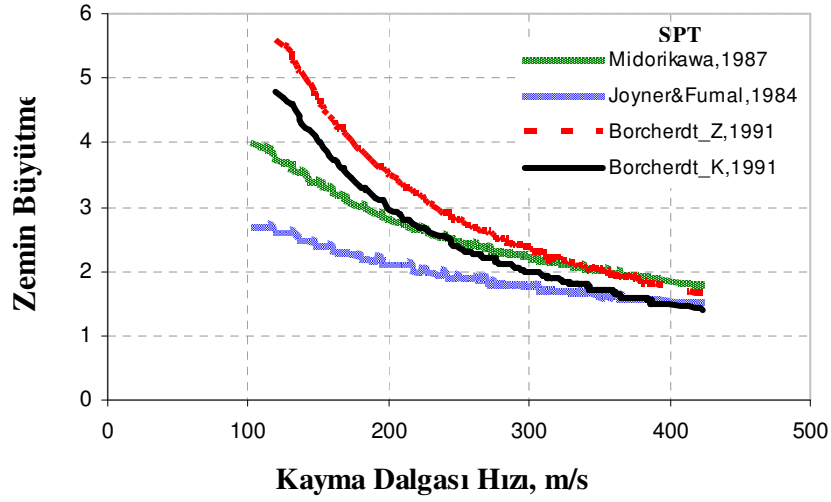


Şekil 7.2.6 Zemin büyütme (Ak) – kayma dalgası (Vs) ilişkisi

Zemin sınıflandırması değerlerine göre orta dereceli büyütme değeri veren Midorikawa (1987) [69] tarafından önerilen zemin büyütme değeri (Ak) konusunda bir değerlendirme yapıldığında,

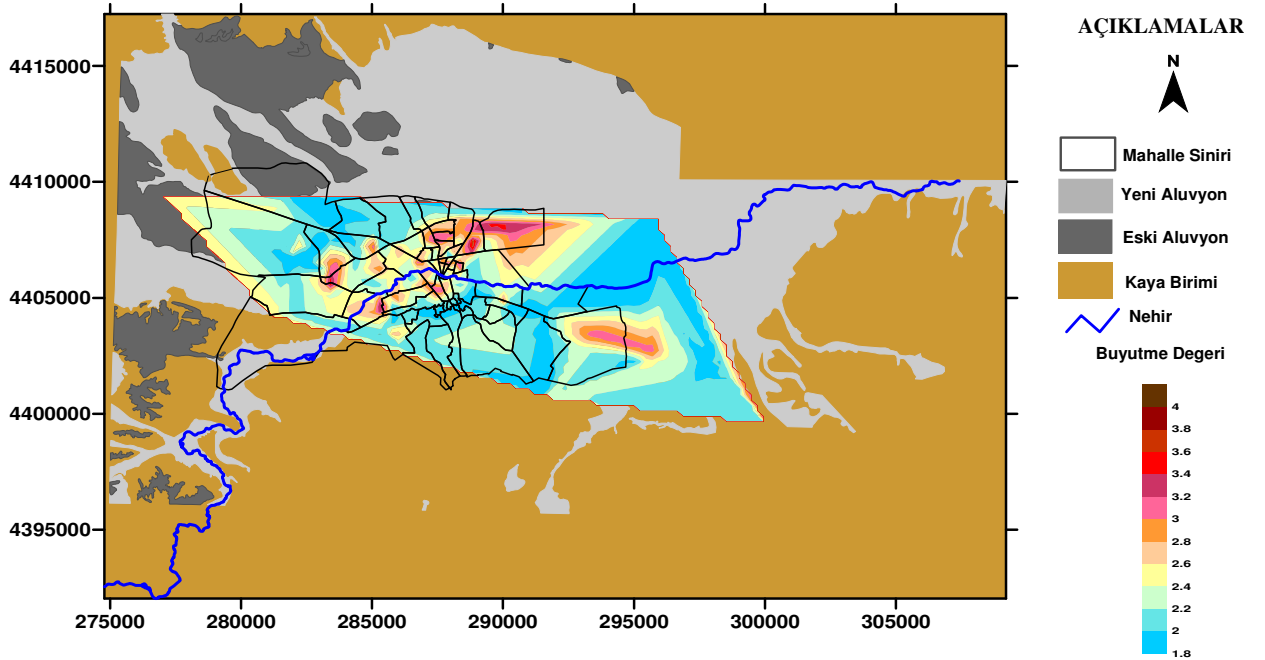
- Killi Birimlerde (CH-CL) $A_k = 1.9 - 3.0$
- Siltli Birimlerde (MH-ML) $A_k = 1.9 - 4.1$
- Kumlu Birimlerde (SW-SM-SP-SC) $A_k = 1.8 - 4.9$
- Çakıllı Birimlerde (GC-GP-GW) $A_k = 1.8 - 3.0$

büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında, Midorikawa (1987) [69] tarafından önerilen Ak-Vs bağıntısı farklı zemin tipleri için karşılaştırılması Şekil 7.2.6 da görülebileceği gibi düşük hız değerlerinde, siltli ve kumlu birimler yüksek büyütme değeri vermektedirler. Çakıllı birimler yüksek kayma dalga hızlarından dolayı düşük büyütme değeri vermektedirler. Şekil 7.2.6 da verilen çakıl eğrisinden görülebileceği gibi kayma dalga hızının yaklaşık olarak 286 m/s değerinde zemin tabakalarında büyütme göstermediği anlaşılmaktadır.



Şekil 7.2.7 Zemin tipinin Vs-Ak bağıntısına etkisi

Şekil 7.2.7’de Borcherdt (1991)’in [16] zayıf hareket için tanımlamış olduğu bağıntı, diğer araştırmacıların bağıntılarına göre daha yüksek büyütmeye değeri vermiş olduğu belirlenmiştir, en düşük büyütmeye değerleri Joyner&Fumal (1984)’ın [70] önerdiği bağıntıdan hesaplanmaktadır.



Şekil 7.2.8 Çalışma alanının SPT uygulama noktalarının Midorikawa (1987)’ye göre zemin büyütmeye değişimi

Ülkemiz için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998) [45] kitapçığında tüm zeminler için öngörülen büyütme değerinin 2.5’u aşması halinde büyütme riskinin olduğu ifade edilmiştir. Şekil 7.2.8’e göre çalışma alanında yeni alüvyon birimi üzerinde belirlenen büyütme değerlerine göre hazırlanan zemin büyütme haritası; mevcut yerleşim alanındaki zeminlerde 1.8-3.2 arasında değişen büyütme değerlerinin beklenebileceğini, buna karşın yerleşimin kuzeybatı kesiminde Sarısu Deresi civarında, Tepebaşı Belediyesinin kuzeyi ile Odunpazarı Belediyesinin kuzeyi, Porsuk Nehrine sınırı olan Sazova ve Ertuğrulgazi mahalleleri sınırlarında kalan zeminlerin deprem dalgalarını 3.2-4.0 kat büyütebilecek yerler olduğunu göstermektedir.

7.3 Yerel Zemin Büyütme Değerinin Konik Penetrasyon (CPT) Deneyi ile Belirlenmesi

Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile farklı jeofizik metodları kullanılmaktadır. Bu yöntemler sismik yansıma ve kırılma, kuyu atışı, sürekli-durum titreşimi, aşağı-kuyu, sismik çapraz kuyu, yüzey dalgalarının spektral analizi ve SCPT’ dir [72]. Bu çalışmada uygulanan SCPT yönteminde, sismik konik penetrometre kullanılarak düşey sismik profiller elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, sismik konik penetrometrenin yüksek kalitede düşey sismik profil (VSP) verisi elde etmek için sonuç verici bir yöntem olduğu ispatlanmıştır [73].

Zemin sondajından elde edilen veriler, sadece zeminden örnek alınan yerle veya SPT deneyi yapılan yerle sınırlı kalır, sürekli veri elde etmek olanaksızdır. Sadece belirli aralıklardan veri elde etme, veri alınamayan seviyelerde bulunan kritik zeminlerin gözden kaçırılmasına neden olmaktadır. Duyarlı elektronik algılayıcılar sayesinde CPT deneyi ile doğru, sürekli ve tekrarlanabilme özelliği olan veriler elde edilebilmektedir. CPT deneyinin en önemli özelliği ise dinamik deney sınıfına giren SPT deneyine göre, daha kısa sürede yapılabilmesidir [18].



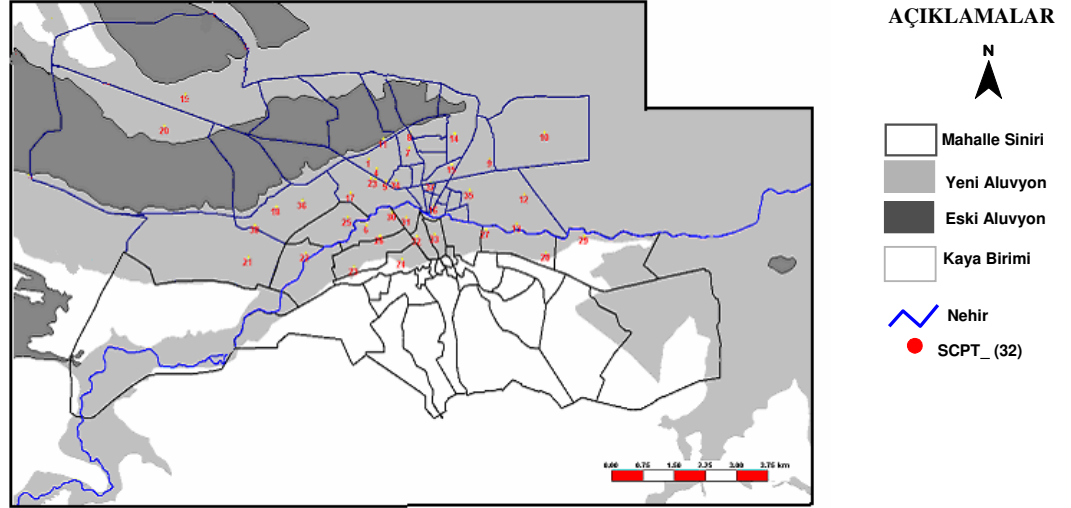
Şekil 7.3.1 Anadolu Üniversitesinin SCPT sondaj aleti [54]

Anadolu Üniversitesi'nin kullandığı CPT nin bir özelliği de sismik verileri algılayabilme yeteneğinin bulunmasıdır [54]. Bu CPT klasik CPT aleti olup, ucunda bulunan bir jeofon yardımı ile zeminde yapay olarak oluşturulan makaslama dalgası hızını (V_s) ölçülebilmektedir. Bu işlevi yapan CPT aletlerine SCPT adı verilmektedir. Arazide CPT deneyinin belli safhalarında okuma durdurulmaktadır. Bu aralıklarda SCPT aletinin sağ ve sol taraflarında tokmak darbesi ile, özel bir yüzey sayesinde oluşturulan S dalgası hızları ölçülebilmektedir [18].

Yerleşimin alüvyal bir zemin üzerinde yoğunlaştığı Eskişehir'in zemin özelliklerinin belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır. Eskişehir'in, yakın çevresinde oluşabilecek olası büyük bir depremden önemli derecede etkileneceği kesindir [18]. Bu nedenlerden dolayı alüvyal zemin koşullarının belirlenmesi ve zeminin tepki karakteristiklerinin belirlenmesinde anahtar bir parametre olan makaslama dalgası hızının (V_s) ölçümü amacı ile çalışma alanının belirli noktalarında Sismik Konik Penetrasyon Testi (SCPT) yapılmıştır [18].

7.3.1 Saha Verilerinin Değerlendirilmesi

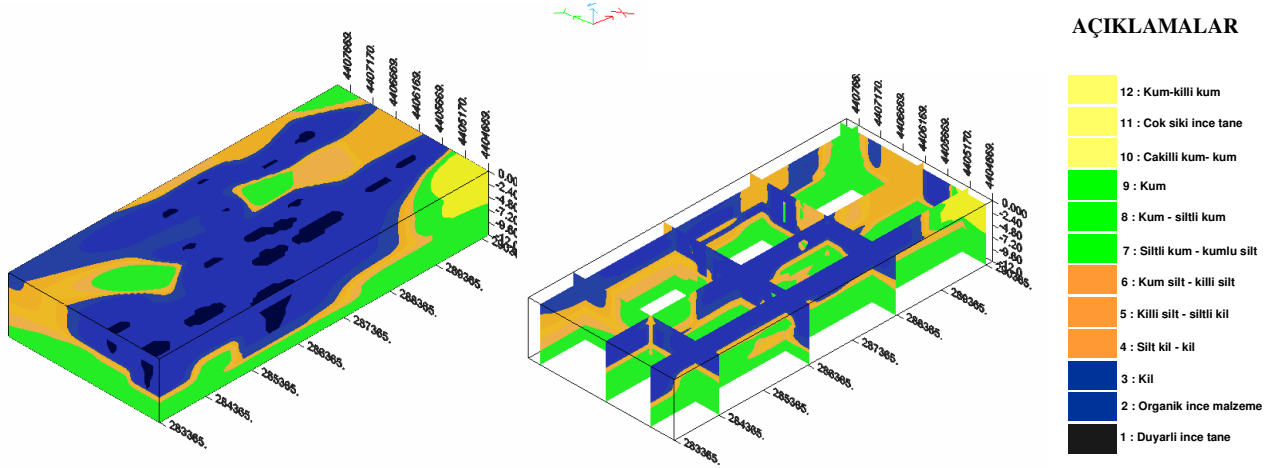
Çalışma alanında önceden belirlenen noktalarda toplam 32 adet Sismik Konik Penetrasyon Testi (SCPT) daha önce yapılan çalışmalarda elde edilmiştir (Şekil 7.3.2). İncelenen toplam alan yaklaşık 25 km² dir.



Şekil 7.3.2 Çalışma alanında uygulanan SCPT uygulama noktaları

CPT sondaj verileri kullanılarak, (Robertson, 1986)'ya [76] göre zemin sınıflandırması yapılmıştır. Bu sınıflandırma, CPT sondajı sonucunda elde edilen uç direnç (q_c) ve sürtünme oranı (R_f) esas alınarak yapılır. Bu değerler kullanılarak zemin 12 farklı zemin grubuna ayrılmıştır [54].

Çalışma alanı içerisinde yeni alüvyon birimleri üzerinde yapılan 32 adet CPT' den alınan verilere bağlı olarak Eskişehir yerleşim yeri zemin türleri Robertson vd. (1986)' ya göre sınıflandırılmıştır [54]. Elde edilen zemin kesitleri üç boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında değerlendirilerek çalışma sahasının zemin türüne bağlı modellenmesi yapılmıştır. Ortaya çıkarılan model Şekil 7.3.3'de verilmiştir. Şekil 7.3.3'de görülen rakamlar Robertson vd. (1986)'ya göre zemin türlerini göstermektedir. Bu sınıflamaya bağlı olarak oluşturulan modelde, Eskişehir yerleşim yeri zeminlerinin düzenli bir şekilde istiflendiği görülmektedir.



Şekil 7.3.3 Çalışma sahasının Robertson vd. (1986) zemin sınıflama yöntemine göre oluşturulmuş modeli

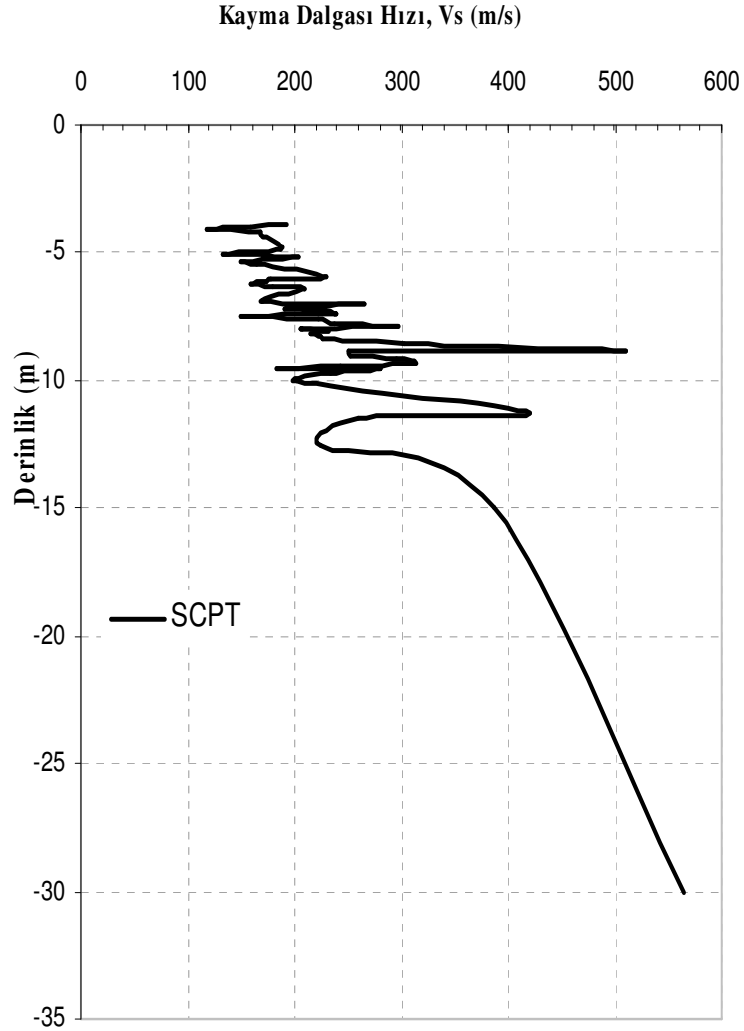
Çalışma alanının modellenmesinin oluşturulmasında, eni 500 m, boyu 1 km aralıklarla ölçeklenmiş olup derinlikler 1m aralıklarla girilmiştir. CPT sondaj verileri değerlendirilerek 2 m seviyesinde çok geniş alanın kil (3) olarak tanımlandığı gözlenmiş, 5 m seviyesi yorumlandığında kil olarak tanımlanan (3) zeminin kapladığı alanların oldukça azaldığı, buna karşın bu seviyede silt (4) olarak tanımlanan zeminin oldukça arttığı gözlenmiştir. Bunlara ek olarak derinlikle birlikte 7 m seviyesinde kumlu birimlerin egemen olduğu, kumlu silt-killi silt (6), siltli kum-kumlu silt (7), kum-siltli kum (8) ve sadece kum (9) olarak tanımlanan zeminde gözle görülür bir artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.3.3).

Bu çalışmadan elde edilen coğrafi verilerin 3-boyutlu CBS ile değerlendirilmesi doğru ve daha gerçekçi sonuçlara ulaşabileceğini göstermiştir. Görsel modelleme tekniklerinin kullanılması, yorumcuya arazide alınan sayısal veriyi amaca uygun yorum yapabilme kolaylığı sağlamıştır. Özellikle jeolojik çalışmalarda, yeraltının yapısı ve litolojisinin değişimi hakkında yorum yapılabilmesinde oldukça avantajlar sağlamıştır [88].

SCPT aleti ile zemine yapay makaslama dalgası göndererek zeminde oluşan hızın değeri ölçülebilmektedir. Makaslama dalgası hızının (V_s) zeminin sıkılığından (pekişme derecesi), tanelerin boyutu ve biçiminden etkilenen bir büyüklük olması sonucu, zemin türü ile V_s hızı arasında birebir ilişki ortaya koyması beklenir.

Yapılan bu çalışmada, bu sonuca varmak mümkün olmuştur. Eskişehir yerleşim yeri içerisinde bu parametreleri ortaya koyan büyüklükler ölçülmüş ve yorumlamaya gidilmiştir.

Maksimum derinliği 12.5 metre olan SCPT uygulamalarından V_s değerleri elde edilmiştir. Doğrusal ekstrapolasyon sayısal çözümlene metodu ile bu derinlik 30 m kadar çekilebilmiştir. Şekil 7.3.4 de görülebileceği gibi 5 m ye kadar düşük kayma dalgası hızı değerleri ölçülmüş, 5-10 m derinlik arasında kayma dalgası değerlerinde yüksek bir artış gözlenmiştir.



Şekil 7.3.4 SCPT verilerine göre derinlik- kayma dalgası hızı ilişkisi

Bu çalışmada arazide V_s değerleri 103-510 m/s arasında değişen değerler ölçülmüştür. Yukarıda anlatılan CPT değerlerinden elde edilen zemin sınıflandırma sistemine göre V_s hızı konusunda bir değerlendirme yapıldığında,

- Duyarlı ince tane, kil (1,2,3 no'lu birimlerde) $V_s= 117-237$
- Siltli kil, kil-killi silt, siltli kil (4,5,6 no'lu birimlerde) $V_s= 103-280$ m/s
- Kumlu, siltli kum, killi kum (7,8,9 no'lu birimlerde) $V_s= 148-510$ m/s
- Çakıl, kumlu çakıl (10,11,12 no'lu birimlerde) $V_s= 254-300$ m/s ve üzerinde hız değerleri ölçülmüştür.

Arazide zeminlerin çeşitli özelliklerini belirleyebilmek amacıyla yapılan konik penetrasyon oldukça yararlı bilgiler verir. CPT de uç ve sürtünme direnci derinlik boyunca sürekli olarak belirlenmekte, boşluk suyu basıncı ölçülebilmekte ve zemin hakkında bilgilere ulaşılabilmektedir. Koni penetrasyon deney sonuçlarından kayma dalgası hızı ve zemin büyümesini tahmin edebilmek amacı ile bağıntılar geliştirilmiştir.

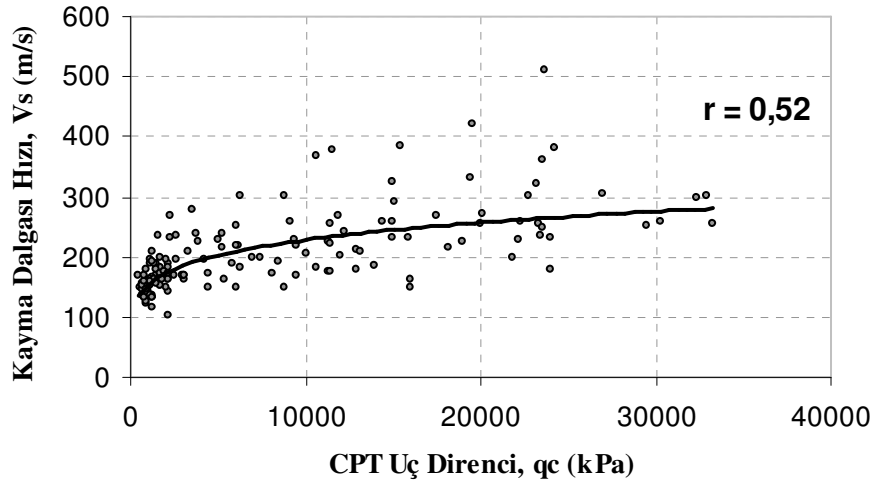
V_s ve q_c , zemin davranışını çok farklı deformasyon seviyelerinde temsil etmektedirler. V_s ; zeminlerin elastik davranış sergiledikleri çok düşük deformasyon genliklerinde ölçülürken, penetrasyon direnci; kırılma anındaki deformasyona karşı gelmektedir. Buna rağmen bu iki değer, zeminlerin etkisinde kaldığı efektif çevre basıncı ve gerilme tarihçesi gibi benzer faktörlerden etkilenmekte ve aralarında korelasyon katsayısı yüksek olan ilişkiler bulunmaktadır [77].

Bu amaçla, çalışma alanında 155 farklı seviyede ölçülen makaslama dalgası hızı, ara hızı olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında 32 farklı noktada uygulanan her bir SCPT de tüm sismik kayıt derinliği için, ilk kayıt derinliği sismik sinyali ve son kayıt derinliği sismik sinyali kullanılarak ölçülen makaslama dalgası hızı, ortalama hız olarak tanımlanmış ve (V_{sort}) gösterimi ile ifade edilmiştir. Bu durumda aynı V_s bir çok q_c değeri karşılık geldiğinden, V_s nin iki ölçüm derinliği arasında sabit kaldığı kabul edilmiş ve bu derinlikteki q_c lerin ortalaması alınmıştır. Kayma dalga hızını SCPT uç direnci değerinden tahmin edebilmek amacı ile 32 adet

veri, 155 katman kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı yaklaşık $r = 0.52$ olan 7.1 bağıntısı elde edilmiştir.

$$V_s = 47.27q_c^{0.17} \quad (7.1)$$

Burada q_c MPa olarak ölçülmüş, kPa birimine çevrilmiştir. Bu bağıntıya göre, q_c 'nin yaklaşık 2500 kPa değerine kadar yüksek, bu değerden sonra daha düşük hız değerleri vermektedir (Şekil 7.3.5).



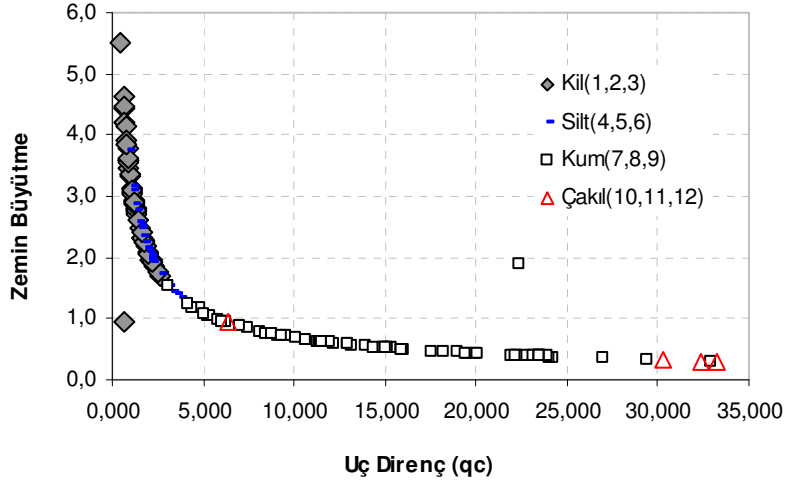
Şekil 7.3.5 Kayma dalga hızının CPT uç direnci ile değişimi

CPT uç mukavemeti kumlarda relatif sıkılığın bir fonksiyonudur. Dane dağılımı, yatay gerileme ve derinlik uç direncini etkileyen önemli faktörlerdendir. Uç direnci zeminlerin mukavemet parametrelerinin belirlenmesinde kullanıldığından, tek başlarına büyütmenin bir fonksiyonu olarak da kullanılabilir.

