

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARAY PROJESİ KAPSAMINDA KAZILIÇEŞME SİRKECİ ARASINDA YAPILAN “PS LOG” UYGULAMALARIYLA ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DEPREM TEPKİ SPEKTURUMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeofizik Müh. Sercan ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : Jeofizik Mühendisliği

Tez Danışmanı : Yrd.Doc. Dr. Günay BEYHAN

Eylül 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARAY PROJESİ KAPSAMINDA KAZILIÇEŞME
SİRKECİ ARASINDA YAPILAN “PS LOG”
UYGULAMALARIYLA ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE DEPREM TEPKİ SPEKTURUMLARININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeofizik Müh. Sercan ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : Jeofizik Mühendisliği

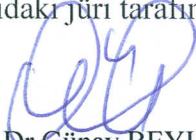
Tez Danışmanı : Yrd.Doc. Dr. Günay BEYHAN

Bu tez 20/09/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Seyhan FIRAT

Jüri Başkanı



Yrd.Doc.Dr. Günay BEYHAN

Üye



Yrd.Doç.Dr. Şefik Ramazanoğlu

Üye

TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen ve çalıőmalarımı yönlendiren tez danışmanı hocam Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN'a, çalıőtığım süre içerisinde derslere devam edebilmem ve tez çalıőmalarımı aksatmamam için gereken anlayışı gösteren ve desteğini eksik etmeyen Taisei Gama-Nurol (Marmaray Projesi) İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürü Sayın Gökhan GÖKER'e, STFA Temel Araştırma ve Sondaj Genel Müdürü Sayın Fazıl Kıran'a, sevgili eőim İlkey KIRAN ÖZTÖRK ve yardımlarını esirgemeyen diğer arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	1
1.1. PS logu yöntemi	3
1.2. EERA (Equivalent – Linear Earthquake Response Analysis) Algoritması..	4
1.2.1.EERA algoritmasının kullanılması	6
BÖLÜM 2.DEPREM YER TEPKİSİ	10
2.1. Kuvvetli yer hareketleri ve buna bağlı parametreler	10
2.2. Yer değiştirme, ivme, şiddet, partikül hızı, tasarım ve tepki spektrumu kavramları.....	10
2.3. Zemin büyütmesinin yerel jeolojik ve jeoteknik yapıyla ilişkileri	16
2.4. Depremde zemin etkisinin önemi	17
2.5. Zemin davranışları.....	18
2.5.1. Doğrusal zemin davranışı	18
2.6. Depremde yer etkisinin bulunmasına yönelik yöntemler	19
2.6.1.Yatay bileşen spektrum değerlerinin rölatif olarak düşey bileşen spektrum değerlerine oranı yöntemi (Nakamura yöntemi).....	20

2.6.2. Spektral oran yöntemi	21
BÖLÜM 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE MODEL	22
3.1. Çalışmada kullanılan yöntem ve materyaller	22
3.1.1. Tek tabaka problemi	22
3.1.2. Çok tabaka problemi	26
3.1.3. Eşdeğer doğrusal analiz	28
3.2. Kayma modülü-sönüm oranı eğrilerinin tanımı	30
BÖLÜM 4. PS LOGU ÖLÇÜ NOKTALARI İÇİN UYGULAMA	32
4.1. Güzergah boyunca yapılan ölçüm noktalarının jeolojisi	32
4.1.1. Bakırköy formasyonu	32
4.1.2. Güngören formasyonu	32
4.1.3. Çukurçeşme formasyonu	32
4.1.4 Tuzla formasyonu	33
4.1.5 Baltalimanı formasyonu.....	33
4.1.6. Trakya formasyonu	33
4.3. PS logu arazi verileri	36
4.4. Fourier ve tasarım spektrumları.....	37
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	64
ÖZGEÇMİŞ	71
EKLER.....	72
Ek A. Çalışmada kullanılan sondaj logları	72
1. BH 107 sondaj noktası.....	72
2. BH 119 sondaj noktası.....	76
3. BH 123 sondaj noktası.....	80

4. BH 126 sondaj noktası.....	84
5. BH 130A sondaj noktası.....	88
6. BH 134A sondaj noktası.....	93
7. BH 146 sondaj noktası.....	96
Ek B. EERA programında hesaplanan yerdeğiştirme ve partikül hız sonuçları.....	99
1. BH 107 sondaj noktası.....	99
2. BH 119 sondaj noktası.....	100
3. BH 123 sondaj noktası.....	101
4. BH 126 sondaj noktası.....	102
5. 130A sondaj noktası	103
6. 134A sondaj noktası	104
7. 146 sondaj noktası	105
Ek C. Kuyulara Göre ps log çalışmasında elde edilen hızlar	106
1. BH 107 P ve S dalga hızları	106
2. BH 119 P ve S dalga hızları	108
3. BH 123 P ve S dalga hızları	110
4. BH 126 P ve S dalga hızları	112
5. BH 130A P ve S dalga hızları	114
6. BH 134A P ve S dalga hızları	116
7. BH 146 P ve S dalga hızları	118

SİMGELER VE KISALTMALAR

EERA	: Equivalent – linear earthquake response analysis
FFT	: Fast Fourier Transform
KSO	: Klasik spektral oran
YDSO	: Yatay düşey spektral oran
PGA	: Peak ground acceleration (Pik zemin ivmesi)
IST	: İstanbul deprem istasyonu
SPT	: Standard penetrasyon testi
BH	: Borehole (kuyu)
RQD	: Rock quality destination
TCR	: Total core recovery
SCR	: Solid core recovery
DLH	: Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaat Genel Müdürlüğü
MSK	: Medvedev - Sponheur ve Karnik
MM	: Modified Mercalli

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 PS log sistemi (OYO 2005).....	3
Şekil 1.2 EERA algoritmasının akış diyagramı.....	6
Şekil 1.3 Deprem girdisinin Ana kaya, Mostra, serbest yüzey (zemin) ve gelmekte olan hareket ile ilişkileri (Bardet ve diğ., 2000).....	7
Şekil 1.4 EERA algoritmasının deprem kaydı bölümü (Bardet ve diğ., 2000).....	8
Şekil 1.5 EERA algoritmasının zemin profil bölümü (Bardet ve diğ., 2000).....	8
Şekil 1.6 EERA algoritmasının genlik oranı bölümü (Bardet ve diğ., 2000).....	9
Şekil 1.7 EERA algoritmasının tepki spektrumu bölümü (Bardet ve diğ., 2000).....	9
Şekil 2.1 İvmenin uzaklığa göre değişimi (üstte) ve yatay ivmenin uzaklığa göre değişimi (altta) Ercan 2001.	11
Şekil 2.2 1999 Kocaeli – Gölçük Depremi'nin kuzey güney yöndeki bileşenine ait ivme, hız, yer değiştirme hareketlerinin İstanbul Merkez Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü (41.05820N-29.00951E) istasyon kaydı.....	12
Şekil 2.3 İvme, partikül hızı ve yer değiştirmenin zaman ve genlik spektrumu ortamında görünüşü (Ambraseys 1995).....	13
Şekil 2.4 1998 Yönetmeliği Zemin Sınıflaması (Aydınöglü, 1998).....	14
Şekil 2.5 Tekrarlı kayma deformasyonu içindeki zeminin tipik gerilme-deformasyon ilişkisi. Başlangıç yükleme eğrisi (kesikli çizgi) hiperbolik bir şekle sahiptir. Takip eden boşaltma ve yeniden yükleme fazları bir histerizis yol izler (Beresnev ve Wen,1996).....	18
Şekil 3.1 Snell yasasına göre dalgaların yansıma ve kırılması.....	22
Şekil 3.2 Sonsuz derinliğe sahip elastik kaya tabakası üzerinde yer alan H kalınlığına sahip homojen zemin tabakası (s: zemin tabakası indisi, r: kaya indisi).....	23
Şekil 3.3 Bir boyutlu tabakalanmış zemin sistemi (Kramer, 1996)	27
Şekil 3.4 Çevrimsel yüklemelerde secant kayma modülü, Gsec ve tanjant kayma modülü, Gtan (Kramer, 1996).....	28