İnceleme sahasında yapılan deneylerde penetrasyon derinliği 10 ile 16 m arasında değişmektedir. Derinlik boyunca ölçülen q_c 'lerin ağırlıklı ortalamaları alınarak, her CPT noktası bir eşdeğer q_c değeri ile tanımlanmıştır. Şekil 7.3.6 gösterilen veriler kullanılarak zemin spektral büyütmesini q_c uç direncinden tahmin edebilmek amacı ile yapılan analiz sonucunda q_c kPa biriminde olmak üzere;

$$A_k = 375 q_c^{-0.685} \quad (7.2)$$

eşitliği kullanılmıştır [78].



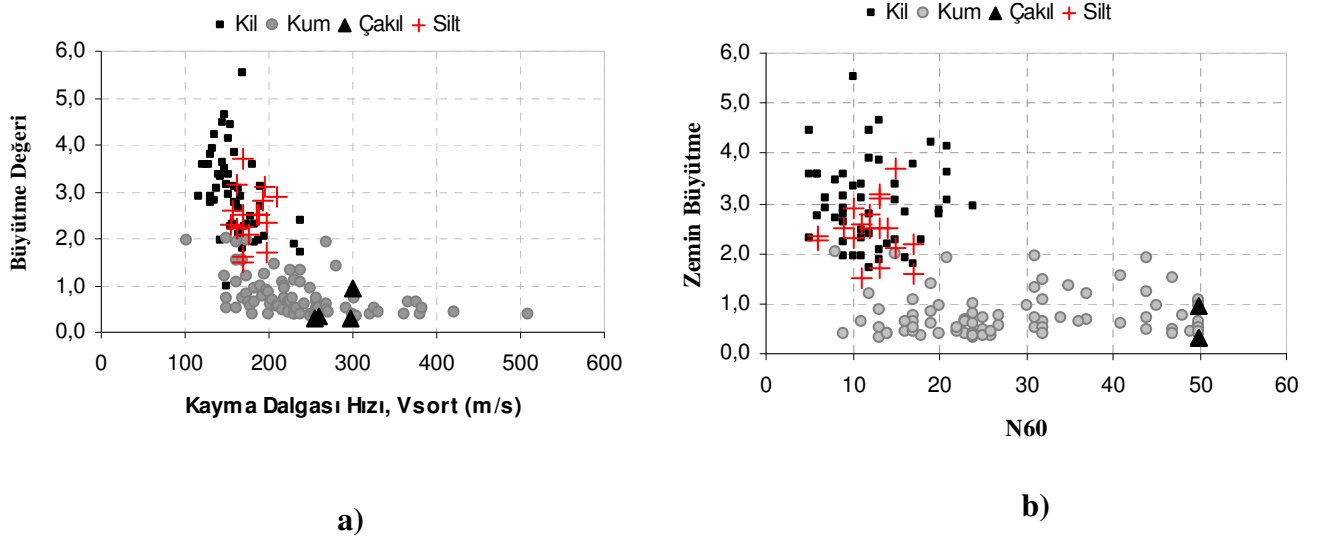
Şekil 7.3.6 Büyütmenin CPT uç direnci ile değişimi

Şekilden 7.3.6 da görülebileceği üzere q_c 'nin artan değerlerinde büyütme değerlerinde azalma eğilimi gözlenmektedir. Kil birimler içinde 0.47-2.6 MPa, siltli birimlerde 0.83-3.0 MPa, kumlu seriler içinde 2.1-32.92 arasında değişmekte, çakıl içeren tabakalarda 6.3-33.2 değerine kadar yükselmektedir.

Zemin sınıflandırması göre zemin büyütme değeri (A_k) konusunda bir değerlendirme yapıldığında,

- Duyarlı ince tane, kil (1,2,3 no'lu birimlerde) $A_k = 0.9-5.5$,
- Siltli kil, kil-killi silt, siltli kil (4,5,6 no'lu birimlerde) $A_k = 0.9-3.7$,
- Kumlu, siltli kum, killi kum (7,8,9 no'lu birimlerde) $A_k = 0.3- 1.9$,
- Çakıl, kumlu çakıl (10,11,12 no'lu birimlerde) $A_k = 0.3-0.9$ değerleri arasında büyütme değerleri hesaplanmıştır.

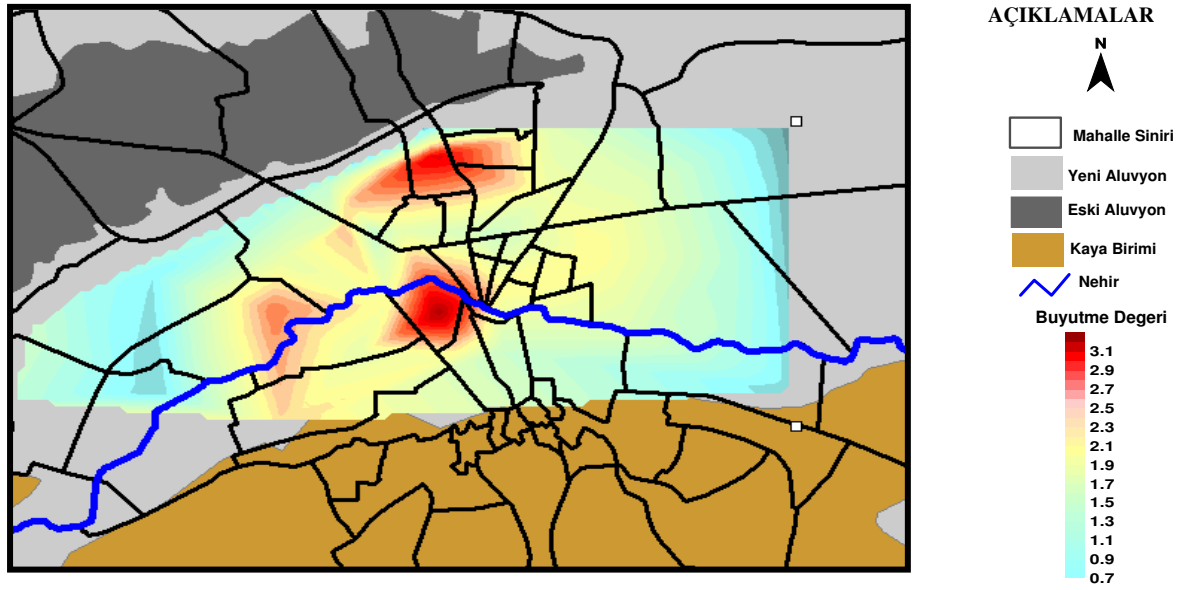
Şekil 7.3.7a' da SCPT verilerinden 155 farklı derinlikten farklı zemin türleri için hesaplanan büyütme değeri ile bu derinliklere karşılık gelen kayma dalgası hızı (V_s) değerleri görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi killi ve siltli birimler yüksek büyütme değeri vermektedirler. Çakıllı birimler yüksek kayma dalga hızlarından dolayı düşük büyütme değeri vermektedirler. Kayma dalga hızınının 250 m/s üzerinde zemin tabakalarında büyütme olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 7.3.7.b' de N_{60} değerine göre birimlere karşılık gelen büyütme değeri araştırılmaktadır. Bu şekilde de killi ve siltli birimlerin $25 > N_{60}$ olduğu durumlar için yüksek büyütme değeri göstermemektedir.



Şekil 7.3.7 SCPT uygulama noktaları için; a)Kayma dalgası hızı - zemin büyütme ilişkisi b) N_{60} - zemin büyütme ilişkisi

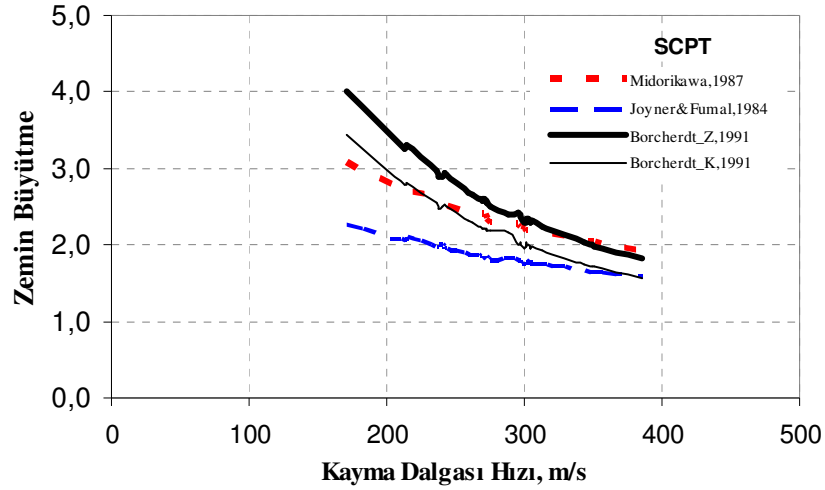
Çalışma sahasında derinlikleri 10 ile 16 m arasında değişen 32 farklı noktada her bir noktanın q_c ' lerin ağırlıklı ortalamaları alınarak, her CPT noktası için eşdeğer q_c değeri ile tanımlanmıştır. Her bir eşdeğer q_c değerinden (7.2) bağıntısı kullanılarak hesaplanan zemin spektral büyütmesi değerleri 0.7 ile 3.2 arasında değişmektedir. Bu veriler kullanılarak Eskişehir yerleşim yerinin bölgesel zemin büyütme değişimi yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu aşamada harita koordinatlarında tanımlı mahalle sınırlarını, çalışma alanından geçen Porsuk nehrini, SCPT uygulamalarının yapıldığı yeni alüvyon birimi dışındaki jeolojik birimlerin sınırlarını içeren haritalar, zemin büyütme beklenebileceği harita ile birlikte hazırlanmıştır

(Şekil 7.3.8). Bu harita kırmızı renkle konturlanmış alanlar büyütme karşı zemin davranışının oluşabileceği yerleri göstermektedir bu alanlar, Tepebaşı Belediyesinin kuzeybatısında bulunan Sarısu deresi ve civarı, Odunpazarı Belediyesinin kuzey ve kuzeybatısı yeni alüvyon birimleri üzerinde bulunan aynı zamanda Porsuk Çayının fazla malzeme depoladığı alanlar olduğu, SCPT çalışmalarından elde edilen veriler neticesinde belirlenmiştir.



Şekil 7.3.8 Uç dirence bağlı zemin büyütme değişimi

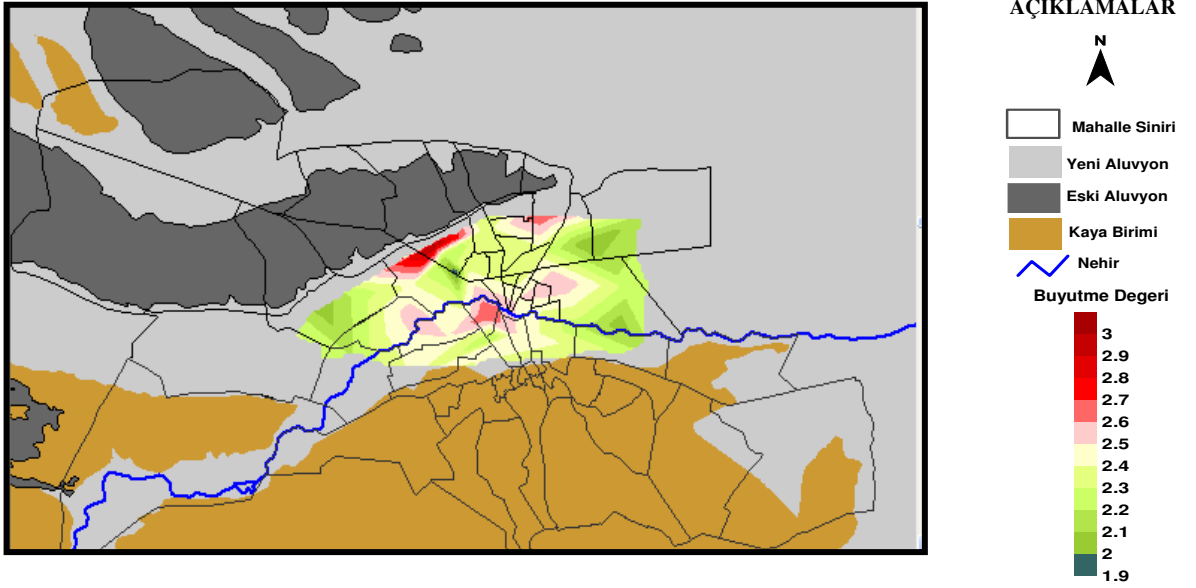
[69] tarafından önerilen kayma dalgası hızı - zemin büyütme bağıntılarının karşılaştırılması Şekil 7.3.9' da görülmektedir. Bu ilişkilerin araştırılmasında 30 m derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı kullanılmıştır. Bu duruma göre SCPT uygulama noktaları için en yüksek büyütme değerleri Borcherdt (1991) tarafından önerilen zayıf hareket için olan büyütme değerleridir. Bu değerler, 1.8 ile 4.0 arasında değişmektedir. Orta dereceli büyütme grubuna giren Midorikawa tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanan değerler Şekil 7.3.9' da görüleceği gibi 1.9-3.1 arasında eğri çizmektedir. En düşük büyütme değerleri Joyner & Fumal (1967) tarafından önerilen bağıntıdan hesaplanmaktadır. Bu değerler 1.6-2.3 arasında değişmektedir.



Şekil 7.3.9 SCPT uygulama noktaları için zemin büyütme- kayma dalgası hızı ilişkisi

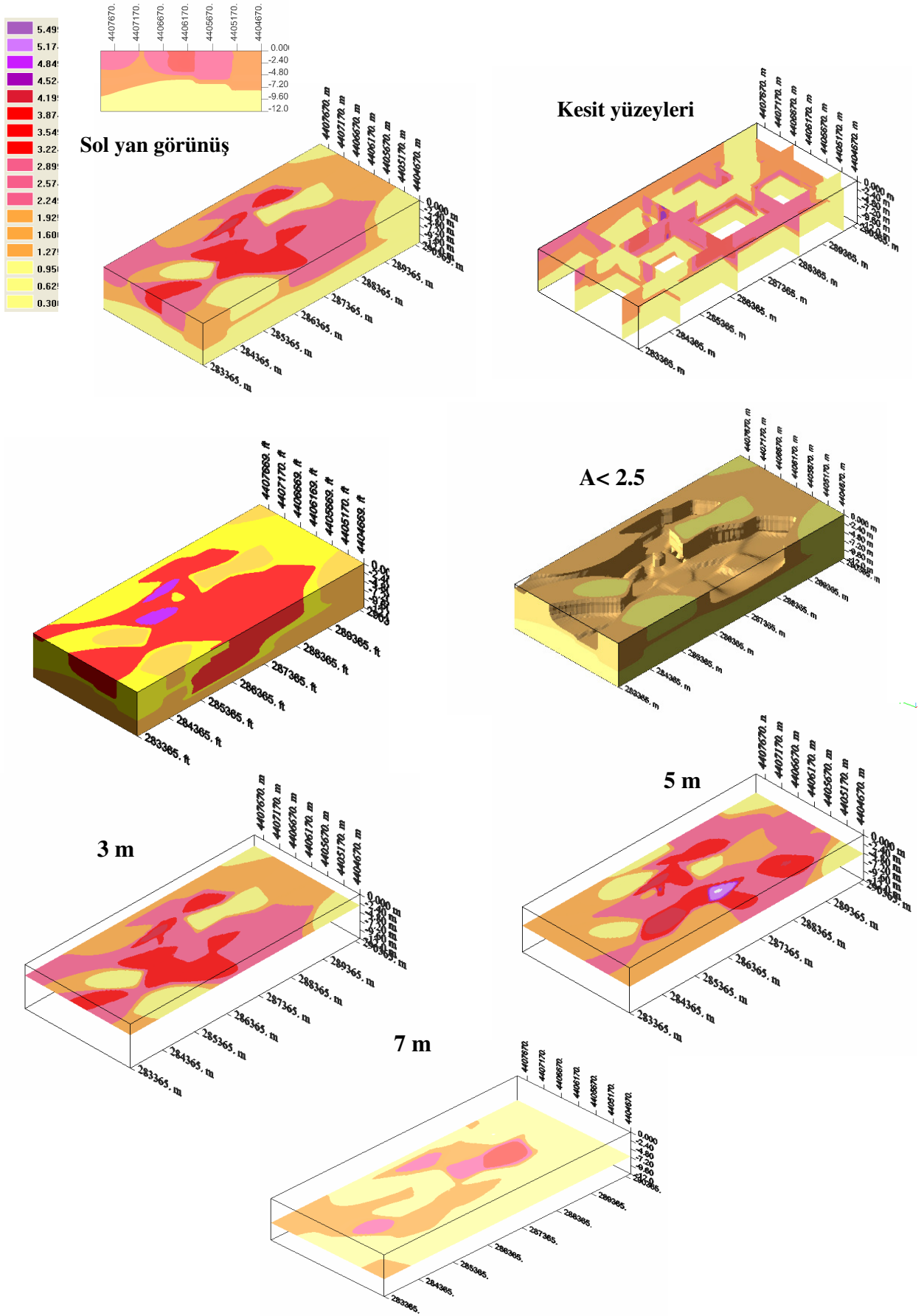
30 m derinlikteki ortalama kayma dalgası hızına bağlı olarak oluşturulan ve Midorikawa (1987)'ye göre belirlenen büyütme değerlerine göre hazırlanan harita (Şekil 7.3.10), Şekil 7.3.8 de uç dirence bağlı zemin büyütme değişimi gösteren harita ile benzerlikler görülmüştür. Özellikle yeni alüvyon birimleri üzerinde bulunan, Odunpazarı Belediyesinin kuzey ve kuzeybatısında, Porsuk Nehrine sınırı olan mahallelerin zemin yapısı, deprem dalgası genliklerini diğer yerleşim alanlarındaki zeminlere göre daha çok büyütebileceği belirlenmiştir.

Mevcut yerleşim alanındaki zeminlerde havacılık müzesi yanı, Yavuz Selim, Atatürk, Murat Atılgan, Namık Kemal İlköğretim Okulları, Fatih Anadolu Lisesi, TEDAŞ, Satiroğlu Parkı yakınında yapılan SCPT uygulamalarında zeminlerin deprem dalgalarını 1.9 ile 3.1 kat arasında büyütebilecek yerler olduğunu göstermektedir. Eskişehir yerleşim yeri zeminlerinin zemin büyütmesi açısından değişken bir yapıda olduğu ve yerel zemin koşullarının depremler sırasında gözlenebilecek hasar dağılımı üzerinde de etkili olabileceği düşünülebilir.



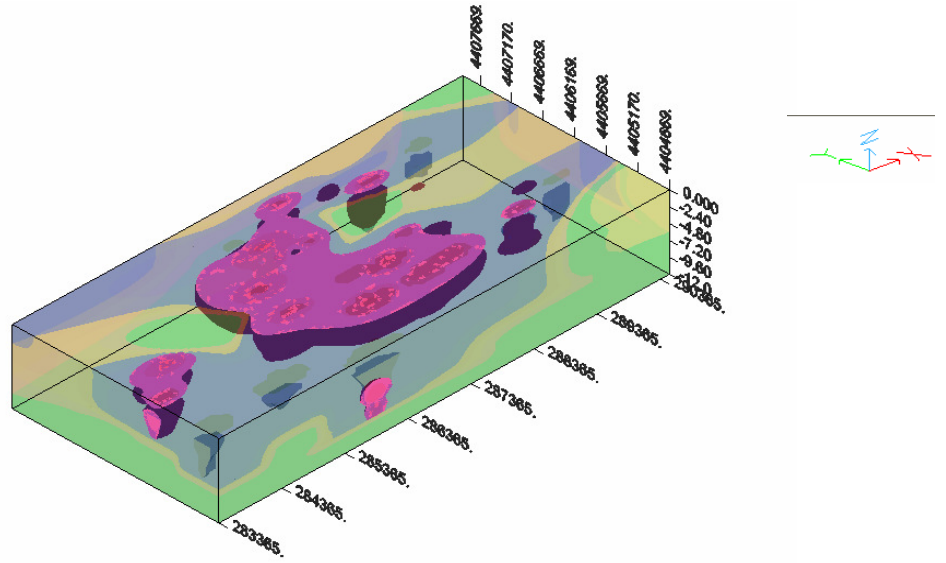
Şekil 7.3.10 Çalışma alanının SCPT uygulama noktalarının Midorikawa (1987)'ye göre zemin büyütme değışımi

Uç mukavemet direncine bağılı jeoteknik parametreden; hacimsel olarak büyütme özelliğı gösterebilecek alanların derinlikle değışiminin belirlenmesinde ve zemin sınıflandırılmasında üç boyutlu modelleme yapabilen Voxel Analyst yazılımı kullanılarak kullanılmıştır (Şekil 7.3.11).



Şekil 7.3.11 Çalışma alanını içinde yer alan bölgenin 3-B zemin büyütme modeli

Çalışma alanının zemin türü ve zemin büyütme potansiyeline dayalı haritalarının karşılaştırması 3-boyutlu CBS teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Hangi tür zeminlerin daha çok büyütme özelliği gösterdiğini görüntülemek için yapılmış modellemede orta derecede büyütebilme özelliğine sahip veriler atılmış, büyütme değeri 3 ve üzeri olan risk alanı yüksek alanlar; CPT verilerinden elde edilen Robertson (1986)'ya göre zemin sınıflaması yapılmış bölge içine konulmuştur. Zemin türü %70 oranında şeffaflaştırılarak büyütme alanları ön plana çıkarılmıştır. Bazı üst üste binen alanlar sonuç harita üzerinde görülmektedir (Şekil 7.3.12).



Şekil 7.3.12 3 Boyutlu CBS kullanılarak elde edilen zemin türü ve zemin büyütme olasılığı çok yüksek olduğu yerlerin karşılaştırılması

Yer hareketi büyütme derecesi yüksek olan zeminlerin 0-7 m arasında kalan bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Genellikle silt ve kil yüzdesinin fazla olduğu zemin tabakalarındaki seviyelerde büyütme potansiyelinin yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Çalışma alanında yeni alüvyon birimi üzerinde Porsuk Nehrinin kuzey - kuzeybatısı bölümünde Sarısu Deresi civarı ve kuzey doğusunda Muttalip Deresi üzerinde bulunan bölge büyütme riskinin olduğu alanlardır. Uç direncin bu bölgelerde düşük değerlerine karşılık gelen yerlerde yüksek büyütme gözlenmiştir.

7.4 Yerel Zemin Büyütme Değerinin Sismik Kırılma Ölçümleri ile Belirlenmesi

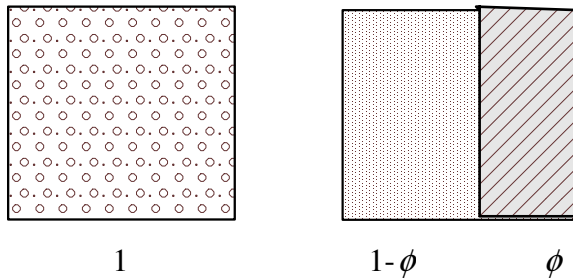
7.4.1 Sismik Hız ve Elastik Dalgalar

Sismik hız, moleküller arası çekim kuvvetlerinin özellikleri olan elastik modüller ve yoğunluğun bir fonksiyonudur. Kuru katı kayaçlar içinde elastik modüller belirli değerlere sahiptir. Böylece kayaçlarda sismik hız

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}} \quad (7.3)$$

olarak verilir. Burada k , μ elastik sabitleri ve ρ ise yoğunluğu göstermektedir. Fakat karışık bir yapıya (matris+çimento) sahip olan kuru katı kayaçlarda dalga milyonlarca değişik yapıdaki tanecikleri sismik dağılım boyutuna oranla çok küçüktür ve dalga bu karışık yapının ortalama karışımı şeklinde hareket eder. Bu tür kayaçlar içindeki ortalama hız aşağıdaki gibi verilir.

$$\frac{1}{V} = \frac{1-\phi}{V_1} + \frac{\phi}{V_2} \quad (7.4)$$



Şekil 7.4.1 Ortalama hız bağıntısının elde edilişi

Burada V_1 ve V_2 kayacın matris ve çimentosunun hızlarını, ϕ ise çimentoyla dolu poroziteyi göstermektedir. Şekil 7.4.1 de gösterildiği gibi bu kayacın birim küpünü dikkate alalım ve dolgu dolu mataryelini bir tarafa itelim, dolgu mataryelin

boyutu ϕ ise geri kalan kısmın boyutu, $1-\phi$ olur. 7.4.1 bağıntısı bir kayaç içinde elde edilen hızın dalgayı önce kayacın matrisinden ve sonra da dolgu materyalinden geçirerek elde edilecek olan toplam hıza eşit olduğunu göstermektedir [79].

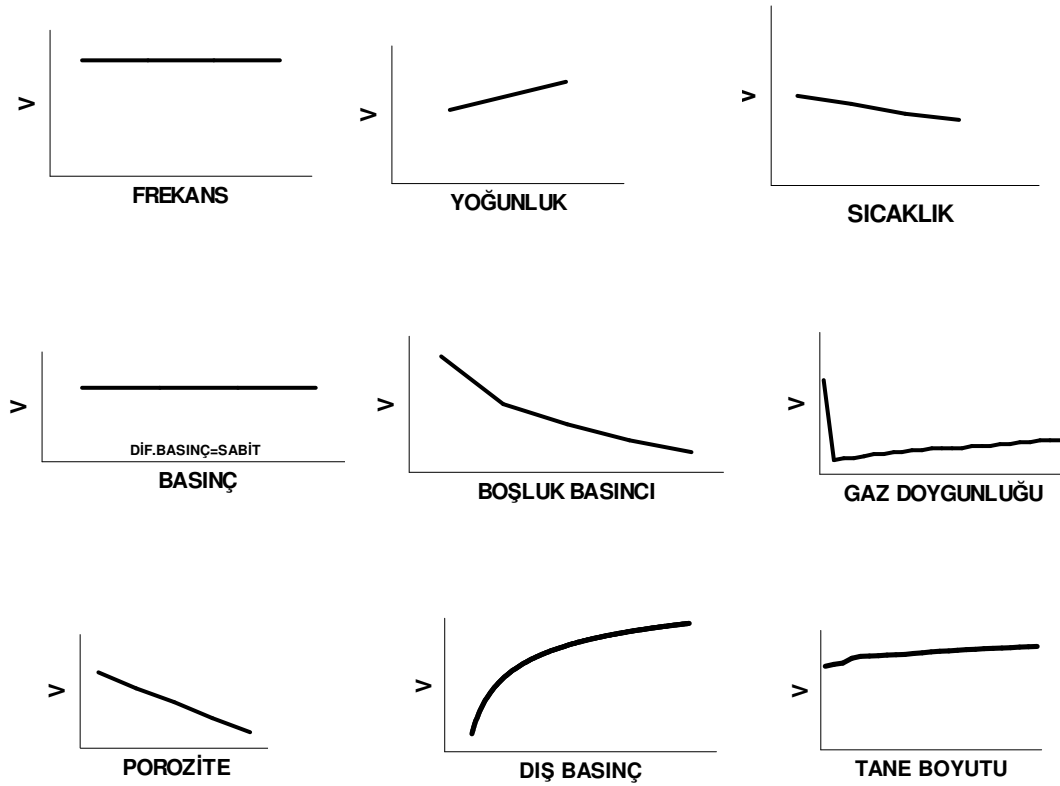
Genel olarak hız aşağıdaki durumlar gerçekleştiği zaman artar.