Şekil 3.5 Eşdeğer doğrusal analizde kayma deformasyonuna bağlı olarak sönüm oranı ve kayma modülünün iterasyonu (Kramer, 1996)	30
Şekil 3.6 EERA programı içinde yer alan kayma (kesme) modülü- sönüm oranı eğrileri: (a) Kil için (Seed ve Sun, 1989), (b) kum için (Seed ve Idriss, 1970, Idriss, 1990), (c) kaya için.	31
Şekil 4.1 İstanbul jeoloji haritası ve Marmaray Projesi güzergahı	35
Şekil 4.2 Proje güzergahının Avrupa Yakası'nda yapılan sondaj noktaları, PS log uygulanan kuyular ve formasyonlar gösterilmektedir.....	36
Şekil 4.3 Tablo 4.2'ye göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	38
Şekil 4.4 BH 107 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)	39
Şekil 4.5 BH 107 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	40
Şekil 4.6 Tablo 4.3 göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	42
Şekil 4.7 BH 119 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta).....	43
Şekil 4.8 BH 119 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	44
Şekil 4.9 Tablo 4.4'e göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	46
Şekil 4.10 BH 123 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)	47
Şekil 4.11 BH 123 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	48
Şekil 4.12. Tablo 4.5'e göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	50
Şekil 4.13. BH 126 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)	51
Şekil 4.14. BH 126 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	52

Şekil 4.15. Tablo 4.6'ya göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	54
Şekil 4.16. BH 130A sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)	55
Şekil 4.17. BH 130A sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	56
Şekil 4.18. Tablo 4.8'e göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	58
Şekil 4.19 BH 134A sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)	59
Şekil 4.20. BH 134A sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	60
Şekil 4.21 Tablo 4.9'a göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)	61
Şekil 4.22 BH 146 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)	62
Şekil 4.23 BH 146 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.	63
Şekil 5.1. Sondaj noktalarındaki maksimum ivme.....	66
Şekil 5.2. Sondaj noktalarındaki maksimum yer değiştirme.....	66
Şekil 5.3. Sondaj noktalarındaki maksimum partikül hızı	67
Şekil B1. BH 107 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	99
Şekil B2. BH 119 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	100
Şekil B3. BH 123 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	101
Şekil B4. BH 126 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	102
Şekil B5. BH 130A sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	103
Şekil B6. BH 134A sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	104

Şekil B7. BH 146 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi	105
Şekil C1. BH 107 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	108
Şekil C2. BH 107 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	108
Şekil C3. BH 119 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	110
Şekil C4. BH 119 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	110
Şekil C5. BH 123 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	112
Şekil C6. BH 123 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	112
Şekil C7. BH 126 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	114
Şekil C8. BH 126 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği...	114
Şekil C9. BH 130A sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.....	116
Şekil C10. BH 130A sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.....	116
Şekil C11. BH 134A sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.....	118
Şekil C12. BH 134A sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.....	118
Şekil C13. BH 146 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.....	120
Şekil C14. BH 146 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.....	120

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1 PS log uygulanan kuyu yerleri ve test derinlikleri (STFA Temel Araştırma Sondaj AŞ 2005).....	2
Tablo 2. 11998 Afet Yönetmeliği Yerel Zemin Sınıfları verilmektedir.	15
Tablo 2. 21998 yönetmeliğine göre zemin sınıflaması gösterilmektedir.....	16
Tablo 2. 3Yüzey Jeolojisi ve Şiddet Artımı Arasındaki İlişkiler (Medvedev, 1962)	17
Tablo 4.1 Delme tünel boyunca zemin durumu (Şennazlı N. , Şimşek O. ,Biberoğlu S. , Olgunöz Ö. 2005 yayınlanmamış)	34
Tablo 4.2 BH 107 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	37
Tablo 4.3 BH 119 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	41
Tablo 4.4 BH 123 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	45
Tablo 4.5 BH 126 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	49
Tablo 4.6 BH 130A sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	53
Tablo 4.7 BH 134A sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	57
Tablo 4.8 BH 146 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler	61
Tablo 5.1. Sondaj noktalarında hesaplanan maksimum değerler.....	65

ÖZET

Anahtar kelimeler: PS logging, Marmaray, deprem tepki spektrumu, ivme, EERA.

Marmaray Projesi, İstanbul'un kentsel yaşantısını sağlıklı olarak sürdürebilmesi, kentlilere çağdaş bir kent yaşamı ve kentsel ulaşım imkânları sunabilmesi, kentin doğal tarihi özelliklerinin korunabilmesi için yüksek kapasiteli elektrik enerjisi kullanarak çevreyi kirletmeyen bir proje olarak dünyadaki en önemli projelerden biridir. Avrupa Yakası'nda bulunan Halkalı ile Asya yakasında bulunan Gebze ilçelerini kesintisiz, modern ve yüksek kapasiteli bir banliyö demiryolu sistemiyle bağlamak amacıyla İstanbul'daki banliyö demiryolu sisteminin iyileştirilmesi ve demiryolu boğaz tüp geçişi inşasına dayalı 76 km'lik bir projedir. Ana yapılar ve sistemler, batırma tüp tünel, delme tüneller, aç-kapa tüneller, hemzemin yapılar, 3 yeni yeraltı istasyonu, 36 yerüstü istasyonu (yenileme ve iyileştirme), işletim kontrol merkezi, sahalar, atölyeler, bakım tesisleri, yerüstüne inşa edilecek olan yeni bir üçüncü hat dahil olmak üzere, mevcut hatların iyileştirilmesi, tamamen yeni elektrikli ve mekanik sistemler ve temin edilecek olan modern demiryolu araçlarını kapsayacaktır. Bu çalışmada, projenin Avrupa Yakası'nı kapsayan (Kazlıçeşme Sarayburnu arası) güzergâh boyunca, derinlikleri 43m ile 65,5m arasında değişen 7 farklı sondaj noktasından elde edilen PS loglarından ve laboratuvar sonuçlarından tabakalardaki ortalama S dalgası hızı, P dalgası hızı, kalınlık, yoğunluk ve formasyon bilgileri elde edilmiştir. Kocaeli – Gölçük depreminin İstanbul Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü'ne ait kaydına göre EERA (Equivalent-Linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits) programında yorumlanan bu veriler sonucunda, olası deprem riski için tepki spektrumları elde edilmiştir.

PS LOG MEASUREMENT OF SOIL PROPERTIES AND APPLICATIONS REVIEW OF EARTHQUAKE RESPONSE SPECTRA IN MARMARAY PROJECT BETWEEN KAZLIÇEŞME TO SİRKECİ

SUMMARY

Key Words: PS logging, Marmaray, earthquake response spectra, acceleration, EERA

Marmaray Project is one of the most important projects in the world Istanbul maintain healthy urban life, urban contemporary urban life and presentation of urban transport facilities, the city's historic properties to preserve the natural environment using high-polluting electric power capacity of a project. Ring in the districts of Gebze on the Asian side on the European side with an uninterrupted, modern, high-capacity commuter rail system in Istanbul in order to connect the commuter rail system is based on the improvement and construction of Bosphorus crossing under the sea. The project is currently one of the world's largest transportation infrastructure projects. Improved and all of the new railway system, will be approximately 76 km long. Main structures and systems, the immersed tube tunnel, bored tunnels, cut-and-cover tunnels, at-grade structures, three new underground stations, 36 surface stations (renovation and upgrading), operation control center, the fields, workshops, maintenance facilities, which will be built above ground, the new a third line, including the improvement of existing tracks, completely new electrical and mechanical systems and procurement of modern railway vehicles which will be covered. In this paper, using average wave velocities in layers, thickness, density and formation data based on the PS logs, 43 m and 65.5 m depths ranging from 7 different boring logs in a ground-wise different geological regions in Istanbul, ground response functions were obtained. Based on the soil profiles transferred to EERA (Equivalent -Linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits) software, the rock soil record of Kocaeli - Gölçük earthquake in İstanbul - Ministry of Public Works and Settlement, response and design spectrums that may be considered crucial in case of an earthquake were obtained.

BÖLÜM 1.GİRİŞ

Depremde oluşan sismik elastik dalgalar yer yüzüne yakın kesimlerde yol alırken zemin koşullarının bağlı olarak dalgaların genliklerinde meydana gelen değişimler, sismolojik çalışmalar kadar depreme dayanıklı yapı tasarımında da oldukça önem arz etmektedir. Yerleşime uygunluk ve yapı yönetmelikleri çalışmalarının mutlaka yerel zemin koşulları göz önünde bulundurularak yapılması gerekir.

Bu çalışmanın amacı, serbest zemin ortamında inşa edilmesi planlanan yapılara gelecek en büyük yatay ivme, ivme tasarım spektrumu değeri ile zeminin hakim periyot değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplamalar sırasında, çalışma alanına yakın kesimlerdeki ivme kayıtları değerleri ile bunlardan elde edilen tanecik hızı ve yer değiştirme değerlerinin zemin özelliklerine bağlı olarak bulunması en temel amacı oluşturmaktadır.

Kuzey Anadolu Fayı'nın depremselliğine bağlı olarak meydana gelen 17 Ağustos 1999 Kocaeli – Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri sonucu büyük can ve mal kaybının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum, ülkemizdeki sismolojik ve deprem mühendisliği alanındaki araştırmaların önemini artırmış ve BİB-Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan yeni bir deprem yönetmeliğini çıkarılmasını zorunlu kılmıştır. Böylece ülkemizin gözbebeği olan İstanbul ve civarındaki zemin araştırmalarına yönelik çalışmalarda hızlanmıştır. Özellikle, artçı şok deprem kayıtlarından zeminlerin tepkisi alanında (Cranswick ve diğ. (2000); Ergin ve diğ. (2000) ve Özel ve diğ. (2002), kayma dalgası alanında Tezcan ve diğ. (2000) ve zemin büyütme fonksiyonlarının elde edilmesi konusunda da (Yalçınkaya (2002); Kudo ve diğ. (2000)) çok sayıda çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada Marmaray Projesi Avrupa Yakası güzergâhı boyunca yapılmış olan, derinlikleri 43m ile 65,5m arasında değişen 7 sondaj noktasında uygulanan PS log ve sondaj verileri kullanılarak zemin – yapı tepkisi hesaplanmıştır.

PS log çalışmalarında ölçüm aralıkları S dalgası için 20 -100 mikrosaniye, P dalgası için 10 -50 mikrosaniye arasında alınmıştır. Örnekleme aralıkları ise 1 m olarak seçilmiştir. Tablo 1.1’de kuyu yerleri ve test derinlikleri verilmiştir.

Tablo 1.1 PS log uygulanan kuyu yerleri ve test derinlikleri (STFA Temel Araştırma Sondaj AŞ 2005)

YER	KUYU NUMARASI	TEST DERİNLİĞİ(m)
Kazlıçeşme – Yedikule (Km:0+300 – 1+200)	BH 107	58,0
Kazlıçeşme – Yedikule (Km:0+300 – 1+200)	BH 119	65,5
Yedikule – Yenikapı Tünel (Km:1+200 – 3+330)	BH 123	64,5
Yenikapı TCDD İstasyon (Km:3+330 - 3+695)	BH 126	59,5
Yedikule – Yenikapı Tünel (Km:1+200 – 3+330)	BH 130A	43,0
Yenikapı – Batı Aç Kapa Tünel (Km:3+695 – 4+080)	BH 134A	46,0
Sirkeci İstasyon (Km:6+225 – 6+470)	BH 146	52,0

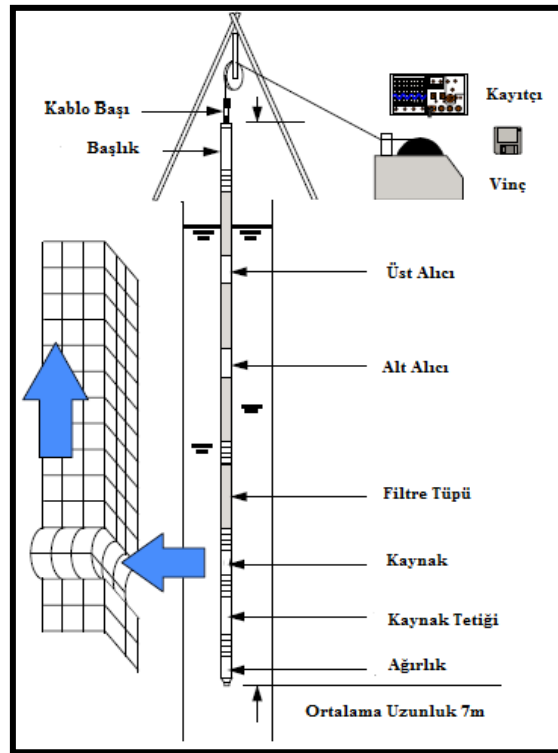
Elde edilen laboratuvar ve arazi çalışmalarına göre; en büyük yer değiştirme değeri 2,1 cm ile BH 123 sondaj noktasında, en büyük partikül hızı 7,93 cm/sn ile BH 130A sondaj noktasında, en büyük tasarım ivme spektrumu 2,4’lük değerle BH 107 ve BH 134 A sondaj noktalarında gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen hakim periyot değerlerine göre de zemin sınıfı bütün kuyularda Z3 olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın içeriğinde deprem yer tepkisi ve zemin ilişkileri, şiddet, ivme, partikül hızı, yer değiştirme, tepki ve tasarım spektrumu kavramları, depremde yer tepkisinin önemi, yer tepkisinin bulunmasına yönelik yöntemler ve kuramsal modelleme yöntemleri gibi konulara yer verilmiş. Devamında çalışmada kullanılan yöntem ve

model testleri anlatılmıştır. Marmaray Projesi Avrupa Yakası güzergâhı boyunca PS logu ölçü noktaları için uygulamalar anlatılarak ölçüm noktaları çevresinin jeolojisi, PS logu verilerinin tanıtımı, Fourier ve tasarım spektrumları gibi konulara yer verilmiştir. Ayrıca ekler kısmında da kuyularda elde edilen sismik hızların ayrıntılı bilgisi yer almaktadır. Sonuç olarak hesaplanan maksimum ivme tasarım spektrumu değerleri ve hakim periyotlar, zaman ortamındaki maksimum ivme, partikül hızı ve yer değiştirmeler karşılaştırılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

1.1.PS logu yöntemi

Bu yöntem sondaj kuyusu içinde P ve S dalga hızlarının derinlikle değişimini ölçmek ve istenilen derinlikteki sismik hızı belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 1.1’de PS log sistemi görülmektedir.



Şekil 1.1 PS log sistemi (OYO 2005)

Sonik logu ölçmek için iki çift alıcı kullanılır. İki vericiden biri üstte diğeri alttadır. Vericilerden birinden çıkan sinyal iki alıcıya gider ve alet iki alıcıya geliş zamanı arasındaki farkı ölçer. Ölçme önce bir verici ile iki alıcı kullanarak yapılır.

Arkasından diğ er verici ile diğ er iki alıcı kullanarak yapılması ve iki zaman farkının ortalamasının alınmasıyla kuyu etkisi giderilir (Ergin, 1981).

Bu çalışmada kullanılan PS log verileri süspansiyon tipi PS log aleti (Süspension PS Logger) ile elde edilmiştir. Bu sistemde aşağı-yukarı ve çapraz kuyu log tekniğ i kullanılmaktadır. Aş ağı-yukarı kuyu logu tekniğ inde, alıcı verici arası mesafe değ iş ebilir. Hem P hem de S hızını ölçmek için kullanılır. Kaynak ve alıcı sistemi tek bir sonda içerisinde kısa mesafeler içerisinde toplanmıştır. Bundan dolayı hız farklılıkları devamlı bir şekilde ölçülmektedir. Çalışmada iki kanallı ve kuyu yukarı olarak süspansiyon sondasıyla kullanılan alet 16 bit'lik yüksek çözünürlük sağlamaktadır. Frekans aralığ ı 60 ile 10 KHz, 12, 24, 36, 48 dB ses bandına sahip, örnekleme aralığ ı 2.5, 3, 10, 20, 50, 100, 200 milisaniye, yaklaşık 100 ile 1000 m civarında nüfuz derinliğ ine sahip, veri uzunluğ u 1024, 2048 kelime, tetikleme süresi 1 ile 9 milisaniye arasındadır (OYO, 2005)

1.2.EERA (Equivalent – Linear Earthquake Response Analysis) algoritması

SHAKE programındaki benzer kabuller kullanılarak Fortran 90 ile EERA programı geliştirilmiştir. Excel uygulaması olan bu program deprem tepki analizinde kullanılan modern bir yazılımdır.