- 1) Yoğunluk artması
- 2) Tane büyüklüğünün artması
- 3) Üsteki kayaçların basıncının artması

Hız aşağıdaki durumlar gerçekleştiğinde ise azalır.

- 1) Porozite artması
- 2) Sıcaklık artması
- 3) Dokular arası sıvı basıncı artması

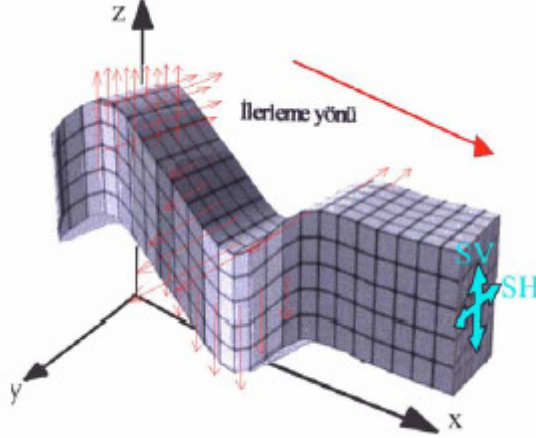
Şekil 7.4.2 de sismik hızı etkileyen faktörler gösterilmiştir.



Şekil 7.4.2 Sismik hızlara etki eden faktörler [79]

Zemin veya kayaçların üzerlerinde bulunan ağır yükler altında veya deprem yer hareketleri sonucunda oluşan makaslama gerilmelerine bağlı olarak farklı deformasyonlara uğradığı bilinmektedir. Yer sarsıntılarının oluşturduğu hareket gibi yanal bir basınç uygulandığında, yerde bir burkulma yada yamulma oluşur. Biçim değiştirici güç kalktığında, ortam ilk biçimine dönüşürse ortam esnek davranışlı olarak nitelendirilir.

Yer içinde bir noktadan yayılan deprem dalgaları ilerledikleri ortamın elastik parametreleri ve yoğunluğuna bağlı olarak değişime uğrarlar. Deprem dalgaları bakımından yer tam elastik bir cisim olarak kabul edilebilir. Sismik dalgalar; elastik bandın gerilmesinde olduğu gibi, içinde yayıldıkları ortamın şeklini bozmasına (deformasyonuna) sebep olurlar ve deformasyon biçimi sismik dalga türüne bağlı değişim gösterir. S dalgasının oluşturduğu deformasyon (Şekil 7.4.3) gösterilmektedir.



Şekil 7.4.3 S Dalgasının yayıldığı ortamda meydana getireceği deformasyon

Elastik parametreler ise kayacın litolojisine bağlıdır. Yani, kayaçların mineral bileşimine, tane büyüklüğüne, tane dağılımına, gözenekliliğine, gözeneği dolduran sıvının türüne ve miktarına, sıklığına, çimentolaşmasına, maruz kaldığı basınçlara ve jeolojik yaşı ile jeolojik geçmişine bağlıdır.

Bu anlayış içerisinde, elastik dalgaların zemin içerisinde yayılım karakteristiklerini anlayabilmek amacıyla daha gerçekçi yaklaşımlarla olayı irdeleyebilmek mümkün hale gelecektir. Buradan yola çıkarak elastik dalgaların yer içerisindeki hareketini tanımlayan denklemler türetilebilir.

Yerin elastik özelliklerini tanımlayan elastik parametreler;

- Kayma / Makaslama Modülü (μ , G_{max})
- Poisson Oranı (σ)
- Young (Elastisite) Modülü (E)
- Hacimsel Elastik (Bulk) Modülü (k)

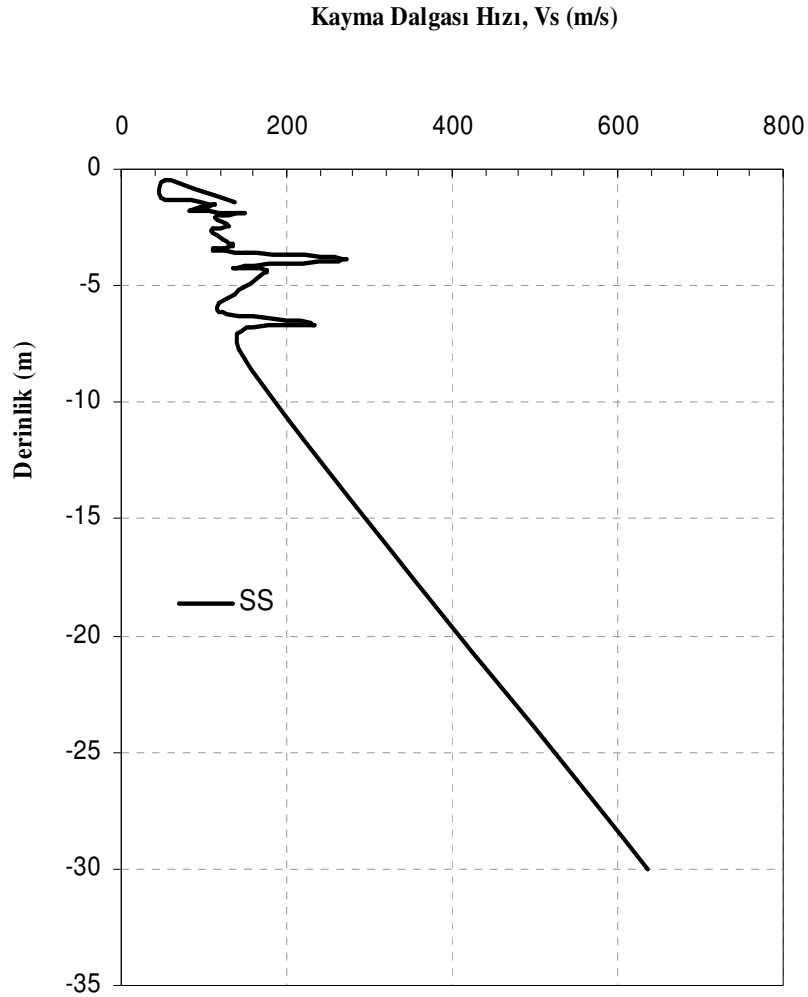
Büyütme zemin yada kaya ortamının yoğunluk ve makaslama dalga hızı özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Makaslama dalga hızı (V_s) yayıldığı ortamı oluşturan tanelerin boyutu, biçimi, sıklığı (pekişme derecesi) veya sertliği, esneklik (elastisite) özelliğinden etkilenen fiziksel bir büyüklüktür. Ayrıca büyütme ortamın tabaka kalınlıkları, viskozite, sönüm oranı, hakim titreşim periyodu ve aşağıda açıklanacak elastik parametrelere bağlıdır.

7.4.2 Saha Verilerinin Değerlendirilmesi

Zemin yüzeyinde gerçekleştirilen dalga kaynağının çeşitli uzaklıklarda kaydedilmesi, zemin tabakalarındaki dalga hızı ile tabaka kalınlıklarının belirlenmesi işlemidir. Dalga kaynağı hem P hem de S dalgaları üretir ancak P dalgaları kayıt cihazına önce gelir ve S dalgasını gizler. Bu nedenle P dalgası geliş kaydının kullanışı su tablası üzerindeki zeminlerle sınırlı olup, su tablasının altında S dalgası üreten dalga üreticileri kullanılmaktadır. Bu şekilde tayin edilen makaslama dalga hızının çeşitli derinlikler için arazide doğrudan ölçümü daha gerçekçidir.

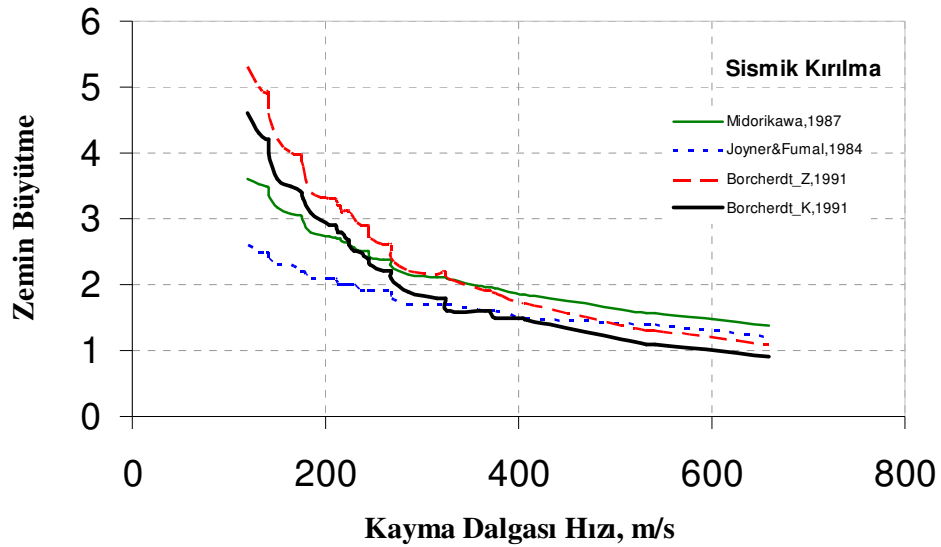
Zeminlerin önemli bir dinamik özelliği olan kayma dalgası hızının yerinde doğrudan belirlenmesi için yapılan sismik deneylerin birisi de sismik kırılma (refraction) deneyidir. Eskişehir’de zeminlerin makaslama dalga hızlarını belirlemek için 42 adet sismik kırılma verisi kullanılmıştır. Bu veriler Eskişehir Büyükşehir Belediyesinden temin edilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucu S-kayma dalga hızı elde edilmiş, bu dalga hızının derinlikle değişimi Şekil 7.4.4 da gösterilmektedir. Eskişehir yerel zemin koşulları incelendiğinde, kayma dalgası hızı 54-635 m/s arasında değişmektedir. Bu durum bölgede farklı zemin büyütmelerinin oluşabileceğine işaret etmektedir. Şekil 7.4.4 dan anlaşılacağı üzere ilk 5 metre düşük hız değerleri görülmekte olup, kayma dalga hızı değerlerinde derinlik artışı ile yükselme görülmüştür.



Şekil 7.4.4 Sismik kırılma verilerine göre derinlik- kayma dalgası ilişkisi

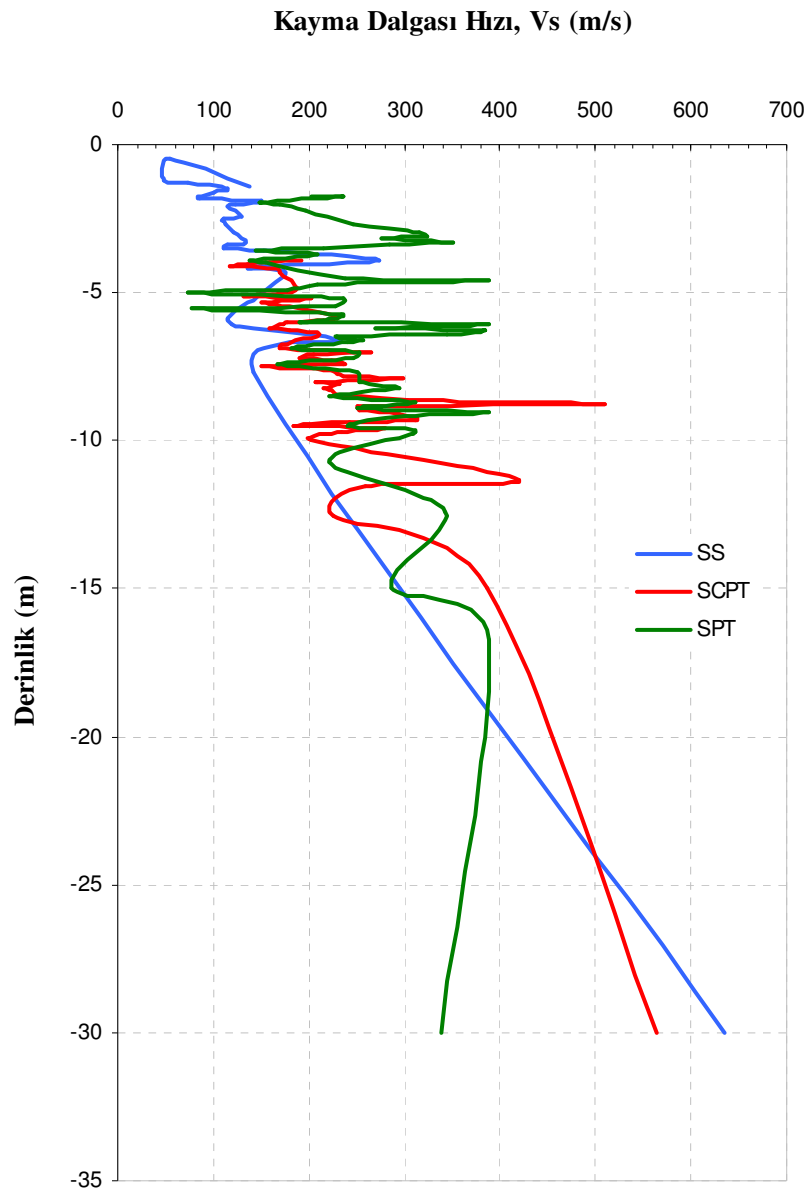
Çeşitli araştırmacılar [69] tarafından önerilen kayma dalgası hızı - zemin büyütme bağıntılarının karşılaştırılması Şekil 7.4.5’ de görülmektedir. Bu ilişkilerin araştırılmasında 30 m derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı kullanılmıştır. Bu duruma göre Sismik kırılma uygulama noktaları için en yüksek büyütme değerleri Borcherdt (1991) tarafından önerilen zayıf hareket için olan büyütme değerleridir. Bu değerler, 1.1 ile 5.3 arasında değişmektedir. Orta dereceli büyütme grubuna giren Midorikawa tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanan değerler 1.4-3.6 arasında eğri çizmektedir. En düşük büyütme değerleri Joyner & Fumal (1967) tarafından önerilen bağıntıdan hesaplanmaktadır. Bu değerler 1.2-2.6 arasında değişmektedir. Sismik kırılma uygulama noktalarının coğrafi koordinatları temin edilemediği için zemin büyütme değerlerinin yorumlanmasında haritalama yapılamamıştır.



Şekil 7.4.5 Sismik kırılma uygulama noktaları için zemin büyütme-kayma dalgası ilişkisi

7.5 Tüm Arazi Verilerinin Büyütme Etkisine Göre Birlikte Yorumlanması

Yapılan ölçümler sonucu S-kayma dalga hızı elde edilmiş, bu dalga hızının derinlikle değişimi Şekil 7.5.1 de gösterilmektedir. Eskişehir ilinin yerel zemin koşulları incelendiğinde, kayma dalgası hızının 54-635 m/s arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 7.5.1 Tüm verilere göre derinlik- kayma dalgası ilişkisi

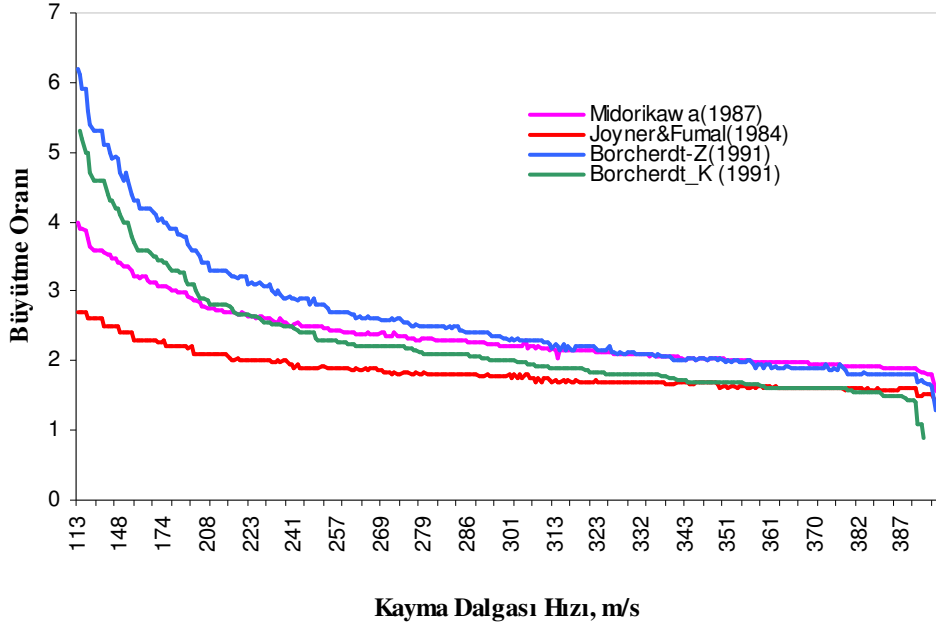
Şekil 7.5.1'den anlaşılacağı gibi ilk 5 m'ye kadar hız değerleri 54-398 m/s arasında görülmekte olup 5-15 m derinlik arası Vs değerleri 150-394 m/s arasında görülmektedir ve 15 m derinlikteki hız değerleri ise ortalama olarak 276 m/s dir. Kayma dalga hızının derinlikle değişimi incelendiğinde en düşük hız değerlerini veren ölçüm sismik kırılma, en yüksek kayma dalgası hızı değerlerini veren mekanik sondajlardan ampirik olarak hesaplanan Vs değerleridir. Bunun nedeni; sondajların hem zemin hem de kaya ortamında fakat çoğunlukla alüvyon ortamda ölçülmüş olmasından kaynaklanmaktadır.

Sismik deneylerin uygulanamadığı alanlarda makaslama dalga hızı (Vs), SPT-N darbe sayısına bağlı olarak, İyisan (1996) [78] Erzincan'da yapılan bir grup sismik ve arazi penetrasyon deneyi sonuçlarını değerlendirilerek tüm zemin grubunu içeren 65 adet veri kullanılarak yaptığı regresyon analizi sonucunda Vs ve N arasında korelasyon katsayısı (r) %81 olan

$$V_s=51.5N^{0.516} \quad (\text{m/s}) \quad (7.5)$$

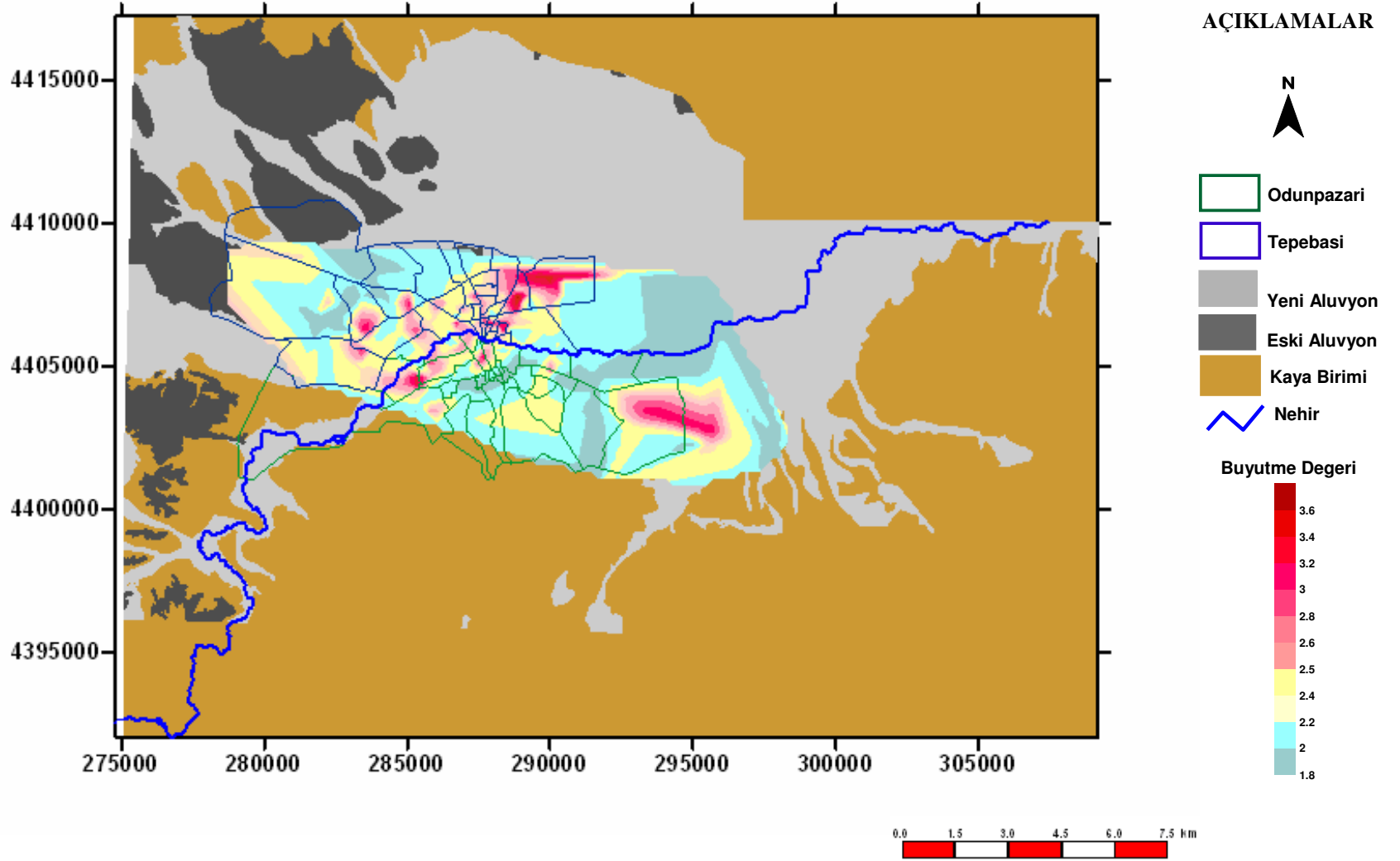
ampirik bağıntısını elde etmiştir. Bu bağıntının geliştirilmesinde, sismik dalga hız ölçümleri yeraltı su seviyesinin (YASS) üzerinde yapıldığından YASS'ın etkisi dikkate alınmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında hesaplanan Vs-Ak bağıntılarının, Midorikawa [69], Joyner&Fumal [70], Borchardt [70] tarafından önerilen bağıntılarla karşılaştırılması Şekil 7.5.2'de görülmektedir. Büyütme değerlerinin hesaplanmasında 30 m derinlikteki ortalama kayma dalgası kullanılmıştır. Bu şekilde görüleceği üzere, yüksek hızlarda eğriler birbirleri ile uyum göstermektedirler. Borchardt (1991) yöntemiyle analizi sonucu Ak-Vs arasında elde edilen büyütme değeri, diğer araştırmacıların bağıntılarına göre yüksek değer vermektedir. Yine şekilde verilmiş dört bağıntıdan makaslama dalgası hızının yaklaşık 286 m/s üzerinde değer veren zemin tabakalarında zemin büyütme olmadığı anlaşılmaktadır.

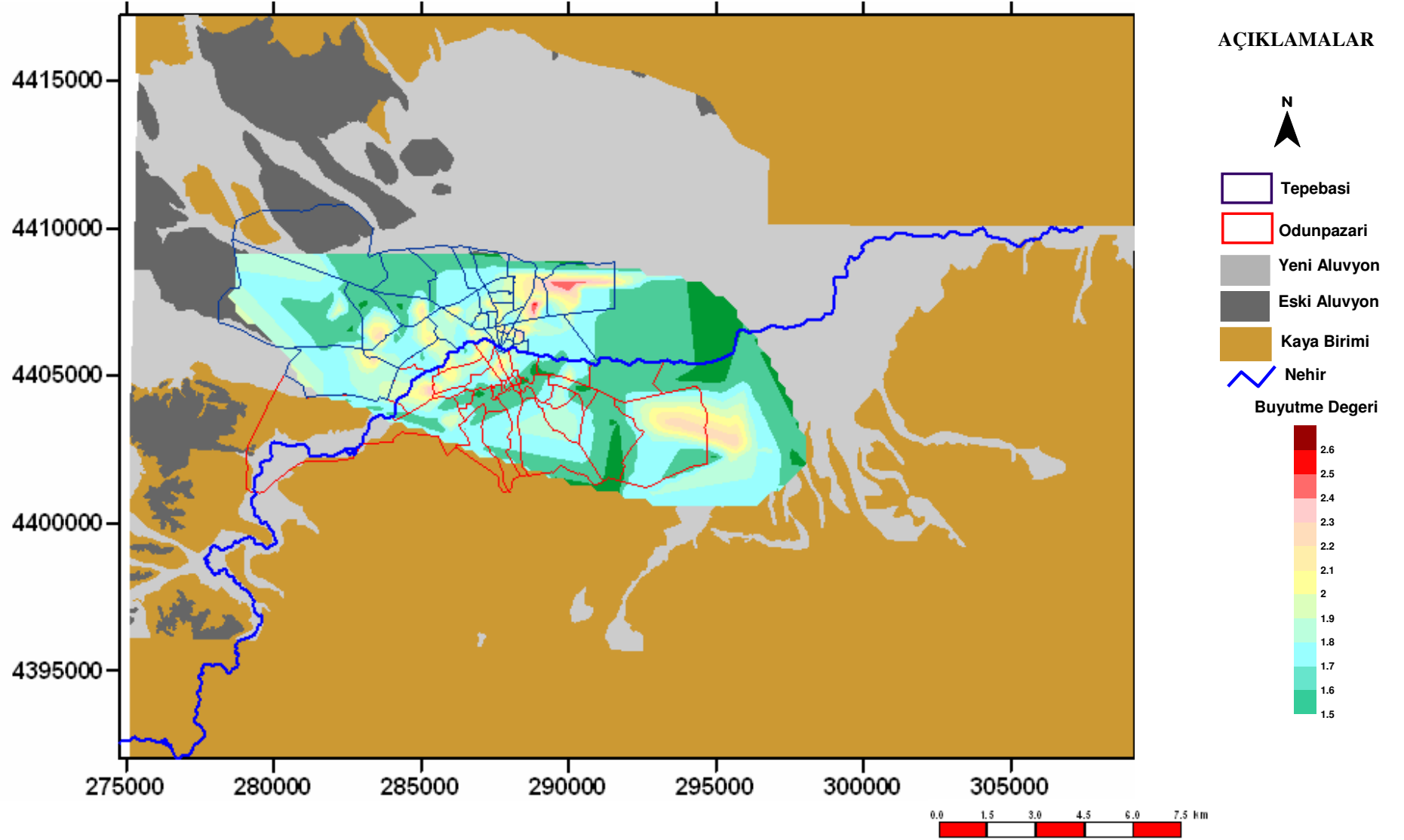


Şekil 7.5.2 Zemin büyütme (A_k) ve kayma dalga hızı (V_s) bağıntılarının karşılaştırılması

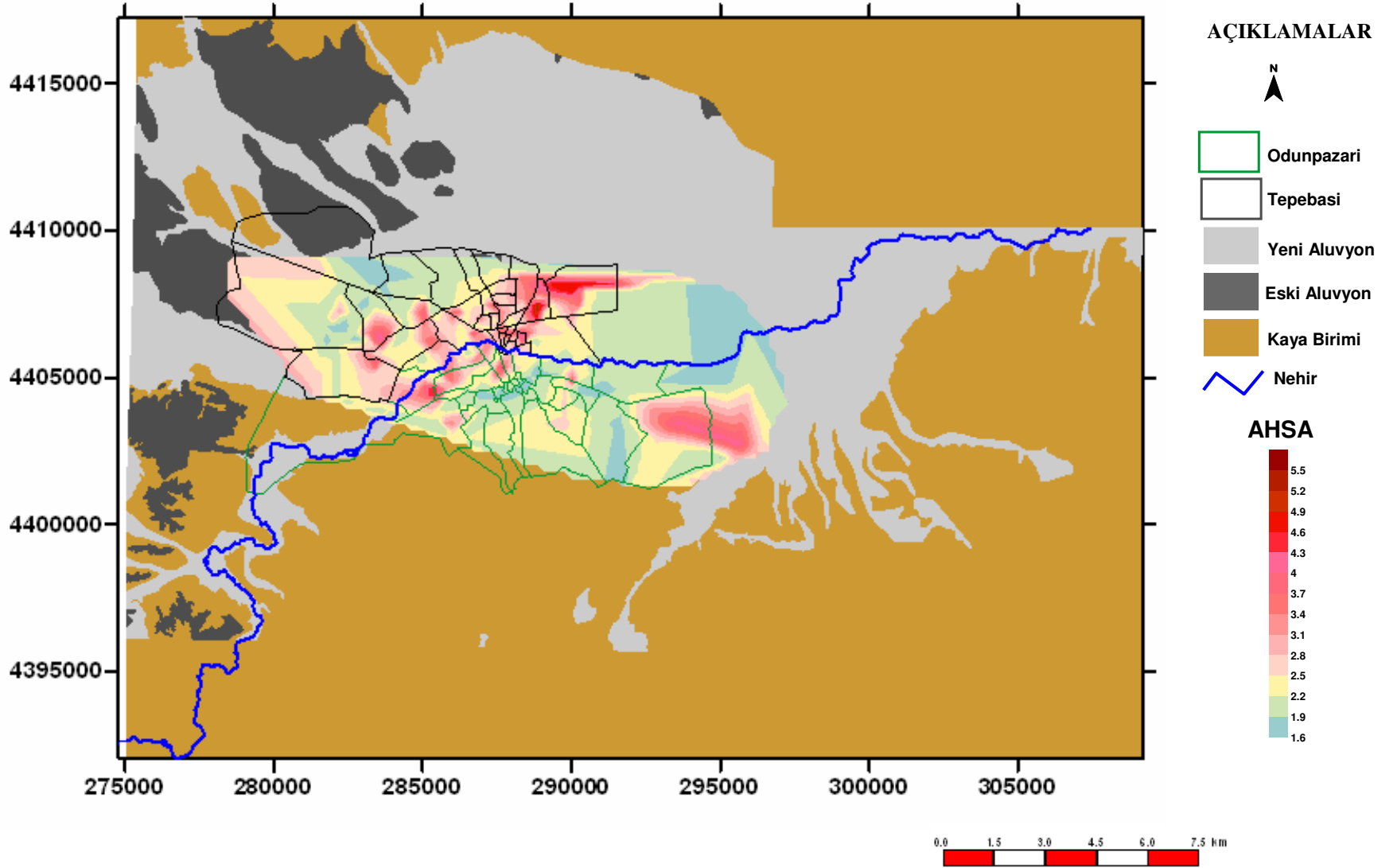
Bu veriler ışığında, SCPT ve sondaj uygulamalarının yapıldığı yeni-eski alüvyon birimi üzerinde, zemin büyütmenin değişimini harita koordinatlarında tanımlı mahalle sınırlarında yorumlanabilmektedir. Bu çalışmada yorumlamada kullanılan haritalar Şekil 7.5.3, Şekil 7.5.4, Şekil 7.5.5, Şekil 7.5.6'da gösterilmektedir.



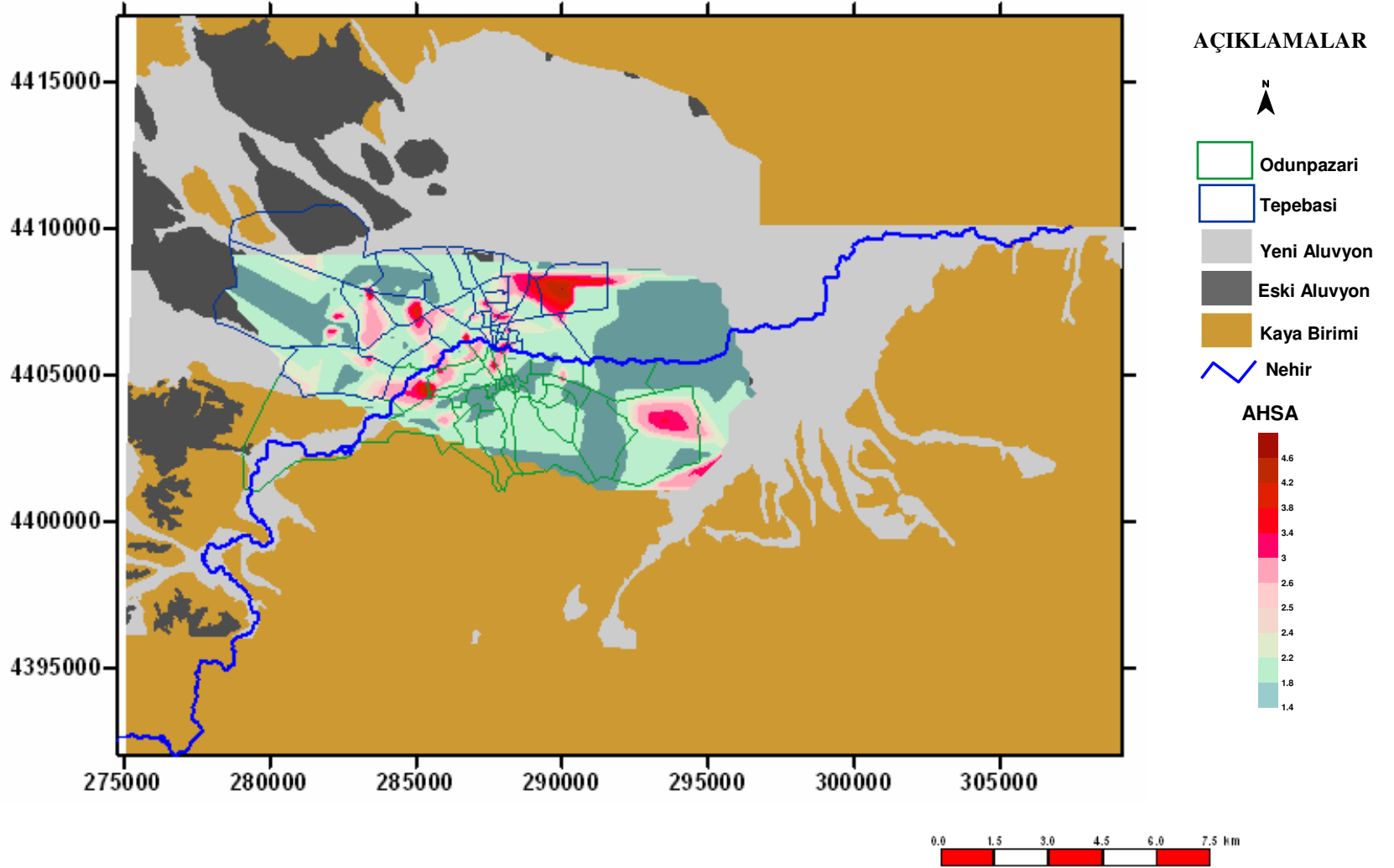
Şekil 7.5.3 Eskişehir yerleşim yerinin Midorikawa (1987) zemin büyütme haritası



Şekil 7.5.4 Eskişehir yerleşim yerinin Joyner&Fumal (1984) zemin büyüme haritası



Şekil 7.5.5 Çalışma alanı Borcherdt ve diğ. (1991) yaklaşımı kullanılarak bağıl büyüme haritası (Zayıf hareket)



Şekil 7.5.6 Çalışma alanı Borcherdt ve diğ. (1991) yaklaşımı kullanılarak bağıl büyüme haritası (Kuvvetli hareket)

7.6 Çalışma Alanının Hakim Titreşim Peryodunun Belirlenmesi ve NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Yer Sınıflaması

Depremler esnasında, hasar potansiyelini artıran olumsuz durumların rezonans durumları olduğu, yapı ile zemin tabakalarının hakim periyotlarının çakışması yada birbirine yakın olmasının sonucu, yapıların etkisi altında kaldığı yatay yüklerin önemli ölçüde büyüdüğü ve buna paralel olarak hasarın arttığı bilinmektedir. Dinamik yüklemeler esnasında, deformasyonların artması ile kayma modülü ve makaslama dalga hızları, doğrusal olmayan bir değişim göstermektedir.

Tabakalı zeminlerde, gelen dalga enerjisinin bir kısmı birinci ortama yansımakta, bir kısmı ikinci ortama iletilmektedir. Yansıyan dalga, elastik yarı sonsuz üst yüzeyine ulaştığı zaman, katı ortam ile boşluk kesişme yüzeyine çarpmakta ve tamamen geri yansımaktadır. Zemin boşluk, su ve havadan oluşur. Kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma ve büyütme, kohezyonlu zeminlerde aşırı deformasyon ve göçmeler olur.

$$T = \Sigma \frac{4H}{V_s} \quad (\text{Kanai, 1983}) \quad (7.6)$$

periyoduna sahip dalgalar, yüzey tabakaları için en tehlikeli dalgalardır. Yumuşak zeminde, sert zemine göre genliklerin en az iki kat büyük olduğu görülmektedir. Yüzeysel tabakalarda zorlanmış titreşimler halinde $T = 4H/V_s$ geçerlidir. $L = 4H / (2n+1)$, $n=0,1,2,3$ dalga boyuna sahip dalgalar tabaka ile rezonansa girer veya senkronize olur. Sert zeminlerde yalnız zemin hakim periyodu civarında büyük ivmeler görülür. Yumuşak zeminlerde ise ivmeler sert zeminlerdeki kadar büyük değildir fakat geniş bir periyod alanını kaplar [93].

Deprem dalgası zemin yüzeyinde dalganın periyodunun $4H/V_s$ değerine eşit olmasıyla aşırı şekilde büyütülmektedir. $4H/V_s$ formülü, yüzey tabakasının doğal periyodunu gösterir, zemin hakim periyodu da denir. Yapının periyodu, zeminin

periyoduna yaklaştıkça ($T = T_0$) yükseltgenme büyür ve rezonans oluşur (T, yapı periyodu; T_0 , zemin hakim periyodudur). Sönüm artarsa hasar azalır. Hasar en büyük yer ivmesi ile periyod, frekans ve deprem süresine bağlıdır. Büyük ivmeli bir deprem, yüksek frekans ve çok kısa sürede hiçbir hasara neden olmaz. Düşük ivmeli bir deprem frekans ve deprem süresine bağlı olarak büyük hasarlara neden olur.

Zeminin doğrusal davranışında üniform elastik bir zeminde, farklı deprem etkilerinde tabakalar elastik olduğundan büyütme faktörleri yer hareketinin genliğine bağlı olmayıp sadece frekans içeriğinde etkilenecektir. Pik davranışın depremin hakim periyodunda meydana geldiği kabul edilirse, depremin frekans içeriği kısa periyodlara kayarsa, hakim periyodtaki büyütme azalacaktır. En büyük büyütme, daha yüksek doğal periyodlardan birinde meydana gelir. Depremde düşük titreşimlerde zemin davranış elastiktir. Büyütme faktörü, periyot, kayma dalgası hızı, rijit tabaka derinliğine bağlıdır.

Deprem dalgasının genliği arttıkça zemin doğrusal olmayan davranış gösterecektir. Zayıf yer hareketlerinde düşük şiddette elastik zemin davranış, kuvvetli yer hareketlerinde ise lineer olmayan zemin davranışları doğar. Zeminin kayma modülünde meydana gelen azalmaya bağlı olarak periyodlar büyüyecek, sönüm oranları artacak, zemin hakim periyodunda meydana gelecek değişmeye göre pik davranışta azalma olacaktır. Kuvvetli zemin titreşimlerinde, büyütme zayıf yer hareketlerin sebep olduğü büyütme değerinin 2-3 kat fazlası olmaktadır. Deprem hareketinin tekrarlı yüklemeleri, zeminde boşluk suyu basınçlarının yükselmesine neden olur. Bundan dolayı konsolide killerde, kayma mukavemetlerinde azalma oluşur, neticede taşıma gücü düşer. Boşluk suyu basınçlarının artması suya doygün siltli kumlu zemin tabakalarında daha çok etkili olmaktadır.

Mevcut Türkiye Deprem Şartnamesi'nde (1975) spektrum katsayısının hesabında yerel zemin koşularının etkisi zemin hakim periyodu (T_0) değeri ile dikkate alınmaktadır. Yönetmelikte '*güvenilir varsayımlara ve arazi gözlemlerine dayanan deneysel, ampirik yada teorik yaklaşımlarla saptanmadıkça zeminin hakim periyodu T_0 için değişik zeminlerin cinslerine göre ortalama değer*' tavsiye

edilmiştir (Tablo 7.6.1). Deprem Şartnamesi (1975) , yeni deprem şartnamesi taslağı (1995) yerel zemin koşullarının dikkate alınması için önerilen spektrum karakteristik periyodları yaklaşımı ve zemin sınıflandırma sistemleri ile uyumlu olup, 1975 Türkiye deprem şartnamesine göre daha ileri bir anlayışı temsil eder.

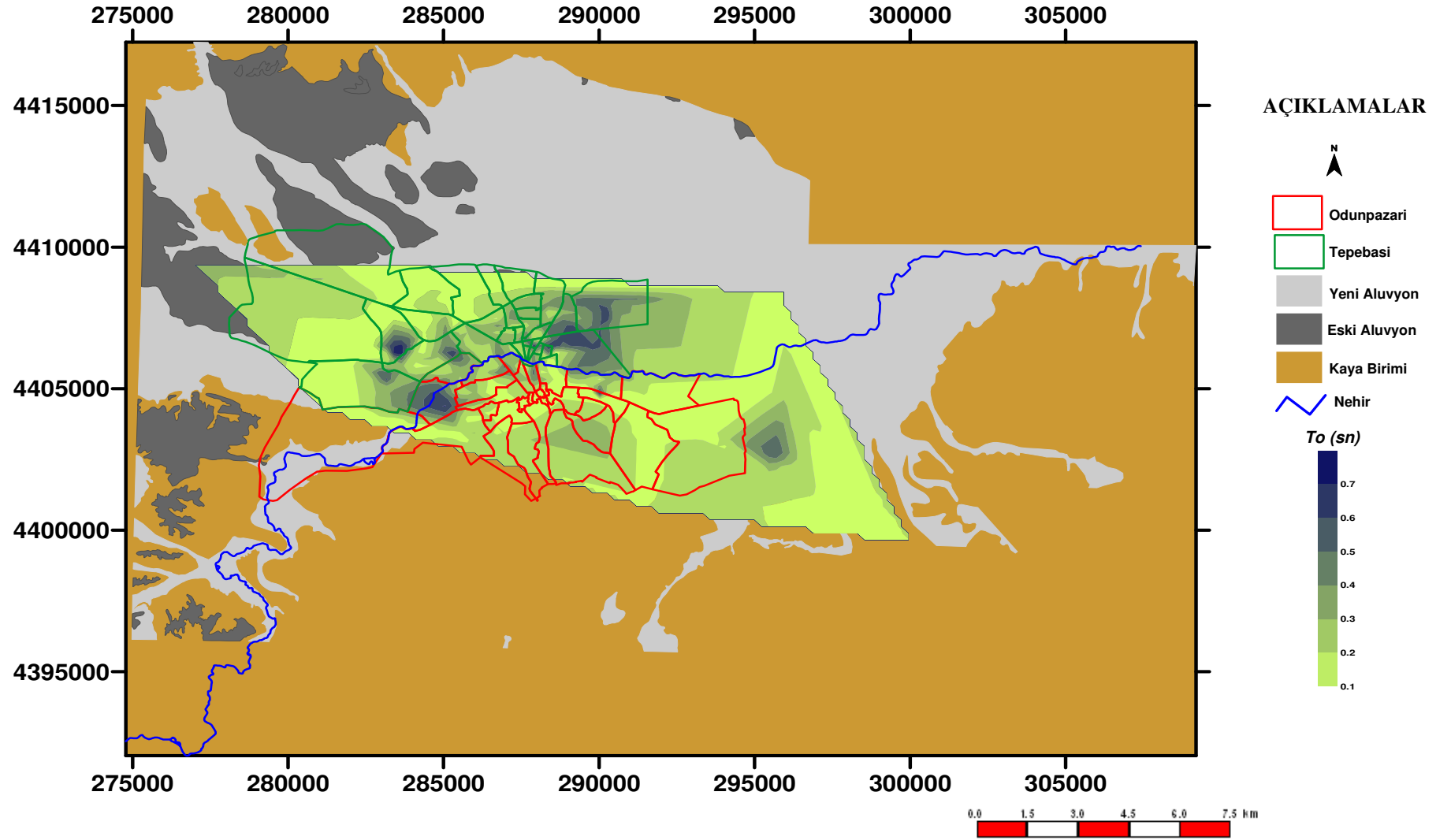
Tablo 7.6.1 Türkiye deprem şartnamesi (1975) - Zemin sınıflandırması ve zemin hakim periyodu

Zemin Cinsi	Tanımlama	T ₀ (sn)	Ortalama T ₀ (sn)
1	Masif volkanik ve derinlik kayaçları, ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, çok sert çimentolu tortul kayaçlar	0.20	0.25
	Çok sıkı kum, çakıl	0.25	
	Çok sert kil	0.30	
2	Tüf ve aglomera gibi gevşek magmatik kayaçlar, Süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu kayaçlar	0.35	0.42
	Sıkı kum, çakıl	0.40	
	Sert kil	0.50	
3	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan, çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar	0.55	0.60
	Orta sıklıkta kum, çakıl	0.60	
	Katı kil, siltli kil	0.65	
4	Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak ve kalın alüvyon tabakaları, bataklık tipi veya çamur dipli deniz doldurulması ile oluşan zeminler ve dolgu tabakaları	0.70	0.80
	Gevşek kum	0.80	
	Yumuşak kil, siltli kil	0.90	

Eskişehir yerleşim yeri çoğunlukla genç ve yaşlı alüvyon birimler üzerinde yer aldığından, rezonans yaratabilecek periyot değerleri zemin büyütme çalışmaları için gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla, çalışma alanında SCPT, SPT ve sismik kırılma ölçümlerinden elde edilen makaslama dalgası hızları ve DSİ III. Bölge Müdürlüğü [55-56] tarafından yapılan öz direnç ölçümlerinden elde edilen alüvyon kalınlığı verileri kullanılarak Eskişehir zeminleri için doğal titreşim periyodu hesaplanmıştır. Çalışma alanı için elde edilen doğal titreşim periyodu haritası Şekil 7.6.1 de verilmiştir.

Çalışma alanında SCPT, SPT uygulama noktalarında hesaplanan hakim titreşim periyodu değerleri kullanılarak elde edilen T_0 haritası incelendiğinde, zemin hakim titreşim periyodunun 0.10 sn ile 0.8 sn aralığında değiştiği, ortalamasının 0.25 sn olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.6.1). Çalışma alanında T_0 değerlerinin değişimi incelendiğinde, hakim periyodun 0.7 - 0.8 sn arasında yüksek değer vermesi, alüvyon kalınlığının fazla ve kayma dalga hızının bu derinliklerde düşük olması, bölgede yumuşak zeminin varlığını göstermektedir. Bu alanlar Porsuk Nehrinin fazla malzeme depoladığı yerlere karşılık gelmektedir. Bu zeminlerde, muhtemel bir depremde, deprem dalgası genliğinin büyük boyutlara ulaşması olasıdır.

Bu da çalışma alanında kalın alüvyon çökellerin bulunduğu zeminlerde özellikle yüksek katlı yapıların risk altında olduğu işaret eder. Yukarıdaki hakim periyod haritası incelendiğinde koyu renkle tanımlanan alanlar alüvyon zeminler olup, yüksek T_0 değerleri vermektedir dolayısıyla zemin büyütme potansiyelleri yüksek olan zeminlerle uyumluluk göstermektedirler.



Şekil 7.6.1 Çalışma alanının zemin hakim periyodunun (T_0) değişimi

N katlı bir bina için bina hakim periyodunu $T=N /10$ bağıntısından hesaplırsak [23] bina yüksekliği veya kat adedi arttıkça bina hakim periyodunun arttığını görüyoruz (Tablo 7.6.2). Arnoğlu ve diğ. (2000) [82] Kat sayısı-hakim periyot ilişkisini $N \leq 6$ için $T=0.3 \pm 0.05N$ ve $N > 6$ için $T=N / 10$ bağıntılarıyla tanımlamışlardır.

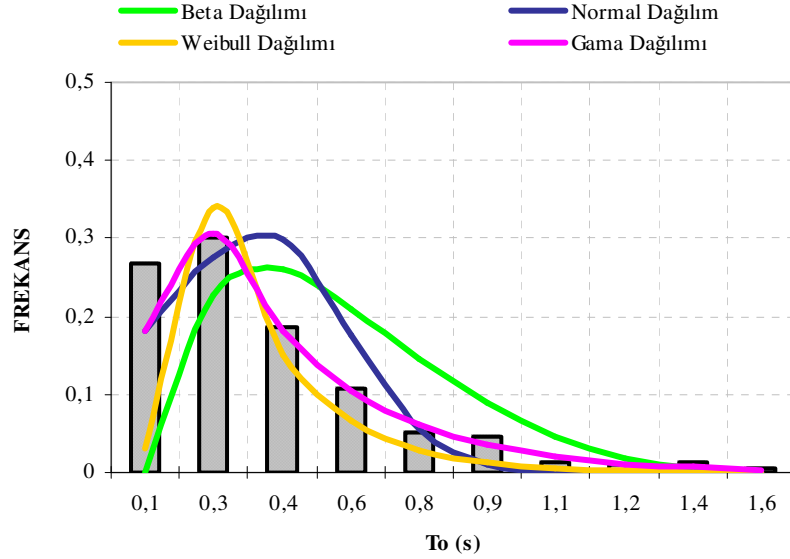
Tablo 7.6.2 N katlı bir bina için bina hakim periyodu

N (Kat Sayısı)	T (sn)
1	0.35
2	0.4
3	0.45
4	0.5
5	0.55
6	0.6
7	0.7
8	0.8
9	0.9
10	1

Örneğin; zemin hakim periyodu 1 sn olan bölgede, en büyük risk altındaki yapılar %20 lik sapmayla 0.8 -1.2 sn hakim periyoda, veya kaba bir hesapla ($T=N /10$) 8-10 kata sahip yapılardır. Bunun tam tersini de sığ zemin tabakaları üzerinde yer alan düşük katlı binalar için söylemek mümkündür. Çünkü bu durumda, hem zemin hem de üzerindeki yapı küçük titreşim periyotlarına sahip olacak ve bunun sonucunda deprem sırasında rezonans etkisi oluşabilecektir [28]. Ancak bu sonuç, kalın alüvyonlar üzerine yüksek katlı, sığ zemin tabakaları üzerine düşük katlı yapılar yapılmamalıdır anlamı taşımaz. Yapılması gereken mümkün olduğunca rezonans olayından kaçmaktır.

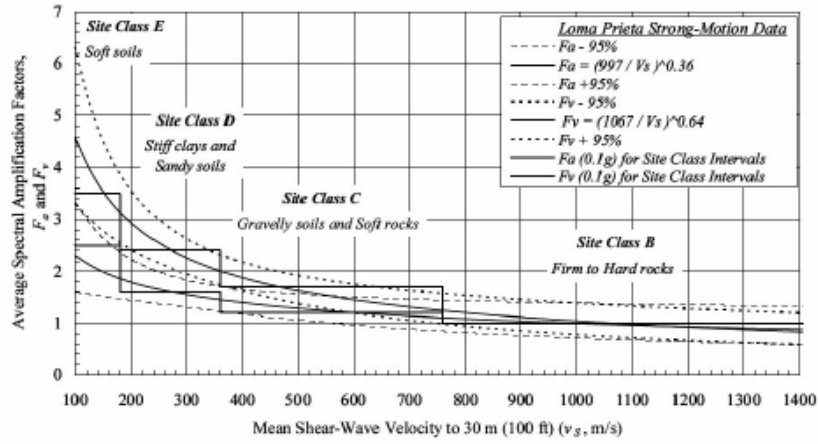
Binaların hakim periyotları yukarıda basit bağıntıyla hesapladığımız gibi sadece yüksekliklerine yada kat sayılarına bağlı değildir. Aynı zamanda bina türüne (betonarme, kerpiç, vs.), kullanılan malzemelerin özelliklerine ve yapının boyutları gibi bir çok özelliğe bağlıdır [28].