Programda içerik olarak Kelvin – Voigt modeli yer almaktadır. Bu modelde zeminin bir yay olarak, tabakaların ise deprem dalgalarını soğ uran bir amortisör gibi davrandığı kabul edilmektedir. Kayma gerilmesi τ , şek il değ iş tirme γ ve şek il değ iş tirme hızına $\dot{\gamma}$ bağı lı olarak;

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada G kayma modülünü, η viskoziteyi ifade etmektedir.

Kayma gerilmesi ve hızı yatay mesafede z ve zamana t indisiyle bağı lı olarak;

$$\gamma = \frac{\partial u(z,t)}{\partial x} \quad \dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial x \partial t} \quad (1.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Zemin tabakalarının makaslama (kayma) deformasyonu yapacağı varsayıldığından analizler bu varsayım üzerinde yapılmaktadır. Hareketli olan bir elastik malzemede kayma gerilmelerinin artması, ters yönde de bu kuvvetlerin artmasına neden olacaktır. Bu durumu matematiksel olarak ifade edebilmek için bir diferansiyel hareket denklemi kurulmuş ve yer değiştirmenin fonksiyonlarla ifadesi elde edilmiştir.

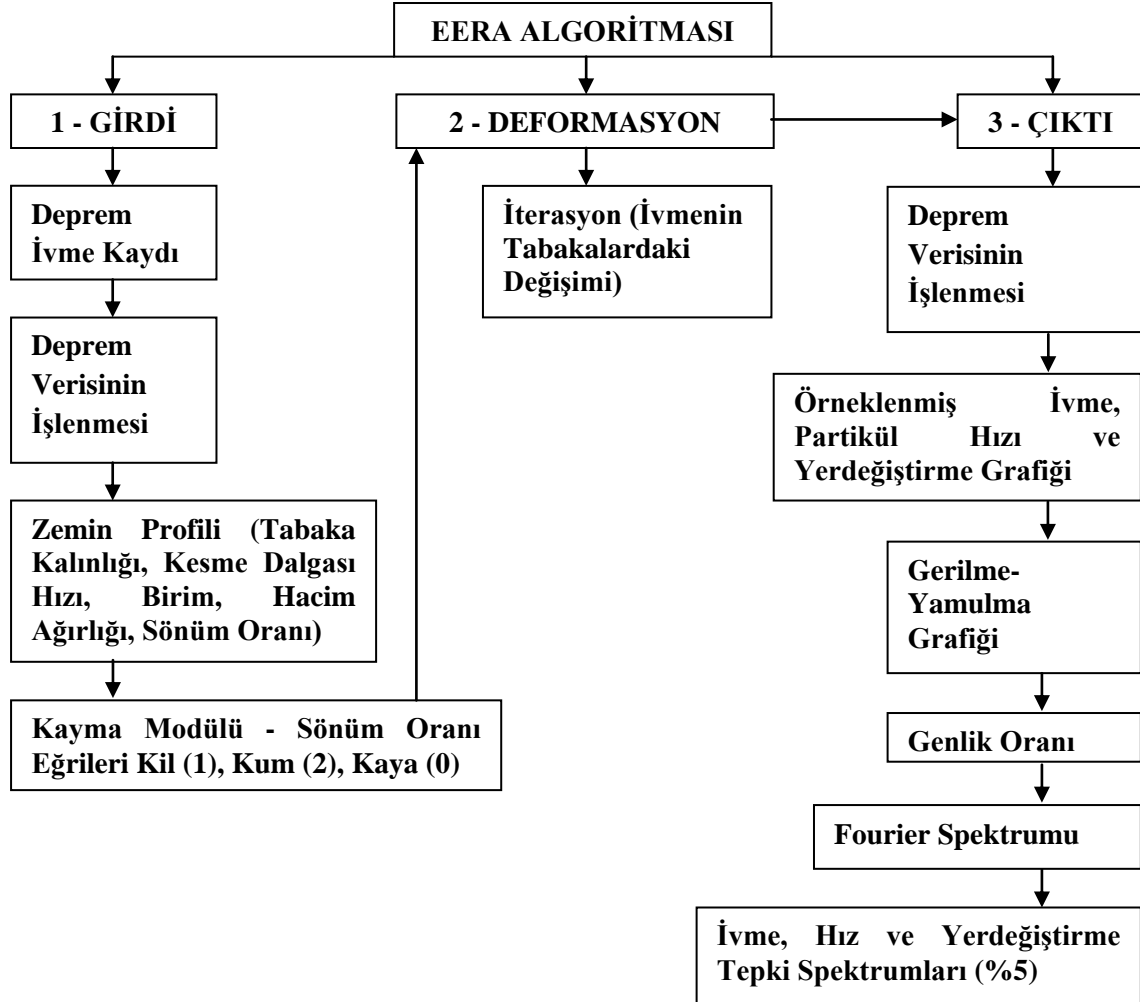
İki tabaka arasındaki transfer fonksiyonu birbirlerine göre yer değiştirmelerin oranı şeklinde ifade edilmektedir. Zaman ortamında elde edilen bu veri Fourier Dönüşümü ile frekans ortamına aktarılır. Bu dönüşüm transfer fonksiyonu ile çarpılarak kaydın Fourier dönüşümü elde edilir.

Zemin davranış hesabı yapılırken tüm deprem süresi için elastik analiz yapılmalıdır. Başlangıç hesaplarında her tabaka için verimli olarak deformasyon hesabı yapılmalıdır. Bunun için R_y olarak ifade edilen deprem büyüklüğüne bağlı olarak değişen bu katsayı maksimum deformasyon değeriyle çarpılarak şekil değiştirme bulunur.

EERA programı içeriğinde tanımlanan zemin özelliklerinden biri de kayma ve sönüm şekil değiştirme ilişkisiydi.

1.2.1. EERA algoritmasının kullanılması

Şekil 1.2’de EERA algoritmasının işlem aşamaları gösterilmektedir.



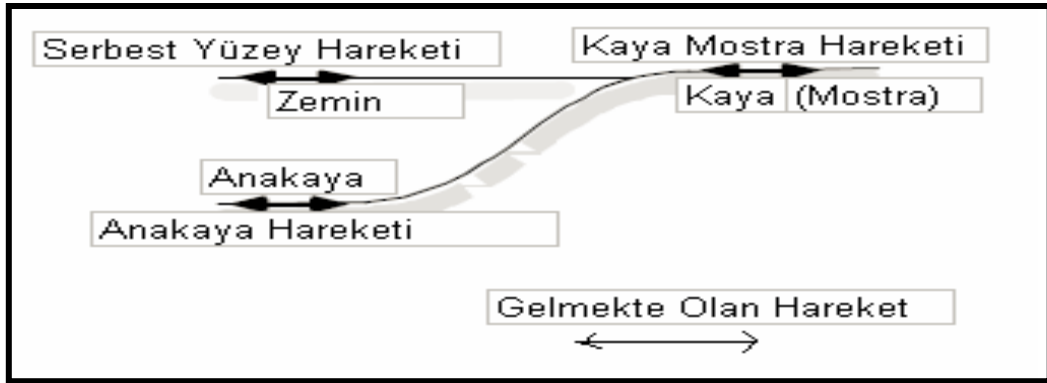
Şekil 1.2 EERA algoritmasının akış diyagramı

EERA algoritması Excel tabanında çalışan bir program olup, girdi (input), deformasyon hesaplama (calculate strain) ve çıktı hesaplaması (calculate output) olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