Çalışma alanının tümünde 321 farklı noktada belirlenen T_0 değerlerinin frekans histogramına bakıldığında minimum değer 0.10 s, maksimum değer 1.57 s olduğu görülmüştür. Hakim periyodun 0.1 ile 1.57 değerleri arasında değişmesi farklı zemin gruplarının göstergesidir. Sismik kırılma ölçülerine dayanan hakim periyot değerleri en yüksek periyot değerlerini vermiş olmasına rağmen coğrafi koordinatları bilinmediği için haritalamaya alınmamıştır. Zemin parametrelerinin olasılık dağılım modellerinin bulunmasına da çalışılmıştır. Bu çalışmada olasılık dağılım modeli olarak sadece normal, beta, weibull, gama dağılım modelleri kullanılmıştır. Tüm verinin gama dağılım fonksiyonuna uyum gösterdiği ve ortalama değerin 0.31 s olup, Standart sapması 0.27 dir (Şekil 7.6.2).



Şekil 7.6.2 Çalışma alanında belirlenen T_0 değerleri frekans histogramı

Ana kayanın üzerindeki üst seviyedeki makaslama dalgası ortalama hızı değerlerinin bölgesel değişimleri kullanılarak, yer hareketi büyütmelerinin belirlenmesinde NEHRP (2000)'nin önerdiği standartlar geliştirilmiştir [83].



Şekil 7.6.3 NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) [84]

NEHRP (2000) yer sınıflaması Tablo 7.6.3 de ve Şekil 7.6.3 verilmiştir. NEHRP zemin sınıflamasıyla ilişkili olarak geliştirilen zemin büyütmesinin değişimi, ABD'nin iç bölgelerinde The Central US Earthquake Consortium (CUSEC) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Bu çalışmada A türü olarak tanımlanan sınıftan F türü olarak tanımlanan sınıfa gidildikçe zemin büyütmesinin arttığı ortaya konmuştur [83].

Tablo 7.6.3 NEHRP (2000) hükümlerindeki zemin sınıfları [83]

Zemin Sınıfı	Açıklama	Üst 30 m için Ortalama Vs (m/s)	Stand. Pen. Sayısı N veya N _{ch} (vuruş/30cm)	Drenajsız Kayma Muk. S _U (kPa)
A	Sert Kaya	> 1500		
B	Kaya	760-1500		
C	Çok sıkı zemin ve yumuşak kaya	360-760	> 50	> 100
D	Sert zemin	180-360	15-50	50-100
E	Yumuşak zemin	< 180	< 15	< 50
F	Özel hesap gerektirir			

Bu çalışmada, yer sınıflaması için V_s değerleri kullanılmıştır. NEHRP yer sınıflama sonuçları da değerlendirilerek çalışma alanındaki zemin türü ve büyütme oranları teorik olarak yorumlanmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı yeni alüvyon, eski alüvyon ve kaya birimi olarak tanımlanan jeolojik birimleri içermektedir. Çalışma alanında daha önce yapılan deprem risk çalışmaları yeni alüvyon zemininin, sınıflama açısından yüksek risk bölgeleri içerdiğini göstermektedir [18].

NEHRP yer sınıflaması çalışma alanında 279 farklı noktada uygulanan SCPT, SPT den elde edilen 30 m için ortalama hız değerlerinin ($V_{s,30}$) bölgesel değişimi kullanılarak NEHRP (2000) için yer sınıflaması haritası hazırlanmıştır (Şekil 7.6.4). Bu alanlar, Midorikawa (1987)'ye göre hesaplanan büyütme karşı zemin davranışı gösterebilecek alanlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan bu alanlar E sınıfı zemin türüne karşılık geldiği görülmüştür. NEHRP yer sınıflaması çalışma alanına uygulandığında hakim zemin türünün D sınıfı olduğu; ancak çalışma alanının kuzeyinde Tepebaşı Belediyesi sınırlarında geniş bir alanda ve Porsuk Çayının batısında yer yer ve Odunpazarı Belediyesinin kuzey kesiminde, Porsuk Çayına paralel bir hatta oldukça geniş bir alanda E sınıfının yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma alanının doğusunda yerleşim yeri dışında kalan bölgede çok sınırlı da olsa E türü zemin sınıfı yer almıştır.

Deprem yer hareketlerinde olası zemin davranışlarını daha ayrıntılı ortaya koyabilmek amacı ile daha önceki çalışmalarda D sınıfına karşılık gelen $180 < V_s < 360$ m/s aralığın kendi içinde bölünebileceği önerilmiştir [83].

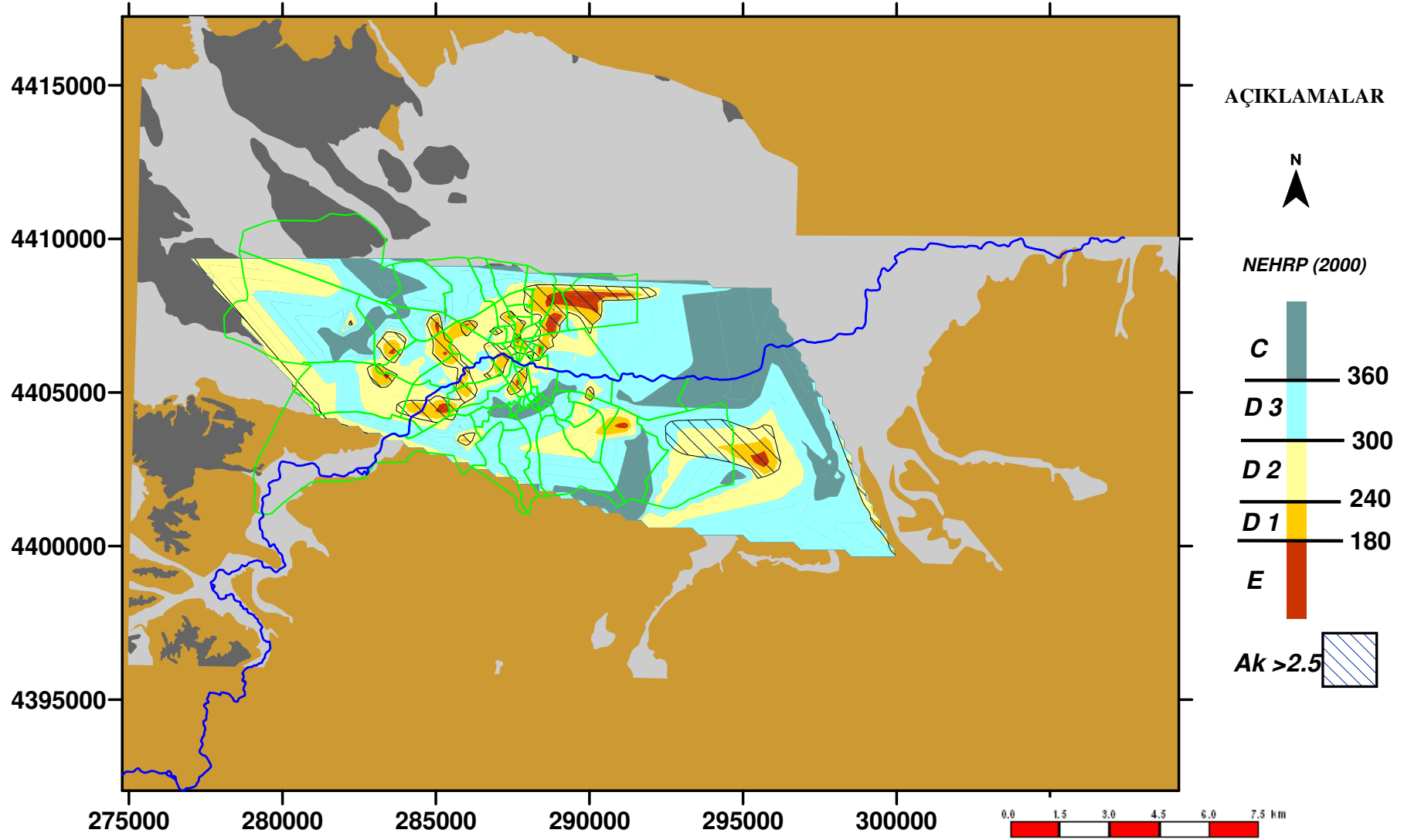
Buna göre D sınıfı;

$$D1 \quad 180 < V_s < 240 \text{ m/s,}$$

$$D2 \quad 240 < V_s < 300 \text{ m/s,}$$

$$D3 \quad 300 < V_s < 360 \text{ m/s gibi aralıklara bölünmüştür.}$$

Bu çalışmada da bu bölümlenme esas alınmış ve uygulama buna göre yapılmıştır.



Şekil 7.6.4 NEHRP yer sınıflaması ve göreceli zemin büyütme haritasının karşılaştırılması

8. YEREL ZEMİN KOŞULLARININ BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALAR ARASINDAKİ İSTATİSTİKSEL İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

8.1 Giriş

Tüm uygulamalı bilimlerde olduğu gibi yer bilimlerinde de çoğu kez ölçülen büyüklükleri analitik bir ifadeye (formüle) yaklaştırılması istenebilir. Başka bir ifade ile ölçülen değerler arasındaki ilişki en iyi şekilde tanımlanabilecek matematiksel bir bağıntı bulunmaya çalışılır. Kimi durumda böyle bir problem incelenen olayın fiziksel doğasının iyi bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin; aralarındaki bir ilişkinin bulunduğu gözlemler yoluyla bildiğimiz halde buna etkiyen değişkenleri (parametreleri) iyi bilememesi bu problemi analitik olarak çözülmesine engel olur. Bu durumda istatistik kurallarından yararlanarak gözlemi yapılan büyüklükler arasındaki ampirik bir bağıntı aramanın gereği duyulur.

İstatistik, belli bir olayın gözlenmesini, sayılmasını, ölçülmesini, sonuçların tahlil edilmesini ve gerçek için tahminlerde bulunulmasını ve verilerin değerlendirilmesi ile olayın bilinmeyen özelliklerinin saptanmasını sağlar. Özellikle gözleme ve ölçmeye dayanan jeoloji ve jeofizik çalışmalarda çoğu zaman aralarında istatistik anlamda bir ilişki bulunan birden fazla rastgele değişkeni birlikte ele almak gerekir. Birçok mühendislik problemlerinde de, iki (ya da daha çok sayıda) rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımından bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında bir ilişki bulunduğu görülür. İki değişken arasında bir ilişki bulunması bunlardan birinin diğerinden etkilenmesi, ya da her iki değişkenin başka değişkenlerden birlikte etkilenmelerinden kaynaklanır [54].

İki yada daha çok sayıdaki değişken arasındaki bağıntıya istatistikte korelasyon adı verilir. Regresyon ise; bu değişkenlerden birinden yararlanarak diğerinin alabileceği değeri hesaplar. Değişkenlerden biri bağımlı diğeri bağımsızdır. Bağımlı değişken (y), diğeri bağımsız değişken (x) tarafından etkilenen ve bağımsız değişkenin değeri değiştikçe onunla değeri değişen değişkendir. Regresyon

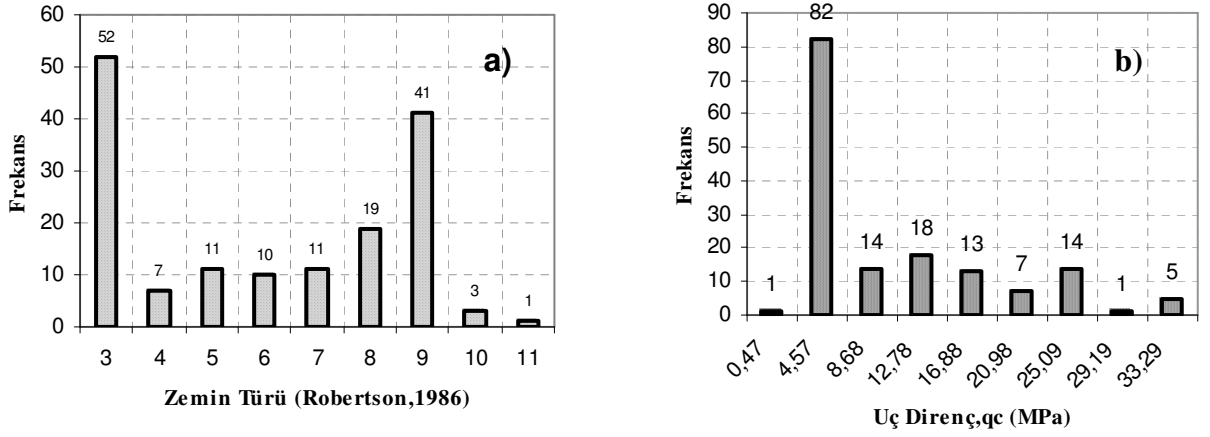
analizinin amacı, değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini belirlemek ve bu denklem kullanılarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır. İki rastgele değişken arasındaki fonksiyonel bağımlılığın bir ölçüsü korelasyon katsayısı olarak tanımlanır. Korelasyon katsayısının $r = 0$ olması X ile Y değişkenleri arasında fonksiyonel bir bağımlılık bulunmadığını, r 'nin mutlak değerinin 1'e yaklaşması ise değişkenler arasındaki bağımlılığın gittikçe kuvvetlenerek fonksiyonel bir ilişkiye yaklaştığını ifade etmektedir. Buna göre iki rastgele değişken arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığına karar vermek için korelasyon katsayısı değerine bakmak uygun olur.

Her istatistiksel değerlendirmede bütün ölçüm ve gözlem sonuçları frekans dağılımları şeklinde düzenlenir. Frekans dağılımı, belirli gözlem sonucunun veri tabanında kaç defa bulunduğunu veya sınıf denilen aralıkta kaç ölçüm sonucunun yer aldığını gösterir. Jeolojik olaylara ait frekans dağılımlarının birçoğu basit, matematiksel fonksiyonlara az veya çok uyarlar. Frekans dağılımı, bir özelliğin değişkenliğini tam olarak yansıtır, kayıt tablosundaki sayısal materyalin grafiklerle kolay anlaşılabilir şekilde ifade edilmesinde kullanılır ve çok önemli istatistiksel kavramlardan birini teşkil eder. Bu grafiklerden yararlanarak ortalama değer, varyans, ortalama ve standart sapma kolaylıkla hesaplanır [90].

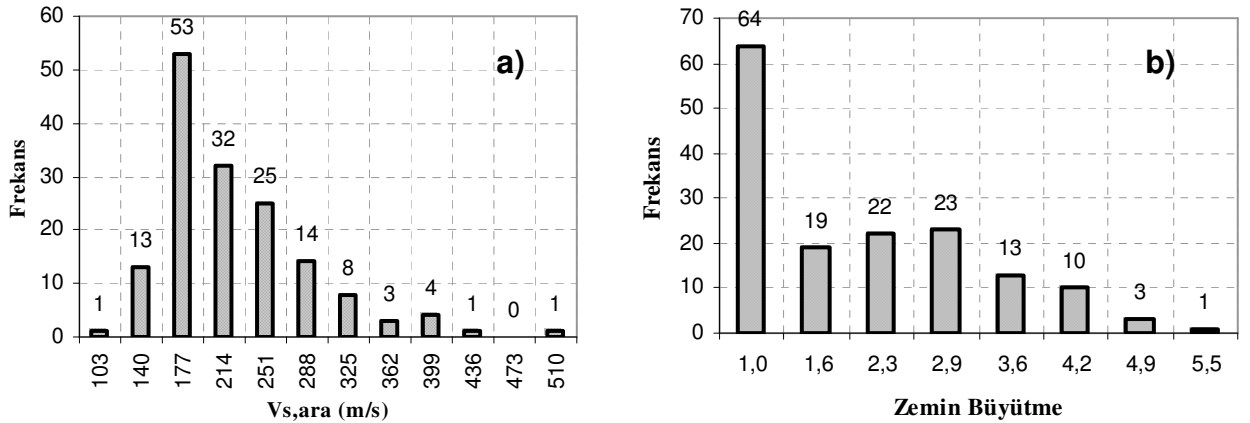
Olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak tesadüfi büyüklüğün herhangi bir değeri için olasılık vermekte olup dağılım yoğunluklarının - frekans bölümünün integrali, dağılım fonksiyonudur. Bu olasılık dağılımlarının aralıkları incelenmektedir. Sınıf aralıklarının seçiminde aralıklar istenilen kadar genişletilerek, yada daraltılarak olasılık dağılımları elde edilir. Aralıklar çok daraltılarak sürekli bir olasılık eğrisi oluşturulur. Normal dağılım, Beta dağılımı, Weibull dağılımı ve Gama dağılımı sürekli olasılık dağılımı olup istatistikte önemli yer tutar.

8.2 CPT-SCPT Uygulama Noktalarındaki İstatistiksel İlişkiler

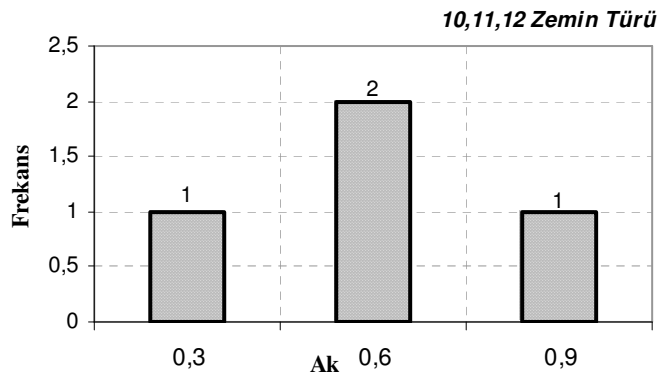
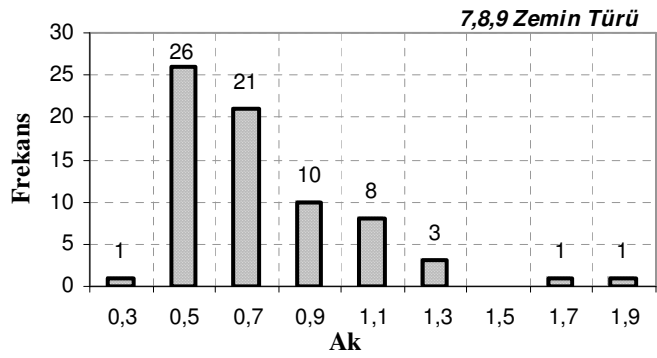
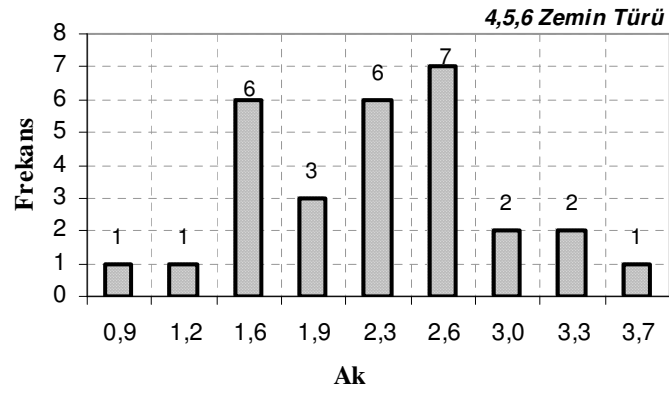
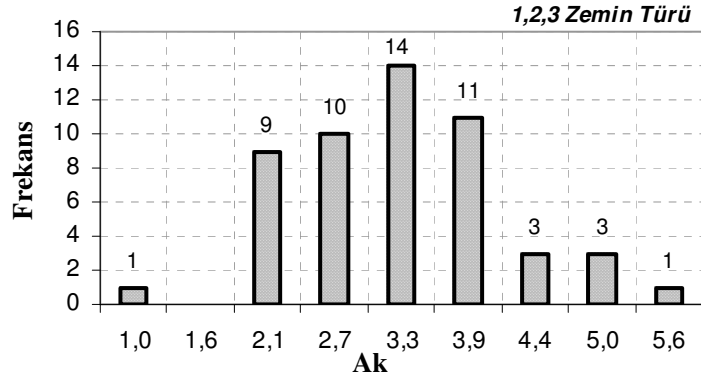
Çalışma alanında 32 farklı noktada CPT-SCPT uygulanmıştır. Sismik uygulama aralığına karşılık gelen derinliklerden elde edilen CPT değerleri kullanılarak Robertson vd. 1986'ya göre zemin türü belirlenmiştir [18]. Belirlenen bu zemin türlerinin frekans histogramlarına bakıldığında egemen zemin türünün kil (3) ve kum (9) dan oluştuğu görülmüştür (Şekil 8.2.1a). Çalışma alanında 32 farklı noktadan toplam 155 farklı seviyede uç direnç (q_c) değeri ölçülmüş, uç direncin ortalama değeri 8,09 olduğu belirlenmiştir. Uç direnci mukavemeti kullanılarak zemin büyütme değerleri hesaplanmıştır. Şekil 8.2.2b'deki frekans histogramına bakıldığında büyütme değerlerinin aritmetik ortalaması 1.69 dur.



Şekil 8.2.1 Çalışma alanındaki a) SCPT verisinin zemin türü ve b) uç direnç frekans histogramı



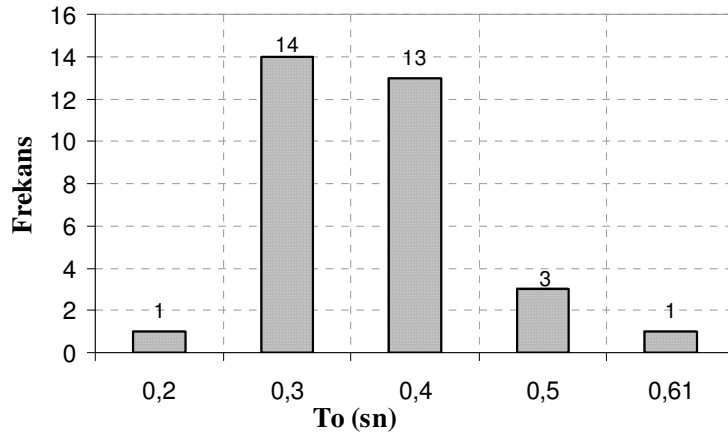
Şekil 8.2.2 SCPT verisinin $V_{s,ara}$ hızı ve zemin büyütme frekans histogramı



Şekil 8.2.3 Farklı zemin türlerinin zemin büyütme (Ak) frekans histogramları

Şekil 8.2.3’de gösterilen 1,2,3 no’lu birimler duyarlı ince tane-organik madde-kil türü birimlerdir. 4,5,6 no’lu birimler siltli kil, kil-killi silt, siltli killer; 7,8,9 no’lu birimler kum-siltli kum-killi kum; 10,11,12 no’lu birimler ise çakıl-kumlu çakıl türü birimlerdir. Bu birimler içerisinde en yüksek büyütme değerini 1,2,3 nolu birimler vermektedir.

Çalışma alanının tümünde 32 farklı noktada belirlenen T_0 değerlerinin frekans histogramına bakıldığında minimum değer 0.18 s, maksimum değer 0.61 s olduğu görülmüştür; ortalama değer 0.39 s olup alüvyon zemin özelliği ile uyum sağladığı belirlenmiştir (Şekil 8.2.4).



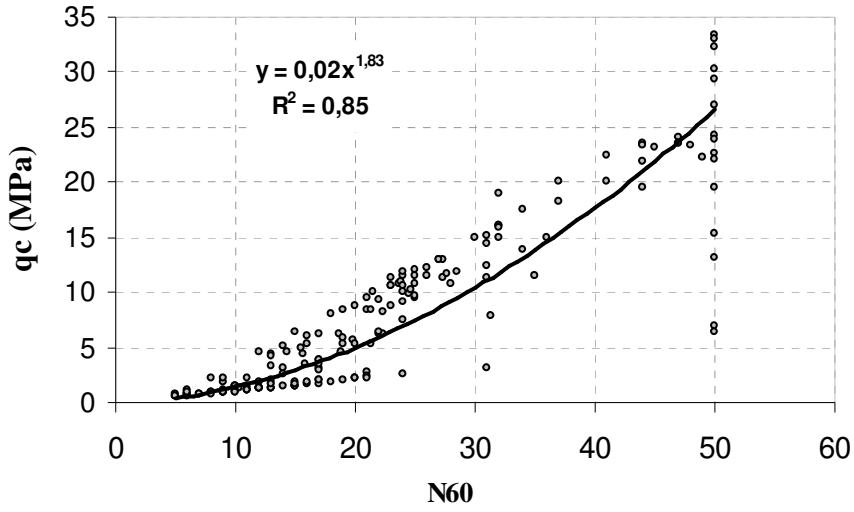
Şekil 8.2.4 SCPT verisinin zemin hakim periyodu değerleri frekans histogramı

Ölçülen uç direnç (q_c), makaslama dalgası hızı (V_s) ve zemin türü değerlerinin ve bu parametrelerden hesaplanan zemin büyütme (A_k) ve zemin hakim periyod (T_0) değerlerinin istatistiksel analizleri yapılarak yukarıda frekans histogramları elde edilmiştir. Bu parametrelerin ortalama, standart sapma, varyans, en büyük ve en düşük değerleri Tablo 8.2.1’ de özetlenmiştir.

Tablo 8.2.1 Zemin büyütme, makaslama dalgası hızı (Vs), uç direnç (qc), ve zemin hakim periyod değerlerinin tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları

SCPT-CPT	Min	Max	Ortalama	Stand. Sapma	Varyans	N
Zemin Büyütme (Ak)	0.29	5.5	1.69	1.22	1.48	155
Makaslama Dalgası Hızı (Vs)	103	510	205	65.17	4246.9	155
Uç Direnç (qc)	0.47	33.2	8.09	8.60	74.08	155
Zemin Hakim Periyod (sn)	0.18	0.61	0.39	0,11443	0.013	32

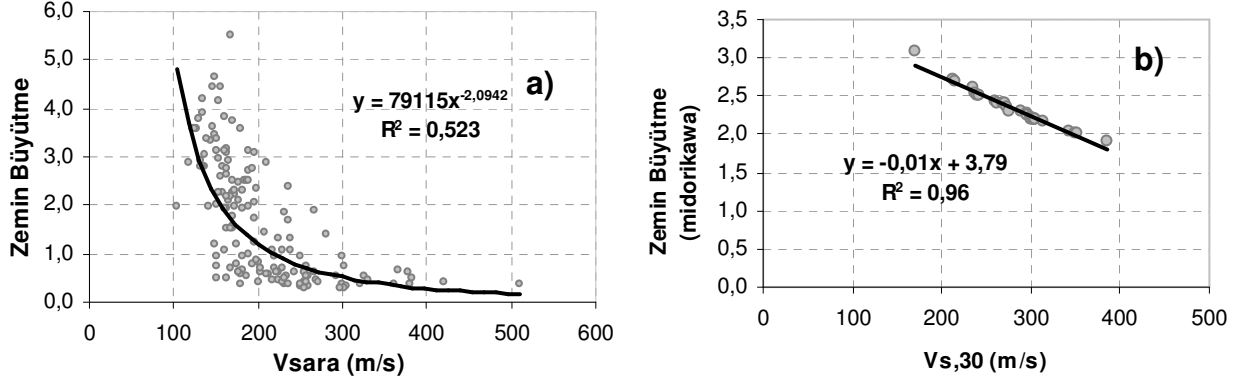
Frekans histogramları belirlenen değişkenler değerlendirilerek regresyon denklemlerinin oluşturulmasına çalışılmıştır. İlk N_{60} ve uç konik mukavemeti (qc) arasındaki ilişki incelendiğinde oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip olup artan bir eğilim ile aralarında uyumluluk söz konusudur (Şekil 8.2.5).



Şekil 8.2.5 Konik uç mukavemeti (qc) ile N_{60} arasındaki ilişki

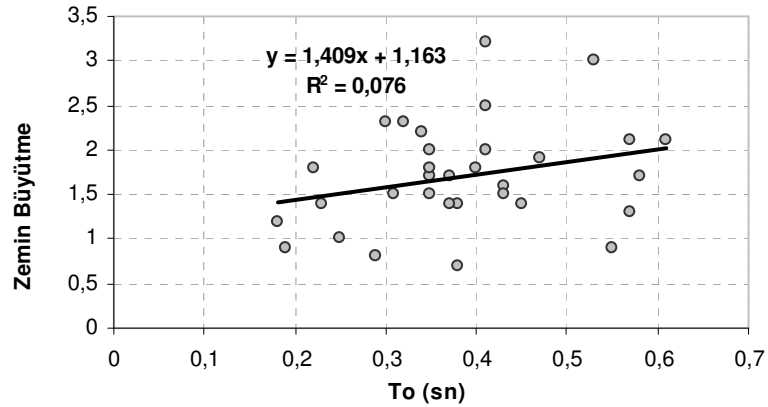
Şekil 8.2.6a incelendiğinde 155 farklı derinlikten okunan uç dirence bağlı büyütme değeri ile bu derinliklere karşılık gelen kayma dalga hızlarının (V_s) regresyon analizine bakıldığında korelasyon katsayısının çok yüksek olmadığı görülmektedir. Buna karşılık doğrusal ekstrapolasyon yöntemiyle 30 m derinliğe taşınan hız değerlerinin ortalaması ile ampirik olarak hesaplanan büyütme değerlerinin korelasyon katsayısının yüksek olduğu ve hızın artan değerinde

büyütme değerlerinin azalan bir eğilimle uyumluluğu göze çarpmaktadır (Şekil 8.2.6b). Buna parametreler arasındaki artma ve azalma eğilimlerinin incelenmesi, yapılan deneysel ve analitik çalışmaların uyumluluğu hakkında bilgi verebilir.



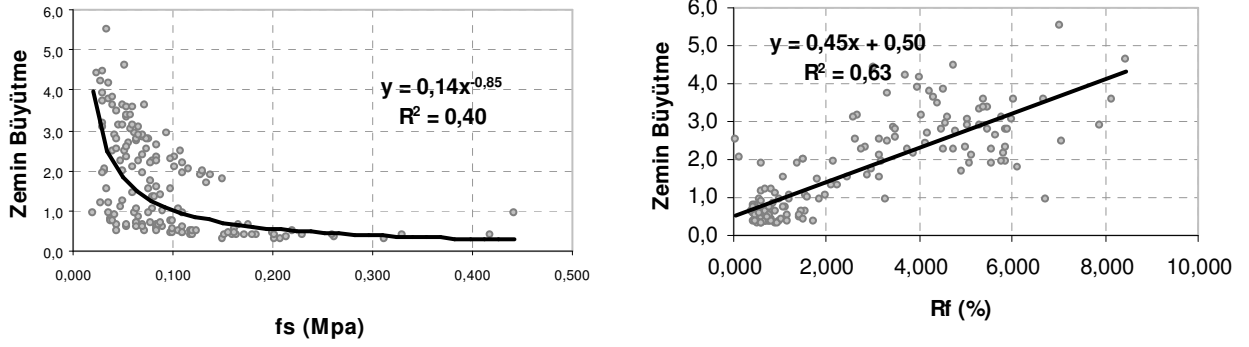
Şekil 8.2.6 a)Kayma dalgası (Vs) ile zemin büyütmesi arasındaki ilişki

b)Vs,30 ile zemin büyütme arasındaki ilişki



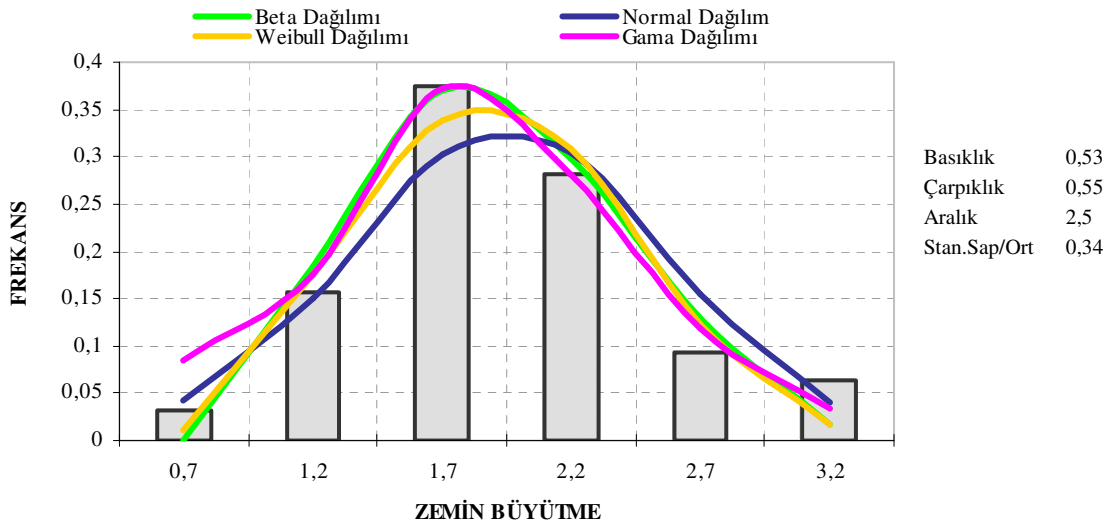
Şekil 8.2.7 Zemin hakim titreşim periyodu ile zemin büyütmesi arasındaki ilişki

Zemin büyütme ile zemin hakim periyodu arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 8.2.7), oldukça düşük korelasyon katsayısı olmasına rağmen To değerinin artan değerine karşılık zemin büyütme değerinde artan bir eğilimle uyumluluk söz konusudur. Korelasyon katsayısının düşük olmasının temel nedeninin To değerinin sadece hıza bağlı olmamasıdır. To hesabı yapılırken tabaka kalınlığının etkisi de önemlidir.



Şekil 8.2.8 Zemin büyütme değerinin sürtünme koluna etkileyen yanıl sürtünme, sürtünme oranı (%) ile ilişkisi

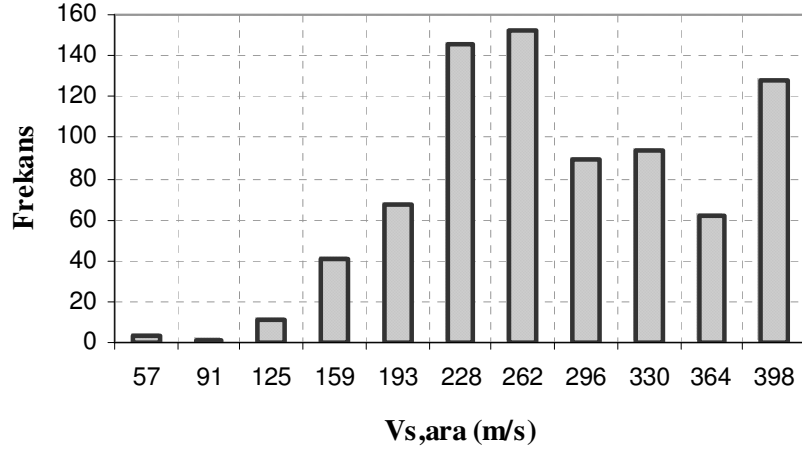
Zemin büyütme olasılık dağılım modellerinin bulunmasında normal, beta, weibull, gama dağılım modelleri kullanılmıştır. Uç dirence bağılı olarak hesaplanan zemin büyütme değerlerinin beta olasılık dağılımı gösterme eğiliminde oldukları belirlenmiştir (Şekil 8.2.9).



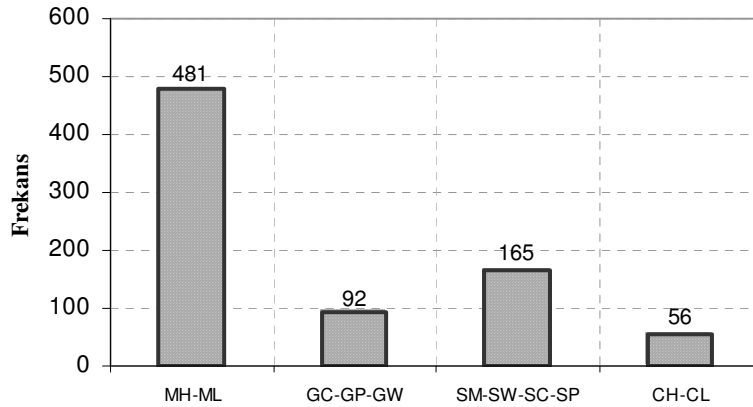
Şekil 8.2.9 Zemin büyütme frekans dağılımları

8.3 Sondaj (SPT) Uygulama Noktalarındaki İstatistiksel İlişkiler

Çalışma alanında 266 farklı noktadan toplam 794 farklı seviyede SPT-N değeri ölçülmüştür. SPT-N değerleri ampirik bağıntılar yardımıyla kayma dalgası hızı (V_s) değerlerine dönüştürülmüştür. Şekil 8.3.1'deki frekans histogramlarına bakıldığında en yüksek makaslama dalgası hızı değerlerinin ortalaması 266 dır. SPT uygulama aralığındaki zemin türleri Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemine göre gruplanmıştır. Belirlenen bu zemin türlerinin frekans histogramlarına bakıldığında egemen zemin türünün silt (MH-ML) ve kum (SM-SW-SC-SP) dan oluştuğu görülmüştür (Şekil 8.3.2).

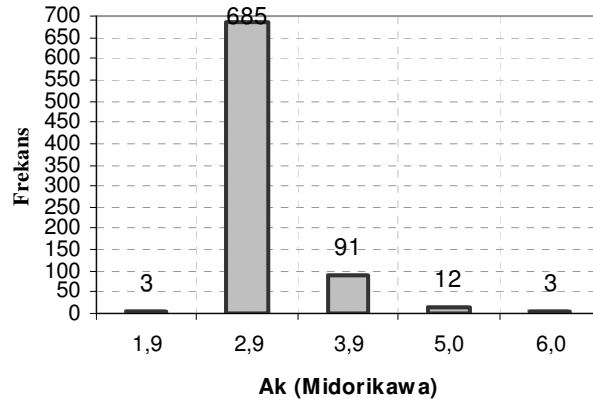


Şekil 8.3.1 SPT-N darbe sayılarına karşılık gelen kayma dalgası hızlarının frekans histogramı

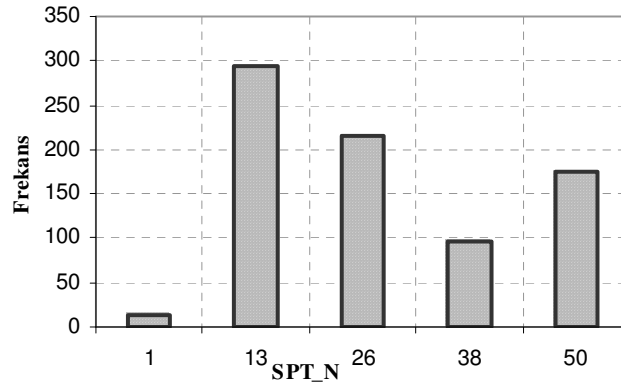


Şekil 8.3.2 Sondaj uygulamalarının zemin türü frekans histogramı

SPT-N darbe sayılarından hesaplanan büyütme değerlerine (Şekil 8.3.3) bakıldığında en yüksek 6, en düşük 1.8 dir, aritmetik ortalaması ise 2.4'tür. Çalışma alanında 794 farklı derinlikten ve birimlerden elde edilen SPT-N darbe sayılarının maksimum değeri 50, minimum değeri 1 dir. SPT-N değerinin bu aralıkta çıkması eski ve yeni alüvyon ile kaya birimi olarak tanımlanan litolojik birimlerde SPT_N değerinin değiştiğini göstermektedir (Şekil 8.3.4).



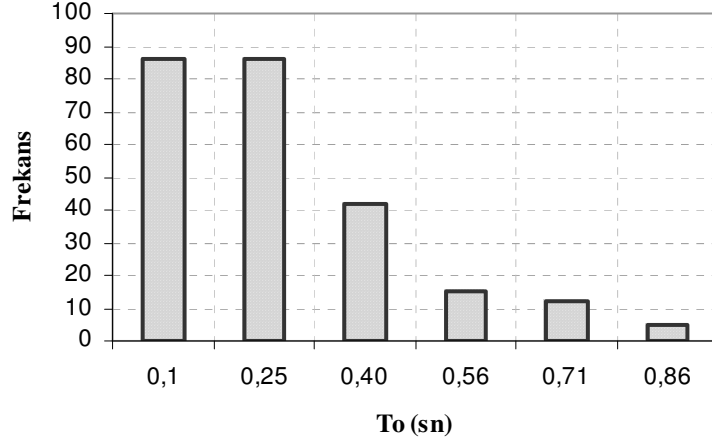
Şekil 8.3.3 SPT-N uygulama noktaları için zemin büyütme frekans histogramı



Şekil 8.3.4 SPT-N frekans histogramı

0.1-0.86 s aralığında belirlenen T_0 değerleri ile zemin profilinin uyumlu olduğu görülür. Eski ve yeni alüvyon ile kaya birimi olarak tanımlanan litolojik birimlere doğru T_0 değeri de değişmektedir (Şekil 8.3.5). Ortalama değeri 0.22 s olup

kaya zemin ile uyum sağladığı anlaşılmıştır. SPT'ye bağlı tanımlayıcı istatistiksel sonuçları Tablo 8.3.1'de verilmektedir.

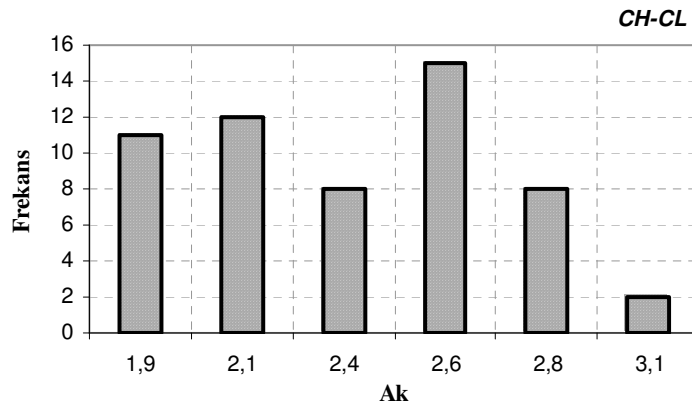
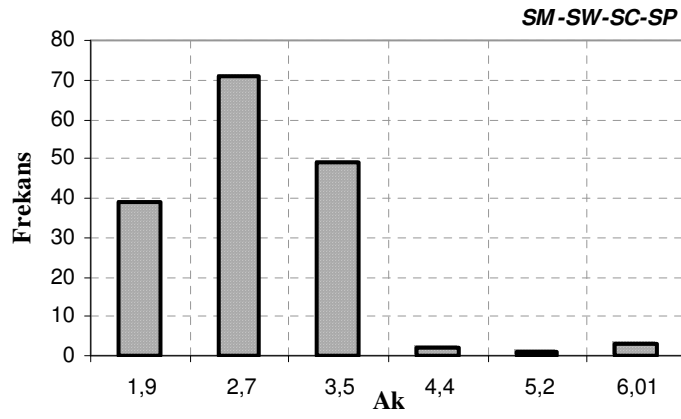
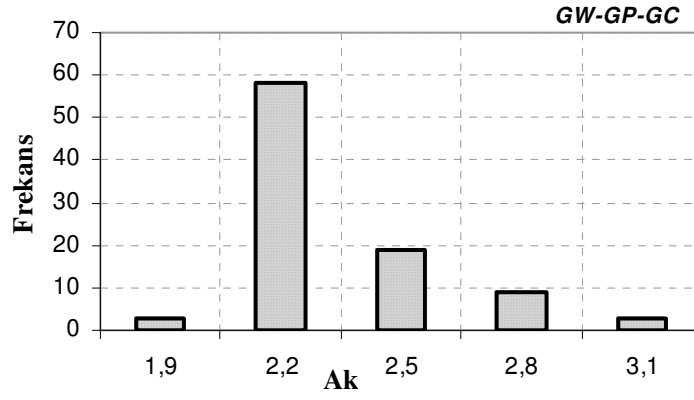
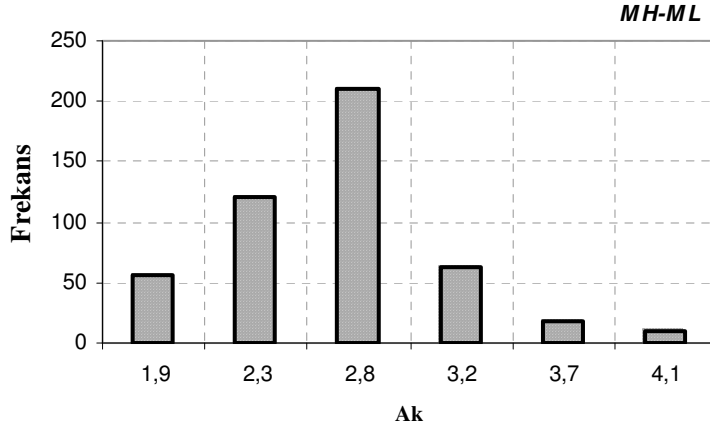


Şekil 8.3.5 Çalışma alanının To frekans histogramı

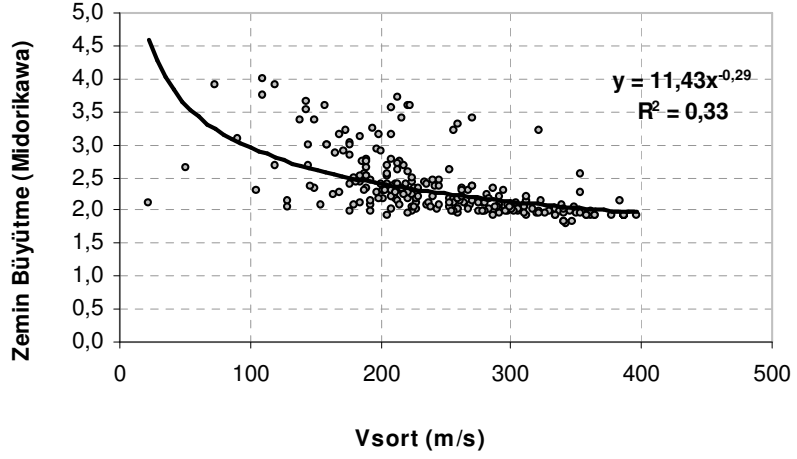
Tablo 8.3.1 SPT'e bağlı parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel sonuçları

SPT	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma	Varyans	N
Zemin Büyütme	1.8	6	2.4	0.512	0.262	794
Vs,ara (m/s)	57	398	266	74.32	5522.77	398
SPT_N	1	50	22	15.80	249.75	794
To (sn)	0.1	0.8	0.22	0.16	0.028	246

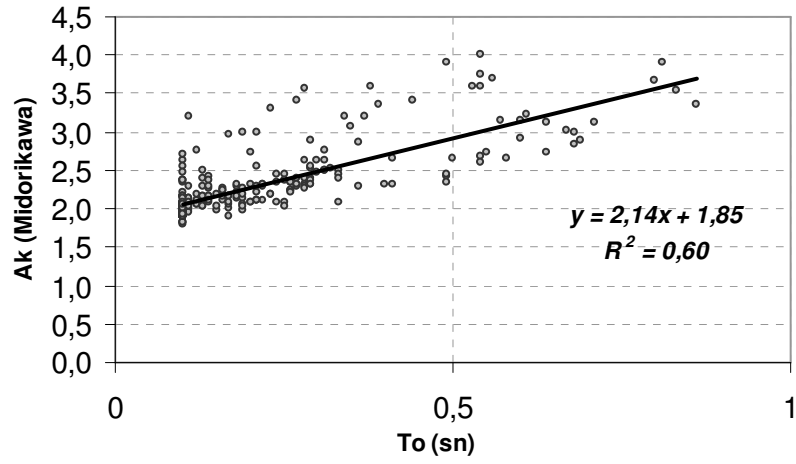
Zemin sınıflandırması değerlerine göre orta dereceli büyütme değeri veren Midorikawa (1987) [69] tarafından önerilen zemin büyütme değeri (Ak) histogramları yapıldığında, killi birimlerin (CH-CL) büyütme değerinin 1.9 - 3.0 arasında değiştiği, siltli birimler için (MH-ML) 1.9 - 4.1 arasında değerler aldığı, kumlarda ise (SW-SM-SP-SC) 1.8 - 4.9 ve çakıllı birimlerde (GC-GP-GW) 1.8 - 3.0 arasında büyütme oranı değerleri histogramlanmıştır (Şekil 8.3.6).



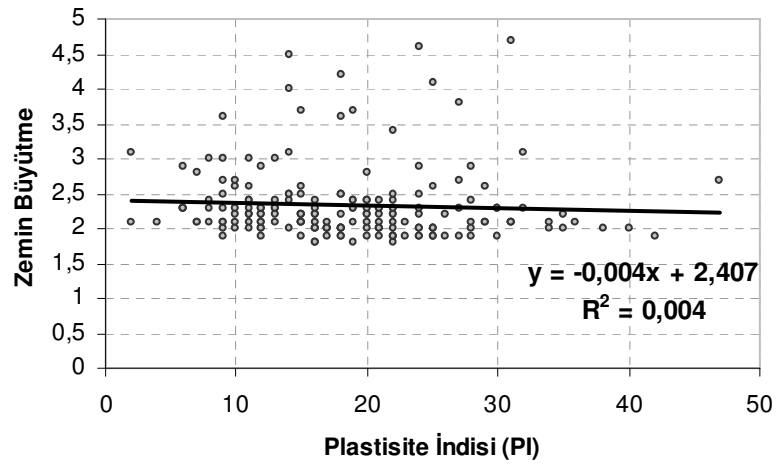
Şekil 8.3.6 Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre tanımlanan çalışma alanındaki zeminlerin dağılımı



Şekil 8.3.7 Kayma dalgası hızı (V_{sort}) -Zemin büyütme (Midorikawa) ilişkisi



Şekil 8.3.8 Zemin hakim periyodu (T_o) -Zemin büyütme ilişkisi (Ak)



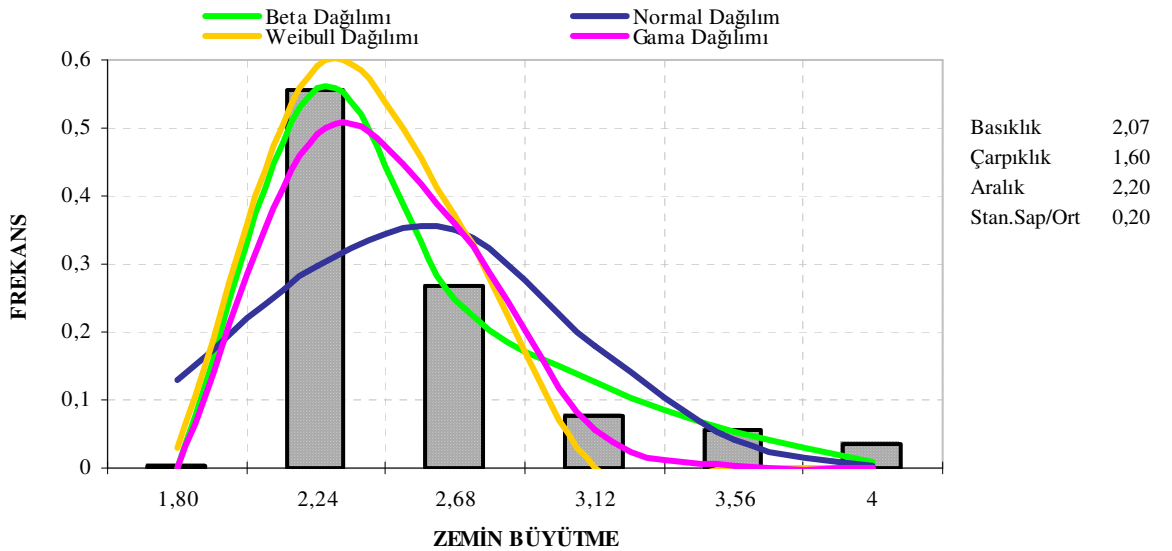
Şekil 8.3.9 Plastisite indisi - Zemin büyütme (Ak) ilişkisi

Zemin büyütme (Ak) ile ortalama kayma dalga hızı arasındaki regresyon analizine baktığımızda (Şekil 8.3.7), korelasyon katsayısının $r=0.33$ olmasına rağmen V_{sort} değerinin artan değerine karşılık zemin büyütme değerinde azalan bir eğilim söz konusudur.