EERA algoritmasının girdi bölümü için, ilk olarak deprem verisinin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir (şekil 1.2). Bunun için kullanılacak olan depremin kuvvetli hareket ivme kaydının maksimum değeri (PGA), örnekleme aralığı (Δt), Nyquist Frekansı ($N f = 1/2 \Delta t$) ve veri sayısının bilinmesi gerekmektedir. Veri sayısı Fast Fourier Transformu (FFT) için özellikle gerekli bir parametredir. Çünkü FFT için kullanılan 2^N değeri (2 'nin katlarına göre) kullanılan veri sayısından az

olmamalıdır. Bu çalışmada örneğin İzmit depremi için 11189 veri kullanılmış, $N=14$ için 2^N değeri 16384 alınmıştır. Daha sonra ‘girdi hareketi’ komutu ‘evet’ olarak seçerek daha önce EERA programının içine kaydedilmiş deprem kaydını açtıktan sonra (programın içinde, Excelde, EERA yazan bölümün altında proses komutunu kullanarak) text bölümünde sıra sayısını 22 ve dosya başlangıcı olarak ‘windows ansi’ formatı kabul edildikten sonra üç bileşenli (kuzey-güney, doğu-batı ve düşey bileşen) kayıttan hangisi kullanılacaksa o bileşen ‘genel’ ve ‘atla’ komutlarıyla belirlenmekte ve daha sonra ‘girdi hareketi’ komutu ‘hayır’ olarak seçilmektedir. Eğer kaydın sıfıra yakın genlikli ivme değerleri atılacaksa bu aşamada atılır ve işlenir (proceses komutu ile). İkinci olarak zemin profili bölümüne, daha önce PS log verilerinden okunmuş olan tabaka kalınlıkları, S dalgası (ortalama kesme dalgası) hızları, sondaj logu ve laboratuvar deney sonuçlarından (ince (kil-silt)-kaba (kumçakıl) dane oranlarından) belirlenmiş zemin materyel türü (kil için 1, kum için 2, kaya için 0) ve SPT (Standart Penetrasyon Deneyi)’den belirlenmiş birim hacim ağırlıkları girilmektedir (Şekil 1.3).

Lokasyon ve deprem girdi hareketinin tipi olarak, ana kayanın şekil 1.3’de gösterildiği gibi mostra (kaya) uzanımı seçilmektedir.

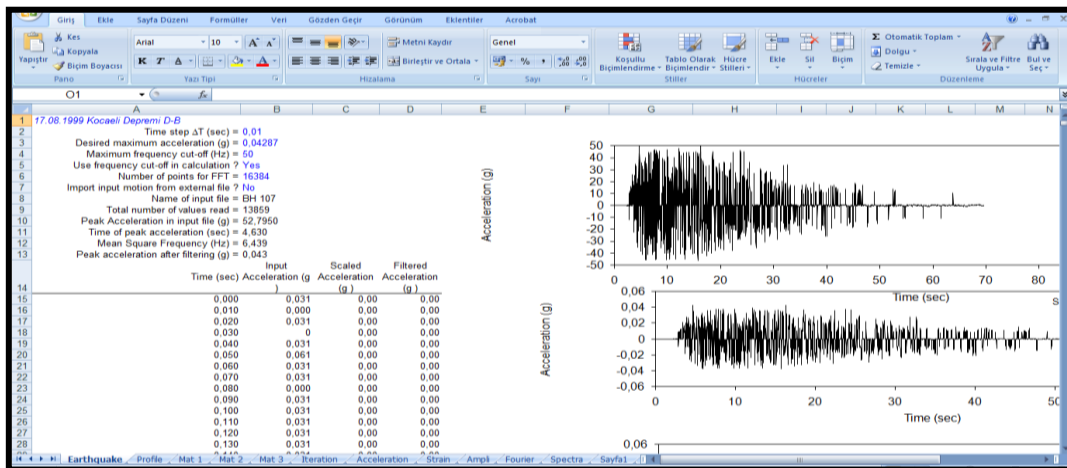


Şekil 1.3 Deprem girdisinin Ana kaya, Mostra, serbest yüzey (zemin) ve gelmekte olan hareket ile ilişkileri (Bardet ve diğ., 2000)

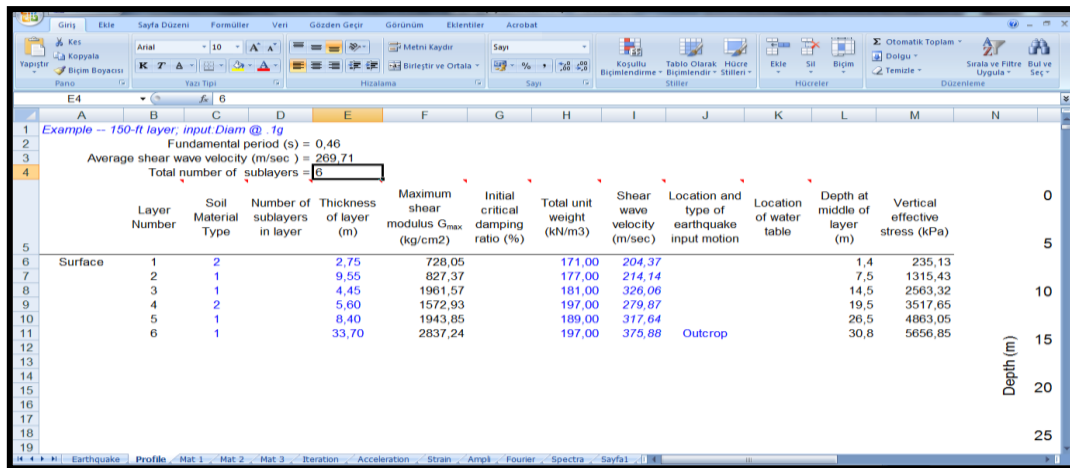
Bu durumda çıktı tabakası (ikinci tabaka) zemin olmaktadır. Dolayısıyla kayada (outcrop) kaydedilmiş deprem girdi hareketi, tepkisi ölçülecek olan gözlemsel zemin kesitlerinin en alt tabakasının altından (kayadan) girdi hareketi yaptığı var

sayılmaktadır. Böylelikle zemin tarafından büyütülen ya da küçültülen hareketin (çıkıntının) kayadaki bozulmamış harekete (girdiye) oranı çıkmaktadır. Aksi takdirde girdi tabakası olarak zemin içinde (inside) alınmış olması durumunda bu oran çok daha büyük olmaktadır. Programın ‘genlik oranı’ bölümünde ilk (girdi) ve çıktı (ikinci) tabakası olarak genellikle mostra (outcrop) alınmaktadır (Şekil 1.6).

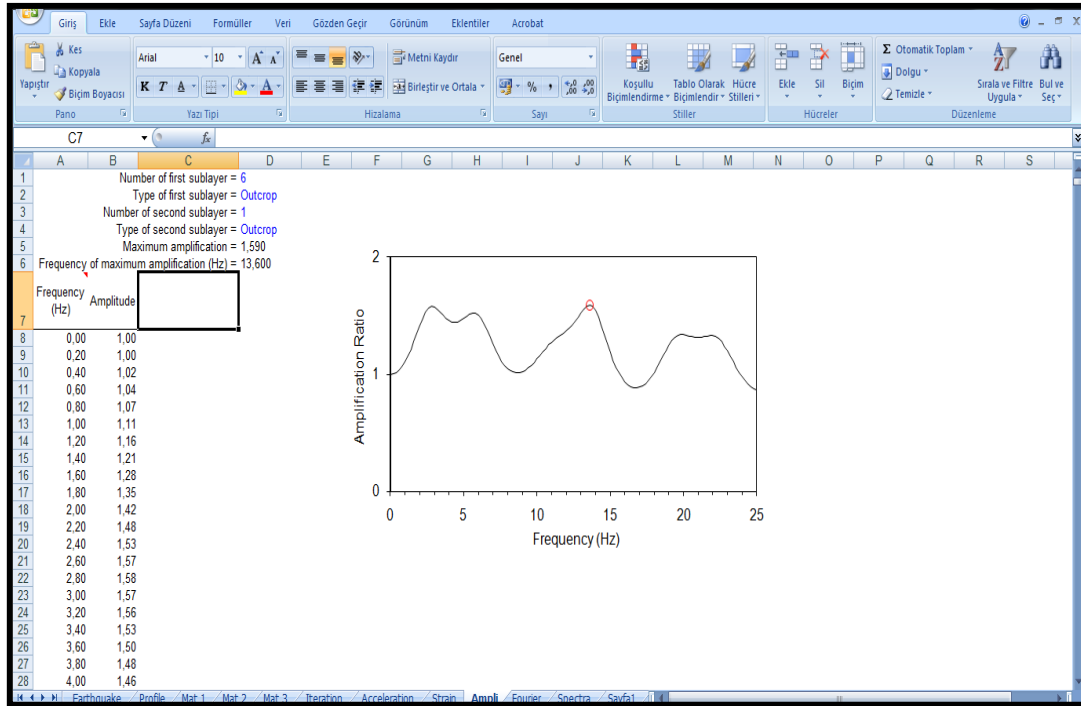
İkinci bölümde deformasyon hesaplaması yapıldıktan sonra, üçüncü bölümde (çıkı hesaplaması) zaman ortamında ölçeklenmiş ivme, partikül hızı, yerdeğiştirme grafiği, gerilme-yamulma grafiği, spektral ortamda genlik oranı (çıkı/girdi), Fourier spektrumu ve tepki spektrumu (ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları) hesaplanmaktadır (Şekil 1.6, Şekil 1.7) Şekil 1.4’de EERA algoritmasının deprem kaydı bölümü gösterilmektedir.



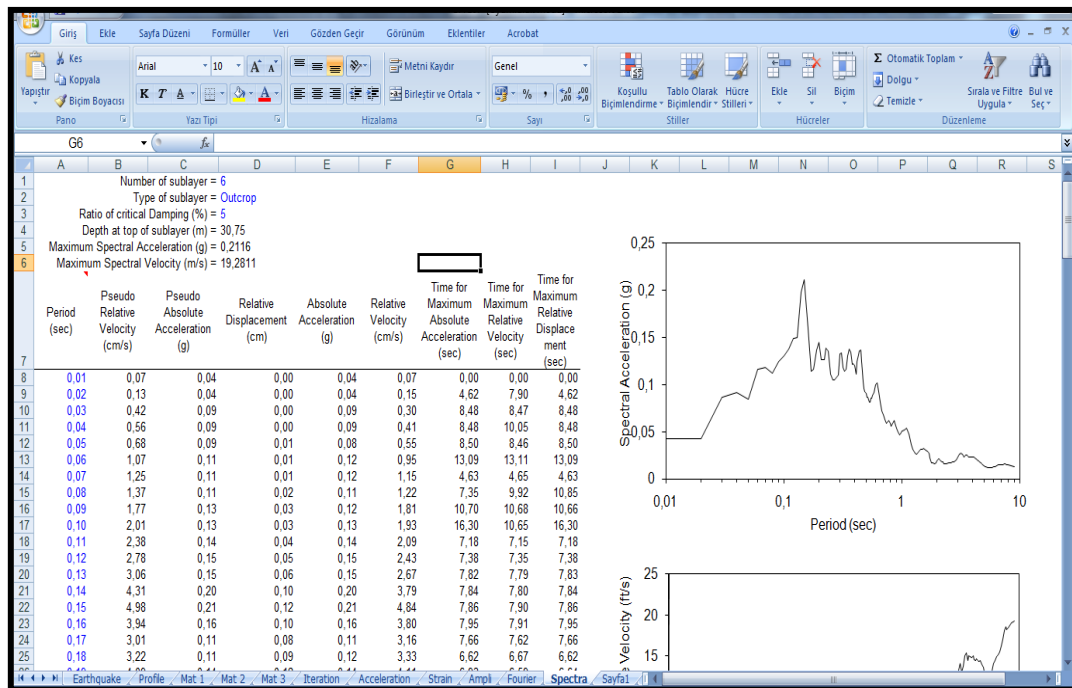
Şekil 1.4 EERA algoritmasının deprem kaydı bölümü (Bardet ve diğ., 2000)



Şekil 1.5 EERA algoritmasının zemin profil bölümü (Bardet ve diğ., 2000)



Şekil 1.6 EERA Algoritmasının genlik oranı bölümü (Bardet ve diğ., 2000)



Şekil 1.7. EERA Algoritmasının tepki spektrumu bölümü (Bardet ve diğ., 2000)

BÖLÜM 2.DEPREM YER TEPKİSİ

2.1. Kuvvetli yer hareketleri ve buna bağlı parametreler

1999 yılında meydana gelen ve büyük maddi kayba yol açan Kocaeli - Gölçük Depremi'nde elde edilen yer hareketi kayıtları yüksek yer değiştirme özelliği göstermektedir. Yer hareketlerinin ölçümündeki en önemli amaç, deprem sırasında oluşan ivmeyi zaman ya da frekansın fonksiyonu olarak ölçmek ve deprem sırasında yapının göstereceği davranışı görebilmektir.

Depremin ivmesi, riski tanımlamada ve yapı tasarımında kullanılan en önemli parametredir. Sık aralıklarla yerleştirilmiş ivme ölçerlerle alınacak kayıtlarla deprem dalga yayılımı, odak mekanizması ve zemin büyütmesi gibi parametreler daha sağlıklı olarak belirlenebilecektir.

2.2. Yer değiştirme, ivme, şiddet, partikül hızı, tasarım ve tepki spektrumu kavramları

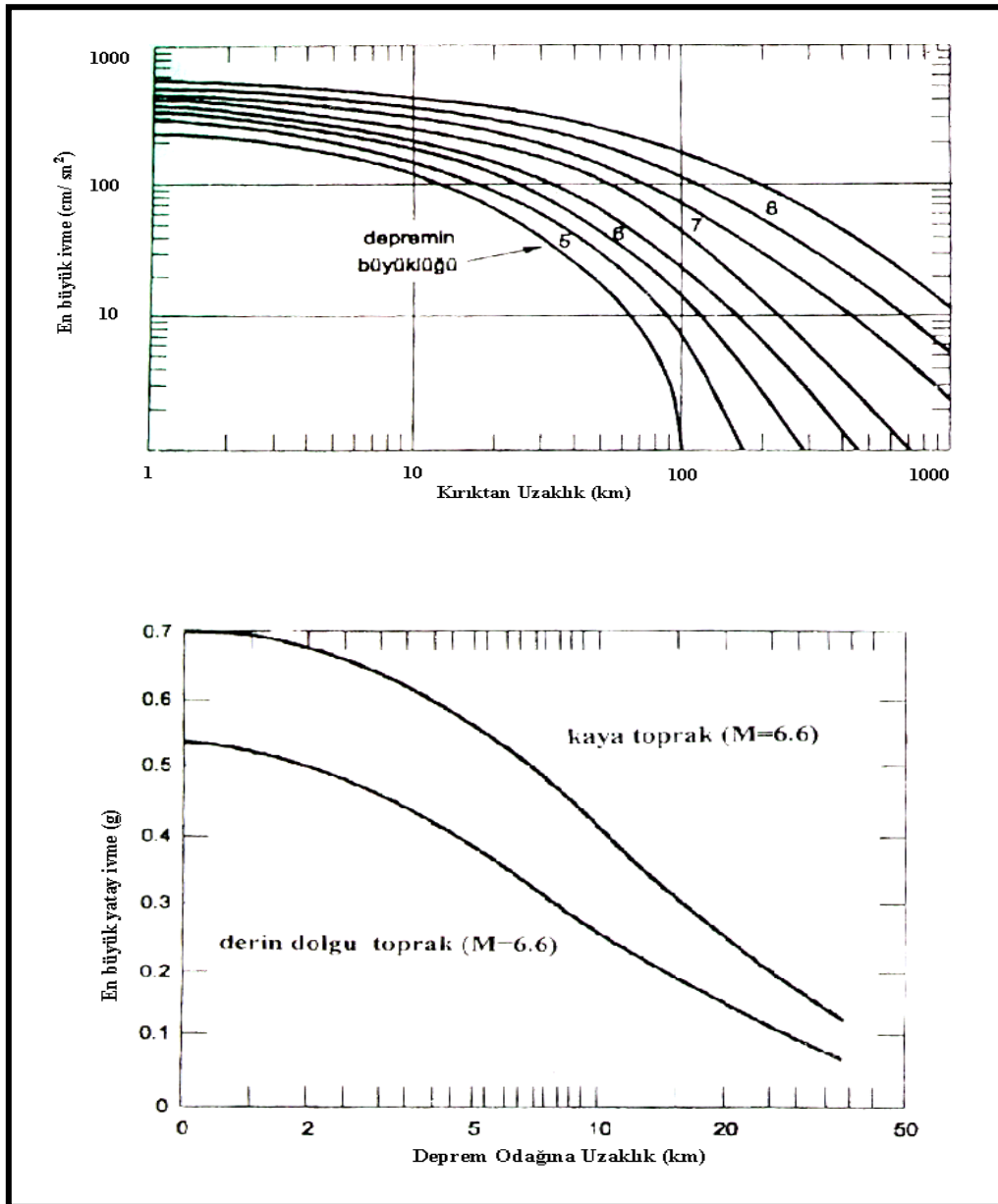
Depremin yer üstünde meydana getirdiği etkiler depremin şiddeti olarak tanımlanır. Depremin yeryüzüne, insanlara, doğal cisimlere ve yapılara olan etkisini I ile XII arasında bir ölçek ile tanımlanır. I canlılar tarafından hissedilmez, XII ise her şeyin yıkımı demektir.