Zemin büyütme (Ak) ile zemin hakim periyodu (T_0) arasındaki regresyon analizine baktığımızda (Şekil 8.3.8), korelasyon katsayısının $r=0.60$ olmasına rağmen T_0 değerinin artan değerine karşılık zemin büyütme değerinde artan bir eğilimle uyumluluk söz konusudur.

Farklı zemin türlerine ait PI- T_0 ilişkisinin doğrusal dağılım fonksiyonuna bakıldığında ise, veriler arasında bir ilişki bulunmadığı, korelasyon katsayısının $r = 0.004$ olduğu görülmüştür (Şekil 8.3.9).

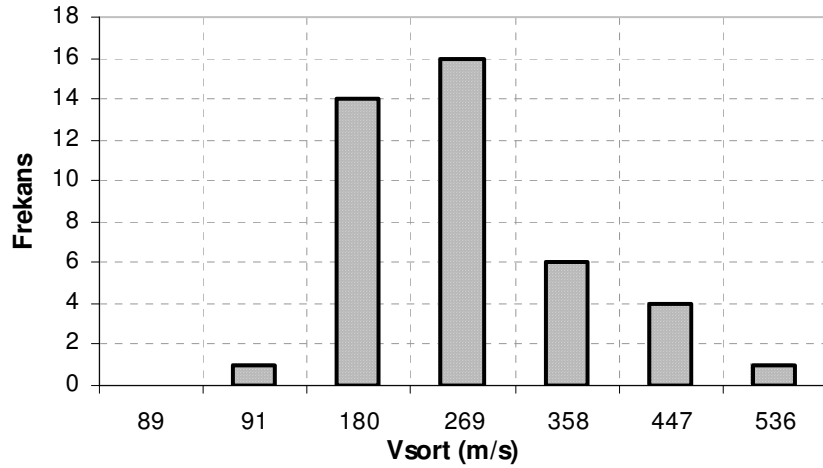
SPT verilerinin kayma dalgası hızına çevrilmesi ile elde edilen zemin büyütme oranlarının olasılık dağılımları incelendiğinde beta dağılımı gösterme eğiliminde oldukları belirlenmiştir (Şekil 8.3.10).



Şekil 8.3.10 SPT verileri için zemin büyütme frekans dağılımı

8.4 Sismik Kırılma Uygulama Noktalarındaki İstatistiksel İlişkiler

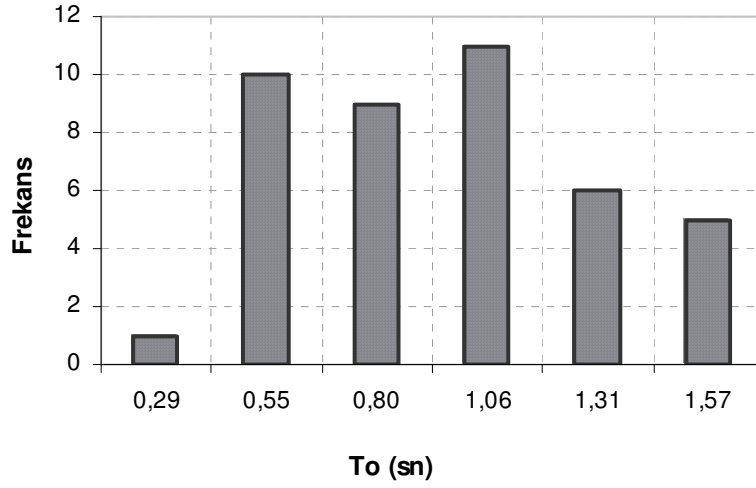
Bu bölümde 42 farklı sismik kırılma ölçülerinden elde edilen sıkışma dalga hızı (V_p) ve kayma dalga hızı (V_s) değerleri zeminin dinamik elastisite parametreleri hakkında bilgi vermektedir. Zemin ve kaya ortamlarının deformasyonu birinci derecede bu parametrelere bağlıdır. Bu elastik parametreler kayaların litolojisine bağlıdır. Yani kayaların mineral bileşimine, tane büyüklüğüne, tane dağılımına, gözenekliliğine, sıklığına, çimentolaşmasına, maruz kaldığı basınçlara ve jeolojik yaşı ile jeolojik geçmişine bağlıdır. Bu sebeple sismik hızlardan elde edilen elastik parametrelerin; poisson oranı, elastisite modülü, kayma modülü ve bulk (sıkışmazlık/incompressibility) modülününün frekans histogramları belirlenmiştir.



Şekil 8.4.1 Kayma dalgası (V_s) frekans histogramı

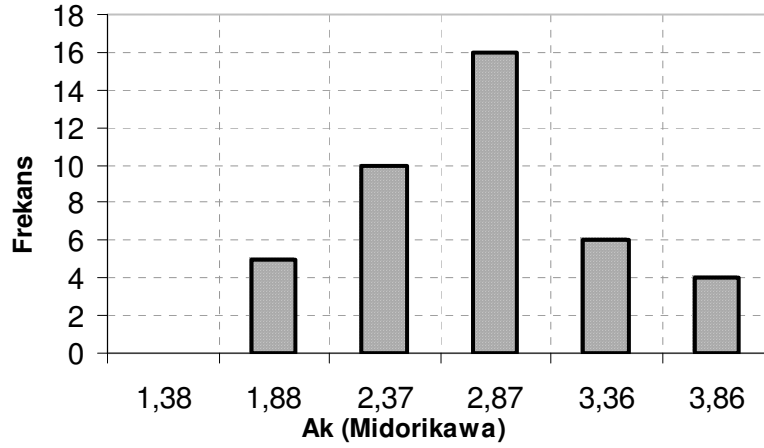
Şekil 8.4.1’de gösterilen 42 noktadan ölçülmüş V_s değerlerin iki tabakalı ortam içinde 91-536 m/s arasında değiştiği görülmüştür. V_s değerlerinin ortalaması ise 226 m/s’dir.

Şekil 8.4.2'deki histogram incelendiğinde zeminin doğal titreşim periyodunun 0.29-1.57 arasında değiştiği görülmektedir. Bu zeminlerin hakim periyodunun ortalaması 0.81'dir. Sismik kırılma profillerinin yapıldığı noktaların en belirgin özelliği yüksek T_0 değerlerinin görülmüş olmasıdır. Bunun sebebinin düşük hız değerinde derin alüvyon çökellerinin kalınlığından kaynaklandığı düşünülebilir. Ayrıca Türkiye'deki konutların çoğu $T_0 < 0.7$ s sınırları içinde bulunmaktadır. Özellikle $T_0 > 0.7$ s olan 8-10 kattan yüksek betonarme yapılar için zemin- yapı periyot etkileşimi önemlidir. Eskişehir için de yüksek hakim periyotlu değerler yüksek katlı yapılar için önem arz edecektir.



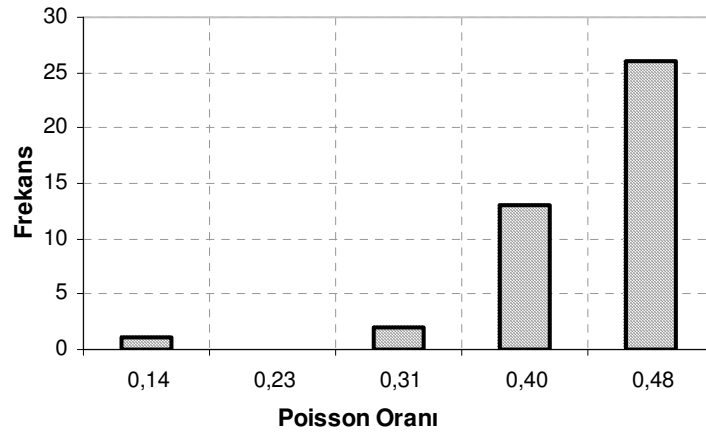
Şekil 8.4.2 Zemin hakim periyodu (T_0) frekans histogramı

Şekil 8.4.3'deki histogram zemin büyütme oranının makaslama dalgası hızından belirlenebilmesi için Midorikawa tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Makaslama dalga hızının yüzeyden itibaren 30 m' deki ortalama değeridir. Bu amaç için sığ çalışmalarda kullanılan sismik kırılma çalışmasında sığ derinliklerden elde edilen Vs hızları doğrusal ekstrapolasyon metodu ile 30 metreye ötelenerek sayısal çözümleme yapılmıştır. Elde edilen en küçük büyütme oranı 1.3; en büyük büyütme oranı 3.8 olup, aritmetik ortalaması 2.5'dur.



Şekil 8.4.3 Zemin büyütme (Midorikawa) frekans histogramı

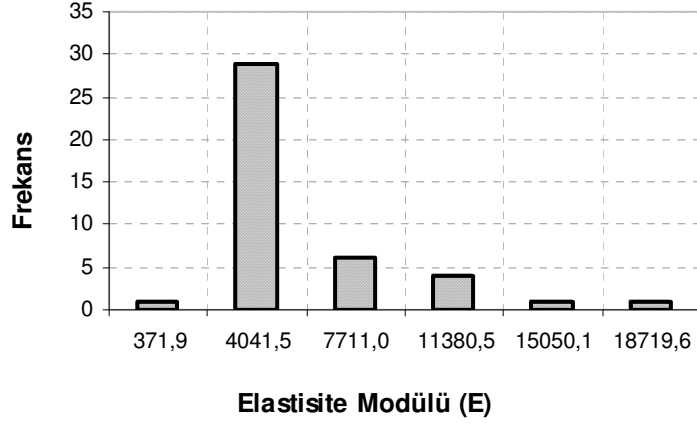
Midorikawa tarafından önerilen Şekil 8.4.4'deki poisson histogramına bakıldığında 0.14-0.48 arasında değer aldığı görülür aritmetik ortalama değeri 0.40'dır. Poisson oranı birimlerin katılığını belirler. 0-0.5 arasında değer alır. 0.5 ortamın gevşek, 0 ise çok katı olduğunu belirtir, ortalama olarak bakıldığında alüvyon birimlerle uyumlu olduğu görülmüştür. 0.48 poisson değeri alan noktalarda ise yüzey sularının etkisi önemlidir.



Şekil 8.4.4 Poisson oranı (σ) frekans histogramı

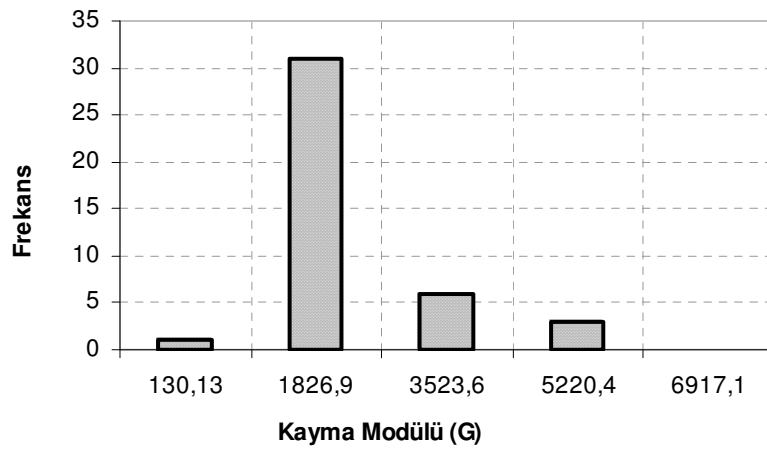
Elastisite modülü, uygulanan basınç yönünde zeminin yamulmasını tanımlar. Yapılarda zemine düşey yönde bir yük uygulandığında zeminin düşey yönde yamulmasını gösterir. Şekil 8.4.5'deki histogram çalışmasında elastisite modülünün

371.9-18719.6 kg/cm² arasında değer aldığını, ortalamasının da 3747,41 kg/cm² olduğu yapılan istatistik çalışmada görülmektedir. Çalışma alanı genel olarak yumuşak konsolide olmuş killeri ihtiva etmektedir. Elastisite değeri yüksek olan noktalar sağlam zemin olan yoğun konsolide killerdir.



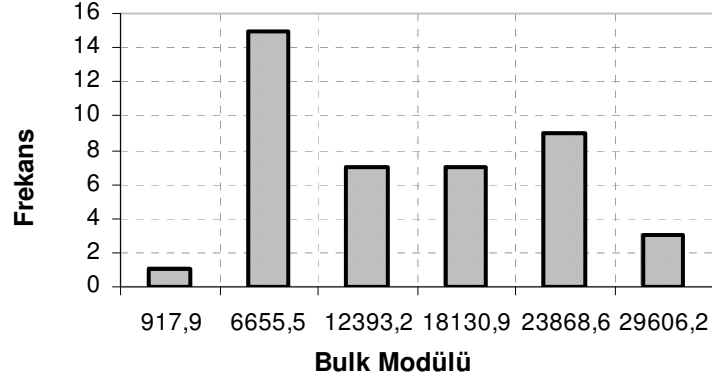
Şekil 8.4.5 Elastisite modülü (E) frekans histogramı

Kayma modülü bir kayacın yada zeminin makaslama kuvvetleri altında esneme durumunu belirtir. Sismik jeofizik deneylerin çoğu yaklaşık % 3.10^{-4} 'den daha küçük kayma birim deformasyonları oluşturduğundan yoğunluğa da bağlı olarak hesaplanabilir. Şekil 8.4.6 histogramında görüldüğü gibi Gmax değeri 130-6917 kg/cm² arasında değişmekte olup, aritmetik ortalaması 1322 kg/cm²'dir.



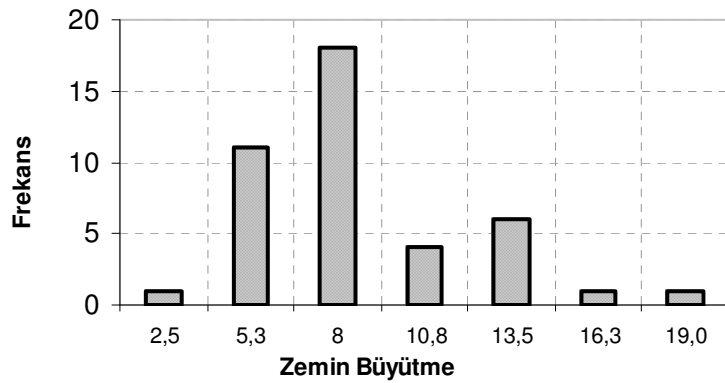
Şekil 8.4.6 Kayma modülü (Gmax) frekans histogramı

Bulk modülü çevresel basınç atındaki esnemeyi belirtir. Şekil 8.4.7'deki bulk modülü histogramına bakıldığında minimum değer 917.85 kg/cm², maksimum değer 29606.24 olduğu görülmüştür.



Şekil 8.4.7 Bulk (sıkışmazlık / incompressibility) Modülü frekans histogramı

Şekil 8.4.8'de nonlineerlik, sönüm yüzdesi ve yoğunluk farkları ihmal edilirse, bir deprem halinde yüzeydeki maksimum büyütmenin frekans histogramı görülmektedir. Bu şekle göre maksimum büyütme değeri 19, minimum büyütme değeri 2.5'dir.



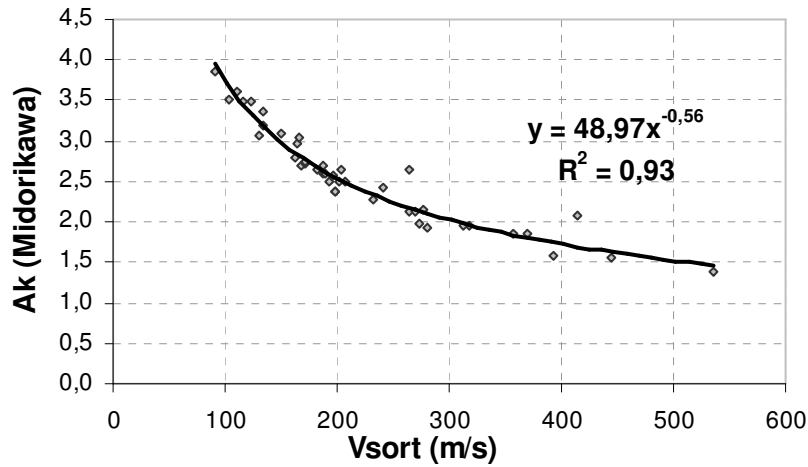
Şekil 8.4.8 Zemin büyütme (Tezcan&İpek, 1974) [91] frekans histogramı

Ölçülen makaslama dalgası (Vs) ve sıkışma dalga (Vp) hızları ve bu hızlardan hesaplanan dinamik elastisite parametrelerinin istatistiksel analizleri yapılarak yukarıda frekans histogramları elde edilmiştir. Bu parametrelerin ortalama, standart sapma, varyans, en büyük ve en düşük değerleri Tablo 8.4.1’ de özetlenmiştir.

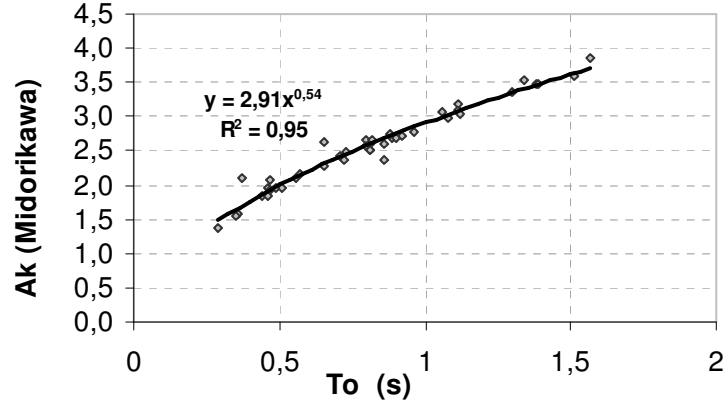
Tablo 8.4.1 Sismik kırılma ölçümlerine bağlı parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel sonuçları

Sismik Kırılma	Min	Max	Ortalama	Stand. Sapma	Varyans	N
Makaslama Hız (m/s)	91	536	226	99.65	9930.8	42
Elastisite M. (kg/cm ²)	371.9	18719.6	3747.4	3909.32	15282	42
Poisson Oranı	0.14	0.48	0.40	0.060	0.0036	42
Kayma M. (kg/cm ²)	130.1	6917.1	1322.84	1458.39	2126916	42
Bulk M. (kg/cm ²)	917.8	29606.2	12059.8	8464.8	71653805	42
Hakim Peryod (s)	0.29	1.57	0.81	0.33	0.11	42
Ak (Midorikawa)	1.39	3.86	2.5	0.59	0.35	42
A (Tezcan&İpek)	2.5	19	7.37	3.48	12.16	42

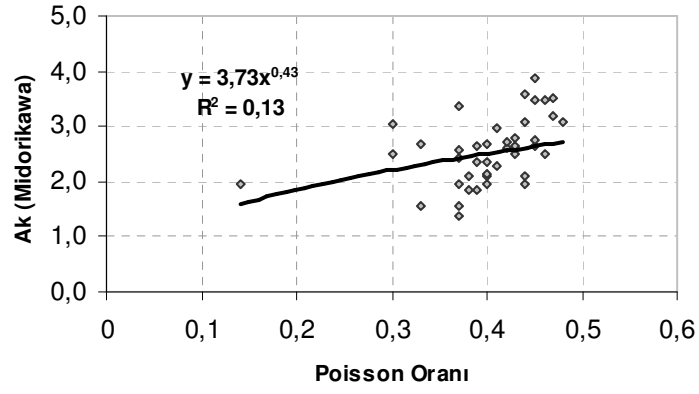
Sismik kırılma ölçümlerinden hesaplanan dinamik elastisite parametrelerinin regresyon analizlerine bakıldığında üs dağılım fonksiyonu için yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 8.4.9, 8.4.10, 8.4.12, 8.4.13). Poisson oranı, bulk modülü ile zemin büyütme oranı arasında düşük korelasyon katsayısı olduğu $r = 0.13$; $r = 0.16$ görülmüş, aralarında bir ilişki olmadığı anlaşılmıştır (Şekil 8.4.11, 8.4.14).



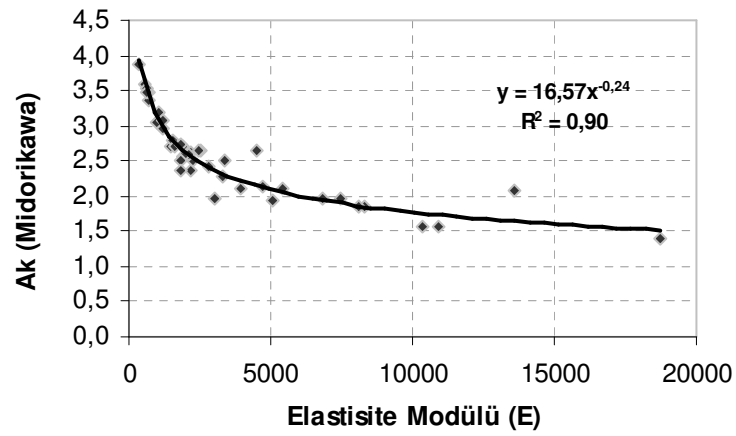
Şekil 8.4.9 Makaslama dalga hızı (Vs) - zemin büyütme (Ak) ilişkisi



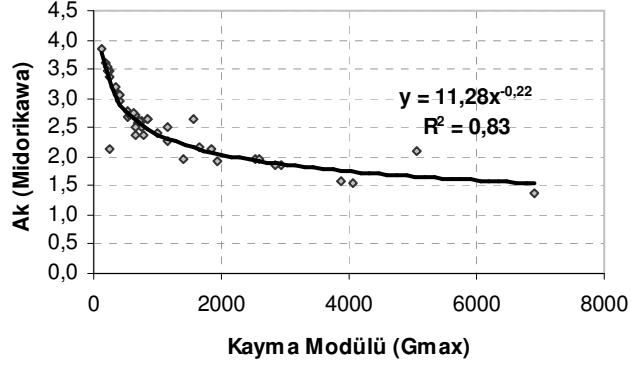
Şekil 8.4.10 Zemin hakim periyodu (To) - zemin büyütme ilişkisi (Ak)



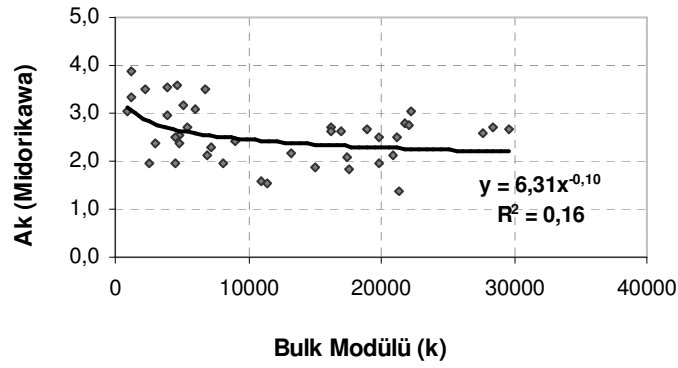
Şekil 8.4.11 Poisson oranı (σ) - Zemin büyütme ilişkisi (Ak)



Şekil 8.4.12 Elastisite modülü (E) – zemin büyütme ilişkisi (Ak)

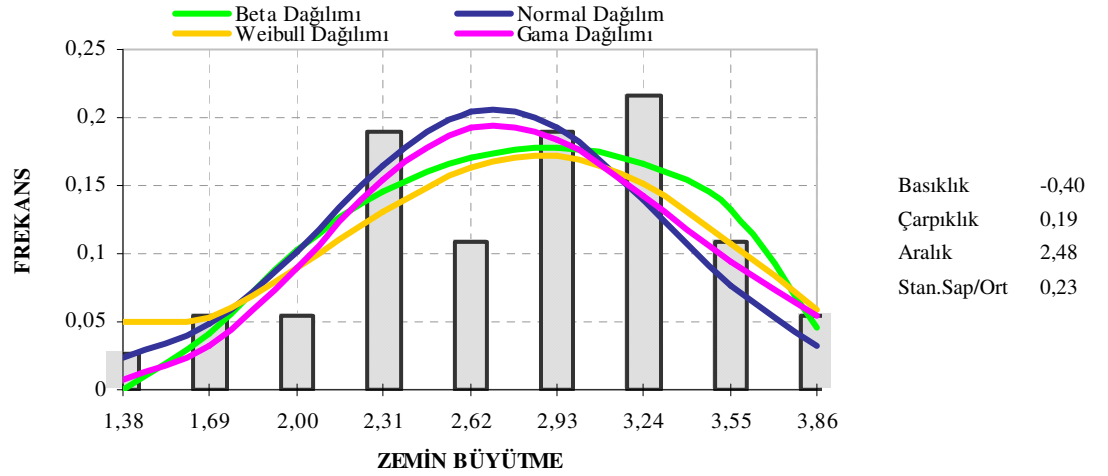


Şekil 8.4.13 Kayma modülü (Gmax) – zemin büyütme ilişkisi (Ak)



Şekil 8.4.14 Bulk (sıkışmazlık / incompressibility) modülü (k)

Sismik kırılma ölçümlerine dayanan Midorikawa tarafından önerilmiş bağıntı kullanılarak hesaplanan zemin büyütme oranlarının olasılık dağılımları Şekil 8.4.15’de verilmiştir. Bu dağılımlar incelendiğinde zemin büyütmenin normal dağılım gösterme eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.4.15 Zemin büyütme frekans dağılımları

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Çalışma alanında 32 farklı noktada 155 ayrı sismik uygulama aralığında ortalaması alınan CPT uç direnç verilerinden elde edilen; A_k 'nin killi birimlerde 0.9-5.5 aralığında, siltin egemen olduğu birimlerde 0.9-3.7 arasında, kumlu birimlerde 0.3-1.9, çakıllı birimlerde 0.3-0.9 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür. Killi ve siltli birimler yüksek büyütme değeri vermektedirler. CPT'den elde edilen q_c , R_f parametreleri kullanılarak Robertson 1986'ya göre belirlenen zemin türü değişimine bakıldığında ise, çalışma alanında hakim zemin türünün kil ve kum olduğu belirlenmiştir. Orta dereceli büyütme grubuna giren Midorikawa tarafından önerilen bağıntı kullanılarak 30 m derinlik için eşdeğer kayma dalgası hızından hesaplanan büyütme değerleri 1.9-3.1 arasında değişmektedir.