Deprem anında yerin ne kadar ve ne hızda sarsıldığını gösteren parametre depremin ivmesidir. İvmenin ölçülmesi depreme dayanıklı yapı tasarımında büyük bir önem taşımaktadır. Deprem sırasında yapının ve zeminin kütlelerinden dolayı, zemin ile yapı birbirine ters yönde bir eylemsizlik momenti oluştururlar. Bu moment binaların hasar görmesine hatta yıkılmasına da neden olabilmektedir. Örneğin, Kocaeli – Gölçük Depremi'nde Adapazarı'nda ivme 0,41g olarak ölçülmüştür. Newton'un ikinci kanununu ele alacak olursak ($F = m.a$ Bir cisim üzerindeki net kuvvet, cismin

kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.) 200 ton ağırlığındaki bir binaya etki edecek deprem yükü;

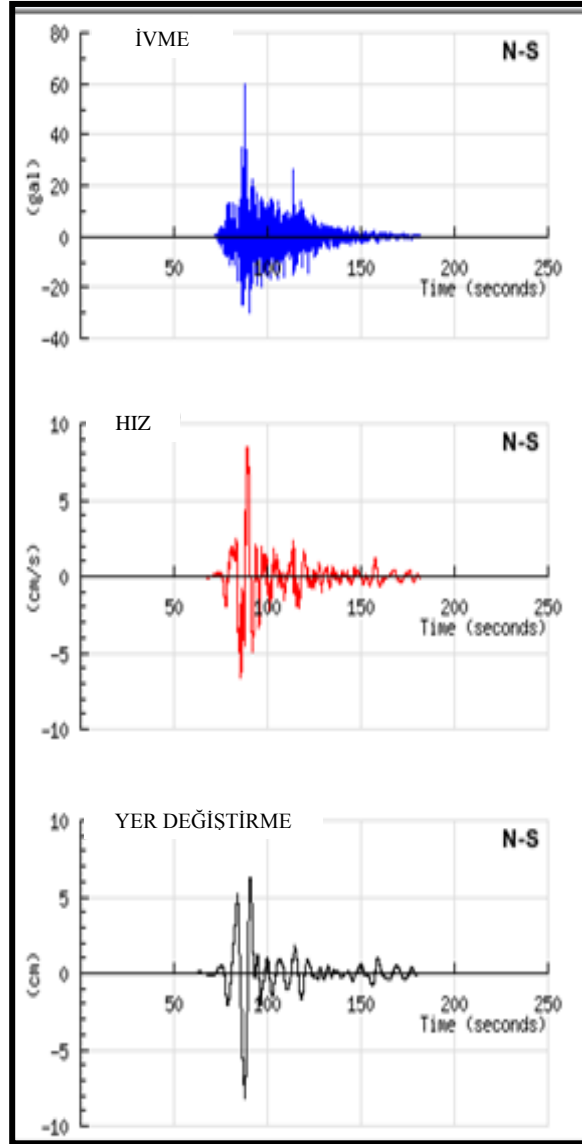
$$F = m \cdot a$$

$F = 200 \cdot 0,41 = 82$ ton dur. Deprem ivmesinin hasar derecesini belirlerken sadece odağa ait zemin koşulları değil aynı zamanda yerel zemin koşullarının da dikkate alınması gerekir. Şekil 2.1’de ivmenin uzaklığa göre değişimi ve yatay ivmenin uzaklığa göre değişimi görülmektedir (Ercan 2001).



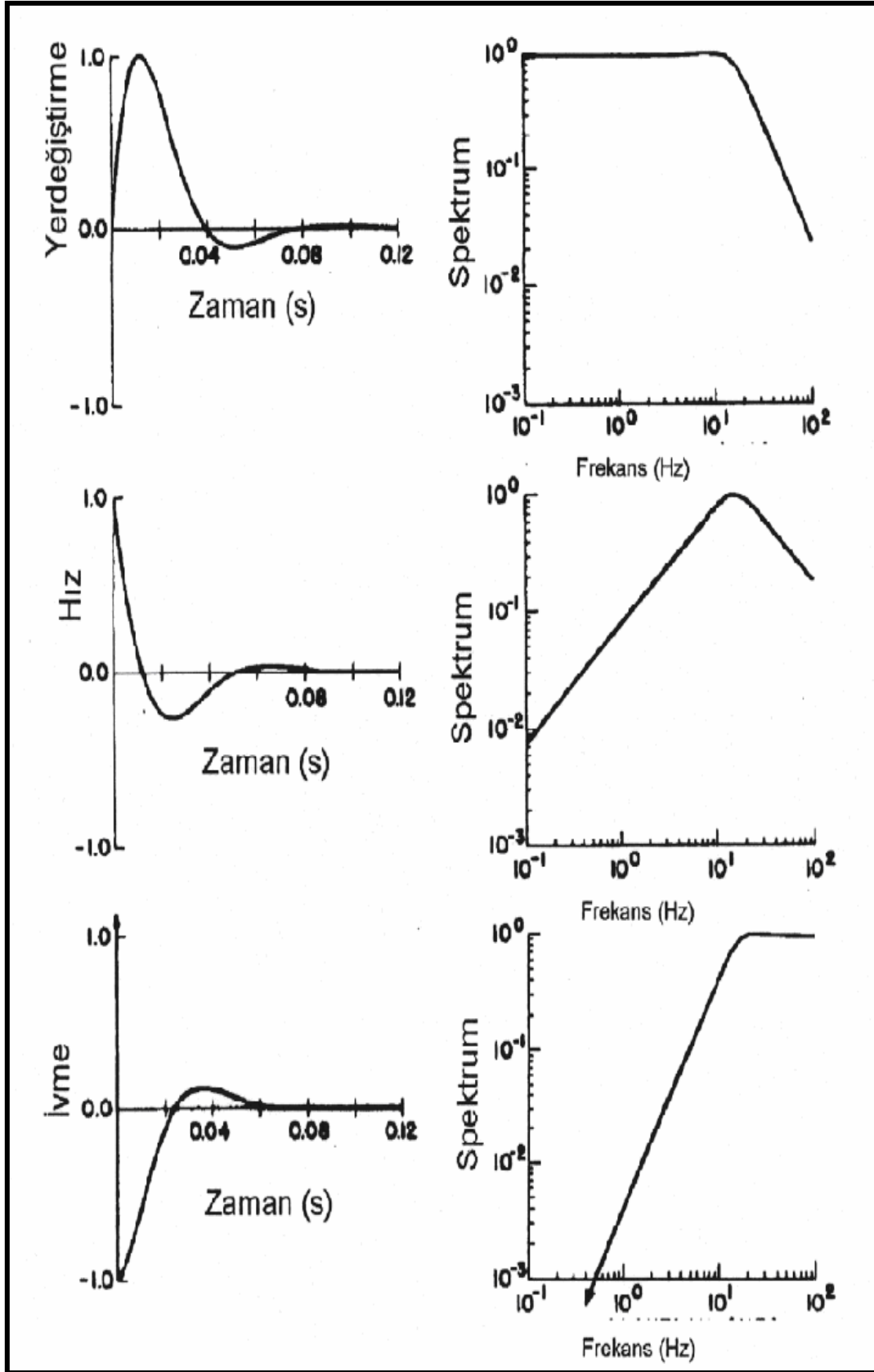
Şekil 2. 2 İvmenin uzaklığa göre değişimi (üstte) ve yatay ivmenin uzaklığa göre değişimi (altta) Ercan 2001.