Zemin büyütmelerinin belirlenmesi için literatürde belirtilen yüzeeye yakın ilk 30 m nin kritik bir derinlik olduğunun ve açılacak sondajların ve yapılacak incelemelerin en az bu kadar derinlik için olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle Doğrusal Ekstrapolasyon metodu ile bu derinlikler 30 metreye kadar taşınmış ve 30 m derinlik için tabaka kalınlıklarının ağırlıklı ortalamaları göz önünde bulundurularak ortalama SPT-N sayısı ve ortalama makaslama dalgası hızı hesaplanmış ve bu değerler zemin büyütmesinin bir göstergesi olarak düşünülmüştür. Ancak doğrusal ekstrapolasyon analizi yapılırken kullanılan analiz programına, tabakaların heterojen özelliklerinin tanıtılabilme seçeneğinin olmaması homojen kabule göre yapılan hesapların farklı zemin büyütme değerlerine ve düşük korelasyon ilişkilerinin çıkma ihtimalini arttırmış olabilir.

Zemin sınıflandırması değerlerine göre orta dereceli büyütme değeri veren Midorikawa (1987) tarafından önerilen zemin büyütme değeri (A_k) konusunda bir değerlendirme yapıldığında, killi birimlerde (CH-CL) $A_k = 1.9 - 3.0$, siltli birimlerde (MH-ML) $A_k = 1.9 - 4.1$, kumlu birimlerde (SW-SM-SP-SC) $A_k = 1.8-4.9$, çakıllı birimlerde (GC-GP-GW) $A_k = 1.8 - 3.0$ büyütme değerleri hesaplanmıştır. Midorikawa (1987) tarafından önerilen A_k -Vs bağıntısı farklı zemin tipleri için karşılaştırılması sonucu siltli ve kumlu birimler yüksek büyütme değeri

vermektedirler. Kumlu zeminler tüm çalışma alanının %27'sini, siltli zeminler ise %34'ünü oluşturmaktadır.

Sismik kırılma uygulama noktaları için Midorikawa tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanan değerler 1.4-3.6 arasında değişmektedir.

2. SCPT'nin uygulandığı 32 farklı noktanın her birinde tüm sismik kayıt derinliği için elde edilen ortalama makaslama dalgası hızının (V_{Sort}) 103-510 m/s aralığında değiştiği belirlenmiştir. Duyarlı ince tane, organik madde, kil (1,2,3 no'lu birimlerde) $V_s= 117-237$, siltli kil, kil-killi silt, siltli kil (4,5,6 no'lu birimlerde) $V_s=103-280$ m/s, kumlu-siltli kum-killi kum (7,8,9 no'lu birimlerde) $V_s= 148-510$ m/s, çakıllı- kumlu çakıl (10,11,12 no'lu birimlerde) $V_s= 254-300$ m/s ve üzerinde hız değerleri ölçülmüştür.

Her sondaj noktasında SPT-N sayılarından derinlik boyunca literatürdeki her zemin türü için İyisan (1996), siltli, killi, kumlu birimler için Lee (1999), çakıllı birimler için Ohto ve Goto (1978) bağıntıları ile ortalama makaslama dalgası hızları hesaplanmıştır. SPT uygulama noktalarında V_s değeri olarak 57-398 m/s arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Zemin sınıflandırması değerlerine göre V_s hızı konusunda bir değerlendirme yapıldığında, killi birimlerde (CH-CL) $V_s=175-384$ m/s, siltli birimlerde (MH-ML) $V_s=105-369$ m/s, kumlu birimlerde (SW-SM-SP-SC) $V_s= 57-390$ m/s, çakıllı birimlerde (GC-GP-GW) $V_s=174-398$ m/s arasında hız değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma alanında 794 farklı derinlikten ve birimlerden elde edilen SPT-N darbe sayılarının maksimum değeri 50, minimum değeri 1 dir. SPT-N değerinin bu aralıkta çıkması eski ve yeni alüvyon ile kaya birimi olarak tanımlanan litolojik birimlerde SPT-N değerinin değiştiğini göstermektedir. Elde edilen bağıntılardan SPT-N nin yaklaşık 25 değerine kadar düşük hız değeri hesaplanmakta, yüksek SPT-N değerinde ise belirgin bir farklılaşma göze çarpmaktadır.

Eskişehir yerel zemin koşulları incelendiğinde, kayma dalgası hızı 54-635 m/s arasında değişmektedir. Bu durum bölgede farklı zemin büyütmelerinin

oluşabileceğine işaret etmektedir. İlk 5 metrede düşük hız değerleri görülmekte olup, kayma dalga hızı değerlerinde derinlik artışı ile yükselme görülmüştür.

3. Eskişehir yerel zemin koşulları incelendiğinde düşük ve orta plastisiteli killi zeminlerde düşük kayma dalgası değerinde yüksek büyütme değeri vermektedir.

4. Çalışma alanında 279 farklı noktada Sondaj uygulama noktalarından ve SCPT'den elde edilen değerleri kullanılarak çalışma alanının National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP 2000)'a göre yer sınıflaması yapılmış ve bu alanlar zemin büyütme haritası ile karşılaştırılmıştır. Buna göre çalışma alanında hakim zemin türünün D sınıfı olduğu, çalışma alanının kuzeyinde Tepebaşı Belediyesi sınırları içinde geniş bir alanda ve Porsuk Çayının kuzeyinde ve güneyinde porsuk çayına paralel bir hatta oldukça geniş alanda E sınıfının yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma alanının doğusunda yerleşim yeri dışında kalan bölgede çok sınırlıda olsa E sınıfı yer almıştır.

5. Çalışma alanında zeminin doğal titreşim periyodu (T_0) hesaplanmış ve 0.1-1.5 s arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu verilerin çalışma alanındaki jeolojik birimlerin özellikleri ile uyum sağladığı; yeni alüvyon birimlerde yüksek T_0 değeri verdiği ve topoğrafyanın yükseldiği kesimlerde eski alüvyon ve kaya birimi olarak tanımlanan birimlere doğru T_0 değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde; elde edilen bu sonuçlar dikkate alınarak aşağıdaki önerilerde bulunmuştur;

- Yer hareketi büyütme derecesi yüksek olan zeminlerin 0-7 m arasında kalan bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Genellikle silt ve kil yüzdesinin fazla olduğu zemin tabakalarında büyütme potansiyelinin var olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma alanında genç alüvyon birimi üzerinde Porsuk nehrinin kuzey - kuzeybatısı bölümü ile güneydoğusunda kalan bölge büyütme riskinin olduğu kısımlardır. Uç direncin bu bölgelerde düşük değerlerinde yüksek büyütme gözlenmiştir. Zemin büyütme değerlerinin yüksek çıkmasından dolayı, İki Eylül Caddesi, Ömerağa, Eskibağlar, Akarbaşı, Tunalı, Güllük, Yıldıztepe, Sazova, Hacıseyyit, Hoşnudiye,

Hayriye, Uluönder, Fevziçakmak, Ertuğrulgazi, Şarhöyük, Sümer, Zafer, Organize Sanayi mahalleleri sınırlarında içerisinde bulunan ve büyütme karşı zemin davranışı beklenebilecek bu alanlarda yapılaşmada daha dikkatli olunması gerektiği uygun görülmüştür.

- Parsel bazında yapılacak etütlerde siltli kumlu seviyelerin geçilmesi halinde sıkıştırılma tekniklerinin uygulanması, killi birimlerin geçilmesi halinde kilin makaslama kuvvetinin artırılmasına yönelik (kireç ve baca külü sıkıştırılması gibi) çalışmalar yapılmalıdır. Bu şekilde zemin sıkılığı arttırılarak makaslama dalga hızları yükseltilecek ve oluşacak büyütme riskli sınırın altına çekilebilecektir. Genlik büyütme azaltılması için yapılacak olan bu sıkılaştırma işlemi sonucu yer değiştirme genlikleri azalacaktır.

- Riskli alanlar içerisinde, zemin büyütme yüksek olmasının yanı sıra daha önce yapılan çalışmalarda sınılaşma riskinin yüksek olduğu alanlar tespit edilmiştir. İnşa edilebilecek yapıların temelini oluşturan yapı elemanları sınılaşmanın etkilerini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Zeminin sınılaşmaya karşı direncini arttırmak amacıyla zemin iyileştirme tekniklerinden (drenaj teknikleri, dinamik sıkıştırma, vibroflotasyon, patlatma ile sıkıştırma, sıkıştırma enjeksiyonu, taş kolonları ve sıkıştırma kazıkları, vb.) uygun olanları yapılmalıdır [95]. Bu tür riskli alanlarda öncelikle rezonans etkisi göz önünde bulundurularak az katlı yapılaşmaya gidilmesi önerilir. Çok katlı yapılaşmaya gidilmesi durumunda inşaat ve zemin iyileştirme teknikleri kullanılarak olası depreme karşı önlem alınmalıdır.

- Çalışma alanı içerisinde kaya birimi olarak tanımlanan bölgede yapılan jeoteknik ve jeofizik değerlendirmeler sonucunda, büyütme değerlerinin düşük olduğu, zemin yapısının orta sıkı – sıkı olduğu, SPT-N değerlerinin yüksek olduğu yani herhangi bir afet riski olmadığı görülmüştür.

10. KAYNAKLAR

[1] Eyidoğan, H., 2002, Mühendislik Sismolojisi, İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Böl., Ders Notları, İstanbul.

[2] Seed, H.B., Whitman, R.V., Dezfulian, H., Dobry, R., Idriss, I.M., “ Soil Conditions and Building Damage in the 1967 Caracas Earthquake”, Journal of the Soil Mechanics Foundations Division, ASCE, Vol.98, pp: 787-806,1972.

[3] Rosenblueth, E., “ The Mexican Earthquake, A Firsthand Report”, ASCE, Civil Eng., New York, pp: 38-40, January, 1986.

[4] Tezcan SS, Ipek M. Long distance effects of the March 28, 1970 Gediz Turkey earthquake. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1973;1:203–15.

[5] Field, E.H. and the SCEC Phase III Working Group, 2000, “Accounting for Site Effects in Probabilistic Seismic Hazard Analyses of Southern California: Overview of the Sceec Phase III Report”, Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 6B, pp: S1–S31, December.

[6] Idriss, I.M., “Response of Soft Soil Sites During Earthquakes”, Proc. H. Bolton Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, Vol.2, 1990.

[7] Toksöz, M. N., R. E. Reilinger, C. G. Doll, A. A. Barka, and N. Yalcin (1999). “Izmit (Turkey) earthquake of 17 August 1999”: first report, Seism. Res. Lett. 70, pp: 669–679.

[8] Lav, A., 1994, “İstanbul ve Erzincan Şehirlerinde Zemin Büyütme Etkilerine Göre Mikrobölgeleme” Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[9] Elton, D.J., Martin, J.R., “Dynamic Site Periods in Charleston, SC”, Earthquake Spectra, Vol.5, No.4, pp: 703-734,1989

[10] Hays, W.W., “Site Amplification of Earthquake Ground Motion”, Third U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Charleston, South Carolina, Vol.1, pp: 357-368, 1986

[11] Aki, K., “Local Site Effects on Strong Ground Motion”, Earthquake Engineering Structural Dynamics II, Proc. of the Speciality Conf. ASCE, June 27-30, Park City, Utah, 1970.

[12] İzmir Deprem Senaryosu, Erişim: [http:// www.izmir-bld.gov.tr/izmir-deprem/izmirrapor.htm](http://www.izmir-bld.gov.tr/izmir-deprem/izmirrapor.htm)

- [13] Shima, E. (1978) "Seismic Microzoning map of Tokyo" Proc. Second Inter. Conf. on Microzonation, (1) pp: 433-443
- [14] Midorikawa, S. (1987) "Prediction of Isoseismal Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake" Journal of Structural Dynamics, (33B) pp: 43-48
- [15] Borchardt, R.D.(1994) "Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)", Earthquake Spectra, (10) 4 pp : 617-654.
- [16] Borchardt, R.D., Wentworth,C.M., Janssen,A., Fumal,T. & Gibbs,J. (1991) "Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region", Proc. 4th Inter. Conf. On Seismic Zonation, (3) pp :545-552.
- [17] Borchardt, R.D. and Gibbs,J.F.(1976) "Effect of Local Geological Conditions in the San Francisco Bay Region on Ground Motions and the Intensities of the 1906 Earthquake", Bull. Seism. Soc. Am., (66) pp: 467-500
- [18] Ayday C., Altan, M., Nefeslioğlu, H., Canigur, A., Yerel, S. ve Tün, M., 2001, "Eskişehir Yerleşim Yerinin Yerleşim Amaçlı Jeoloji Ve Jeoteknik Etüt Raporu", Anadolu Üniversitesi, Uydu Ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.
- [19] Yalçınkaya, E., 2002, "Zemin Özelliklerinin Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi Örnekleri, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [20] ISSMFE, 1993, "Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, Published by Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- [21] Gündoğdu , O., Özçep, F., 2003, "Jeofizikte Zemin Davranışı", İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, (ders notları), sayfa: 643-697, İstanbul.
- [22] Aki, K. and Richards, P.G., 1980, Quantitative Seismology, W.H. Freeman and Co., San Francisco, California, Vol. 1, pp: 137, ISBN 0-7167-1058-7.
- [23] Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6.
- [24] Bard, P.-Y. and Bouchon, M., 1985, The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, Bull. Seism. Soc. Am. 75, pp:519-541.
- [25] Durville, J.-L., Meneroud, J.-P., Mouroux, P., and Simon, J.-M., 1985, Evaluation de l'alea sismique local Microzonage, in Genie Parasismique, V. Davidovicied., Presses des Ponts-et-Chaussees, pp: 239-264.

- [26] Roesset, J.M., 1977, "Soil Amplification In Earthquakes, Numerical Methods In Geotechnical Engineering", C.S. Desai And J.T. Christian, Eds., Mcgraw Hill, New York, Chapter 19, pp: 639-682, ISBN 0-07-016542-4
- [27] Bard, P.-Y., Campillo, M., Chavez-Garcia, F.J., and Sanchez-Sesma, F.J., 1988, A theoretical investigation of large- and small-scale amplification effect in the Mexico City valley, Earthquake Spectra, 4-3, pp: 609-633.
- [28] Yalçınkaya, E., 2004, "Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi", İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 17, S. 1, Sayfa: 47-56.
- [29] Olsen, K.B., 2000, "Site Amplification And The Los Angeles Basin From Three Dimensional Modeling of Ground Motion", Bull. Seism. Soc. Am., 90, 6B, pp: 77-94.
- [30] Kutanis, M., Elmas, M., 2005, "Yerel Zemin Şartlarının Tasarım Yer Hareketi Üzerinde Etkileri", Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, sayfa: 1208, İzmit.
- [31] Semblat, J.-F., Duval, A.-M., and Dangla, P., 2000, "Numerical Analysis Of Seismic Wave Amplification In Nice (France) And Comparisons With Experiments", Soil Dyn. And Earth. Eng., 19, pp: 347-362.
- [32] Gao, S., H. Liu, P. M. Davis, and L. Knopoff (1996). Localized amplification of seismic waves and correlation with damage due to the Northridge earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 85, pp: 209–S230.
- [33] Graves, R. W., A. Pitarka, and P. G. Somerville (1998). Ground motion amplification in the Santa Monica area: effects of shallow basin edge structure, Bull. Seism. Soc. Am. 88, pp: 1224–1242.
- [34] Liu, H.-L., and T. H. Heaton (1984). Array analysis of the ground velocities and accelerations from the 1971 San Fernando, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 74, pp: 1951–1968.
- [35] Faccioli, E., 1991. "Seismic amplification in the presence of geological and topographic irregularities", proceedings, 2nd international conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics, St. Louis, Missouri, vol., pp: 1779-1797.
- [36] Geli, L., Bard, P.Y., Jullien, B., 1988, "The Effect of Topography on Earthquake Ground Motion: A Review and New Results", Bull. Seis. Soc. Amer., Vol.78, pp: 42-63

- [37] Silva, W.J.,1989. “ Site Geometry And Global Characteristics: State Of The Art Report”, Proc. Workshop On Dynamic Soil Properties And Site Characterization, National Science Foundation And Electric Power Research Institute, Palo, California, November.
- [38] Vucetic, M., Dobry, R, 1991, “Effect Of Soil Plasticity On Cyclic Response”, Journal Of Geotechnical Engineering, ASCE. Vol.117. No.1 pp: .89-107
- [39] Seed, H.B., Idriss, I.M., 1970, “Soil Module And Damping Factors For Dynamic Response Analyses. Report No:EERC-70-10. Univ. Of California, Berkeley
- [40] Seed, H.B., Idriss, I.M., 1982, “Ground Motion And Soil Liquefaction During Earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute
- [41] Idriss, I.M., 1990, “Response Of Soft Soil Sites During Earthquakes”, H. BOLTON Seed Memeorial Symposium Proceeding, Vol.2, May, pp: 273-289
- [42] Hryciw, R.D., Rollins, K.M., Homolka, M., Shewbridge, S.E. ve Mchood, M., 1991, “Soil Amplification At Treasure Island During The Loma Prieta Earthquake”, Proc. 2nd Int. Conference On Recent Advances In Geotechnical Eartquake Engineering And Soil Dynamics, St.Louis, Missouri, Vol.2, pp: 1679-1685
- [43] Lajoie, K.R., Helley, E.J., 1975, “Differentiationof Sedimentary Deposits For The Purposes Of Seismic Zonation, Studies For Seismic Zonation Of The San Fransisco Bay Region. U.S.G.S. Paper.941-A, pp: 39-51
- [44] Finn, W.D.Liam, 1993, “Characterization Of Site Effects And Soil-Structure Interaction For Seismic Design Codes”, Seismic Soil / Stucture Interaction Seminar, Vancouver, British Columbia, May 29.
- [45] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998).
- [46] Robertson, R.K., Campanella, R.G. & Wightman, A. (1983) “SPT-CPT Correlations”, Proc. ASCE,(109)GT11 pp: 1449-1459
- [47] Ansal,A.M., 1994 “Effects of Geotechnical Factors and Behavior of Soil Layers Durin Earthquakes”, State-of-the-Art Lecture, Proc. of 10th European Conference on Earthquake Engineering, (1) pp: 467-476.
- [48] Anderson, J.G., Lee, Y., Zeng, Y. & Day, S. (1996) “Control of Strong Motion by the Upper 30 Meters” BSSA, (86) pp: 1749-1759.

[49] Stokoe, K.H., Mok., Y.J., Lee, N., Lopez, R. 1989, "In Situ Seismic Methods: Recent Advances in Testing. Understanding and Applications", Conferenze di Geotecnia di Torino XIV Ciclo, Torino Italy.

[50] Sykora, D.W., Stokoe, K.H. Correlations of In Situ Measurements in Sands of Shear Wave Velocity. Soil Characteristics and Site Conditions Geotechnical Factors, Proceedings of the Seminar on Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering, Balkema, 1993.

[51] Tezcan, S.S, and Çekirge, M.H., "Nonlinear Shear Wave Propagation İn Layered Half-Space", Bağaziçi University Journal, Civil Engineering, No. 3050, Vols.4-5, pp: 61-70, 1976-1977.

[52] Joyner, W.B., & Boore, D.M.,1981, "Peak Acceleration and Velocity from Strong Motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake", BSSA, (71) pp:2011-2038.

[53] Dowding, H.C., 1996, "Construction Vibrations", Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

[54] Tün, M., 2003, "Eskişehir Zemininin Makaslama Dalgası Hızı (Vs) Değişimine Bağlı Özelliklerinin İncelenmesi Ve Doğal Titreşim Periyodunun Bulunması", Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

[55] Azdiken, S. ve Çatalyürekli, E., 2001, "Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu", DSİ III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.

[56] Azdiken, S. ve Çatalyürekli, E., 2001, "Eskişehir Tepebaşı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu", DSİ III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.

[57] Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşcu, İ., 1992, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğüne Hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası.

[58] Altunel, E. ve Barka, A., 1998, "Eskişehir Fay Zonunun İnönü-Sultandere Arasında Neotektonik Aktivitesi", Türkiye Jeoloji Bülteni, cilt.41, no.2, sayfa: 41-52.

[59] Gözler, M.Z., Cevher, F., Küçükayman, A., 1985, "Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları", MTA Dergisi, No: 103-104, sayfa: 40-55

[60] Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 1996, Bayındırlık ve İskan .Bakanlığı, Harita Genel Komutanlığı Basımevi.

- [61] Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H., 1997, “Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Ağustos 1997.
- [62] Aydınöğlu, M.N., 1997, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, sayfa 89, Eylül 1997.
- [63] Güllü, H., 2000, “Dinar Zemin Büyütmelerine Göre Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Mikroböğeleme”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [64] İyisan, R., 1996 “Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı İle Penetrasyon Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması”, İMO Teknik Dergi, (7)2:1187-1199.
- [65] İyisan,R., Ansal,A., & Kaya,N.(1997) "Sismik ve Mikrotremor Sonuçlarının Karşılaştırılması", Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, sayfa: 96-103 ODTÜ, Ankara.
- [66] İyisan,R. & Ansal,A.M. (1998) "Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremor ile Belirlenmesi", Yedinci Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kongresi, İstanbul, (2):542-551.
- [67] Lee, S.H.H., 1990, “Regression Models Of Shear Wave Velocities”, Journal of the Chinese Institute of Engineers, V.13,No.5, pp: 519-532
- [68] Ohta,Y. & Goto,N (1978) “Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristics Soil Indices” Earthquake Eng. and Struc. Dyn., (6) pp:167-187
- [69] Midorikawa,S. (1987) “Prediction of Iseismic Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake” Journal of Structural Dynamics, (33B) pp:43-48
- [70] Joyner,W.B. & Fumal,T. (1984) "Use of Measured Shear-wave Velocity for Predictive Geological Site Effectson Strong Motion", Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engineering, (2)pp:777-783
- [71] Şekercioğlu, E., 2002, “Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi”, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:28, sayfa:44.
- [72] Luna, R. and H. Jadi, 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”, St. Louis, MO, December.
- [73] Kevin Jarvis and Rosemary Knight, 1998, “The use of the seismic cone penetrometer for near-surface VSP surveys”, University of British Columbia, SEG.

[74] Robertson, P. K., Campanella, R. G., 1984 “Guidelines for Use and Interpretation of the Electronic Cone Penetration Test”, Soil Mechanics, Series No. 69. Vancouver, Canada: University of British Columbia, Department of Civil Engineering.

[75] Campanella, R.G., Robertson, P.K., Gillespie, D., 1986, “Seismic Cone Penetration Test, Proceedings of In Situ 86”, A Specialty Conference On Use Of In Situ Tests İn Geotechnical Engineering, Blacksburg, Virginia. ASCE, New York.

[76] Robertson, P.K., 1990, “Soil Classification Using the Cone Penetration Test”, Canadian Geotechnical Journal, February, Vol. 27, No.1, pp: 151-158.

[77] Mayne, P.W. & Rix, G.J. 1995, “Correlations between Shear Wave Velocity and Cone Tip Resistance in Natural Clays”, Soils and Foundations, (35)2 pp:107-110

[78] İyisan R., Özçimen N., Ansal A., 2000, ‘Dinamik Zemin Özelliklerini Belirlemede Arazi Ölçümlerine Dayanan Korelasyonlar’, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 8. Kongresi, İTÜ, İstanbul.

[79] Kurtuluş, C., 2002, “Sismik Arama”, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yayını, İstanbul, sayfa: 70

[80] Uyanık, O., 2002, “Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir.

[81] Ulusay, R., 2001, “Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler”, 4. Baskı, sayfa.385.

[82] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O., ve Girgin, C., 2000, “Deprem ve Kurtarma İlkeleri”, Evrim Yayınevi, sayfa: 79.

[83] BSSC-Building Seismic Safety Council, “NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for new buildings and other structures”, 2000 Edition, Part 1: Provisions (FEMA 368), Ch. 4, BSSC Washington,D.C., 2001

[84] Masashi M., Wakamatsu K., Fujimoto, K., Midorikawa S., “Nationwide Site Amplification Mapping Using GIS-Based Japan Engineering Geomorphologic Classification Database”

[85] MGE Voxel Analyst (MGVA) Manual, 1994, User’s Guide, Intergraph Corporation.

[86] GeoMedia Pro 6.0 Manual, 2000, Working With GeoMedia Professional, Intergraph Corporation.

[87] Surfer 7.0 Manual, 1999, User's Guide, Intergraph Corporation.

[88] Tün, M., Avdan, U., Altan, M., Ayday, C., Azdiken, S. 2004, "NEHRP Soil Classifications in the Eskisehir Urban Area Using Seismic Cone Penetration Tests" Türkiye 16. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara, Turkey, 7-10 December 2004.

[89] http://www.enviroscan.com/html/seismic_refraction_versus_refl.html

[90] Tüysüz, N., Yaylalı, G., Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, KTÜ Matbaası, Trabzon, (2005).

[91] Tezcan, S., Durgunoğlu, T., " Jeofizik Etütlerin Zemin Büyütme Analizindeki Önemi ve Örnekler" JFMO Oda Yayınları: 14, sayfa : 43-60, 2000.

[92] Ercan, A., "Yer Mühendislik Özelliklerinin; Jeofizik Ölçümler, Jeolojik Gözlemler ve Jeoteknik Deneylerle Belirlenmesi", Yerel Yöntemlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu, Ankara, sayfa: 297-331, (2000).

[93] Mertol, A., Mertol, C., Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, sayfa: 104-105, 2002.

[94] Özçep, F., 2004, "Zemin Jeofizik Analiz", Microsoft® Excel Programı, İ.Ü. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İstanbul.

[95] Akpınar, K., 'Kaymakçı (İzmir) Beldesi Zeminlerinin Jeoteknik İncelenmesi ve Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi' Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, Denizli, Türkiye, 25-27 Mayıs, 2006

[96] Alpmen, M., 1975 'Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği İçin Uygulamalı Matematik İstatistik Yöntemleri ve Dengeleme Hesabı', İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Ders Notları, İstanbul, sayfa : 171-176

[97] Gözler, M. ve diğ., 1996, Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9973 (yayımlanmamış rapor)