Kocaeli – Gölçük Depremi'ne ait bileşen kayıtları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2. 2 1999 Kocaeli – Gölçük Depremi'nin kuzey güney yöndeki bileşenine ait ivme, hız, yerdeğiştirme hareketlerinin İstanbul Merkez Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü (41.05820N-29.00951E) istasyon kaydı.

Cihazların ani hız değişimlerini tespit edememesinden dolayı parçacık hızını belirlemek zordur. Şekil 2.2' de ivme, hız ve yer değiştirmenin zaman ve genlik spektrumu ortamındaki belirtileri görülmektedir.

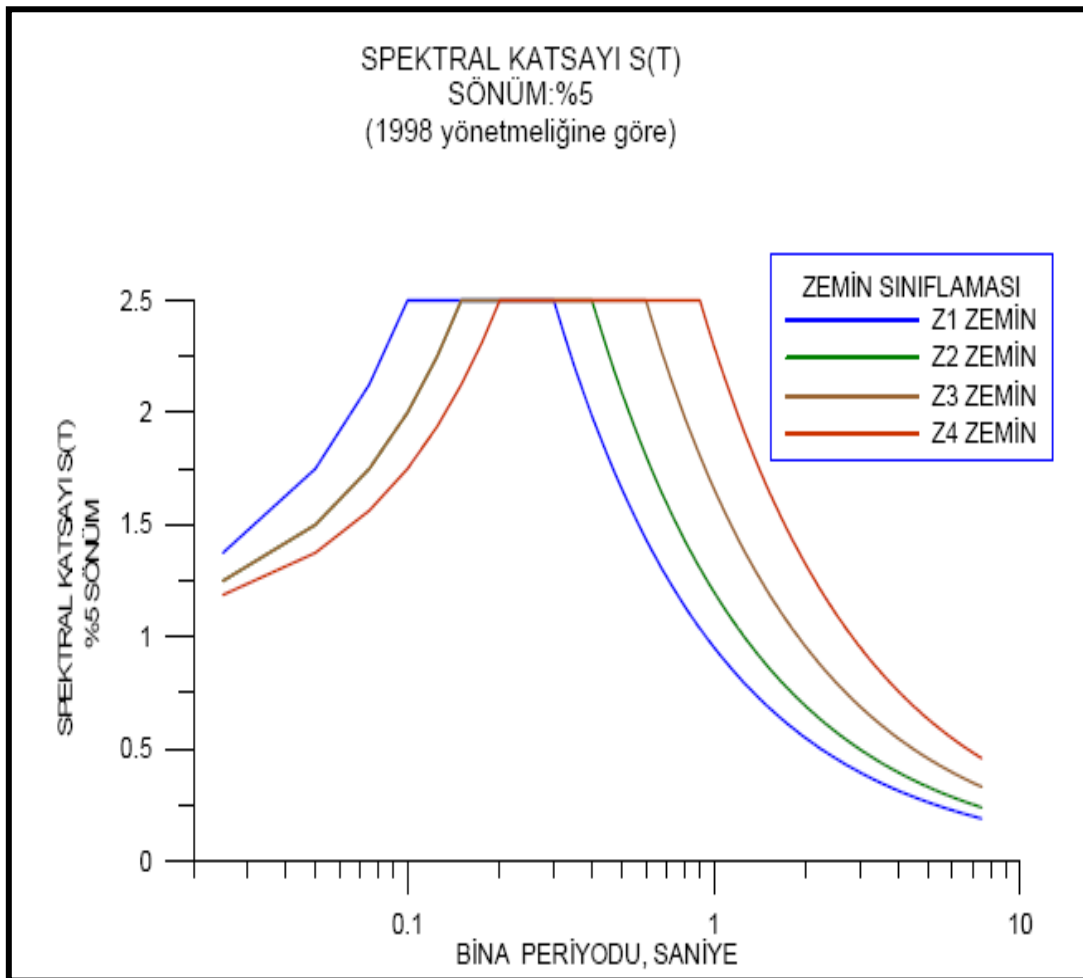


Şekil 2.3 İvme, partikül hızı ve yer değiştirmenin zaman ve genlik spektrumu ortamında görünüşü (Ambraseys 1995)

Şekilde herhangi bir frekansta ivme olarak kaydedilen şiddetli bir partikül hızı yer değiştirme hareketine geçildiğinde az genlikli olabilir.

Deprem sırasında frekans genlik ilişkisinin belirlenmesi için Fourier spektrumları ve tepki spektrumlarını belirlememiz gerekir. Tepki spektrumları ile yerdeğiştirme ve partikül hızı hesabı yapılabilir.

Farklı zeminler farklı ivme değerleri verebilmektedir. Bu nedenle zemin sınıflaması – ivme tasarım spektrumu arası ilişki yönetmeliklerle belirtilmiştir. Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde spektrum düzeyi 2,5 olarak alınmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.4 1998 Yönetmeliği Zemin Sınıflaması (Aydınöğlu, 1998)

Tablo 2.1 1998 Afet Yönetmeliği Yerel Zemin Sınıfları verilmektedir.

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.... 2. Çok sıkı kum, çakıl..... 3. Sert kil ve siltli kil.....	 > 50 > 32	 85 100 	> 1000 > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar..... 2. Sıkı kum, çakıl..... 3. Çok katı kil ve siltli kil....	 30 50 16 32	 65 85 	500 1000 200 400	700 1000 400 700 300 700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar..... 2. Orta sıkı kum, çakıl..... 3. Katı kil ve siltli kil.....	 10 30 8 16	 35 65 	< 500 100 200	400 700 200 400 200 300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları..... 2. Gevşek kum..... 3. Yumuşak kil, siltli kil.....	 < 10 < 8	 < 35 	 < 100	< 200 < 200 < 200

Tablo 2.2 1998 yönetmeliğine göre zemin sınıflaması gösterilmektedir.

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 2.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z_1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z_2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z_3	$15 < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z_4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

2.3. Zemin büyütmesinin yerel jeolojik ve jeoteknik yapıyla ilişkileri

Meydana gelen bir depremde dört ana sismik dalga oluşur. Bu dalgalar geçtiği zeminin özelliklerine göre farklı hızda yayılırlar. Seed ve Idriss (1982)'e göre, herhangi bir gözlem noktasındaki deprem yer hareketinin özellikleri;

- Depremin büyüklüğü,
- Depremin kaynak mekanizması,
- Fayın yırtılma hızı ve doğrultusuna bağlı girişim etkileri,
- Enerjinin açığa çıktığı sismik kaynaktan uzaklığı,
- Kaynaktan gözlem noktasına kadar olan dalga iletim yolu boyunca kayaçların sönümlenme özellikleri,
- Gözlem noktasında yerel toprak (zemin) koşulları gibi pek çok faktörlere bağlıdır.

Yeraltındaki tabakalar sismik dalgaları sönümleme ve yada büyütme gibi özelliklere sahip olabilmektedir. Sismik dalgaların yeraltındaki tabakalar içindeki uğradığı değişim yerel jeolojik etki olarak adlandırılır. Bu etki zemin büyütmesi veya zemin tepkisi olarak da adlandırılır. Zemin büyütmesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Akustik empedans oranı ve rezonans etkisi,
- Havza (basen) altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma,
- Havza kenarlarında oluşan yüzey dalgaları,
- Doğrusal olmayan zemin davranışı,
- Topografya etkisi.

2.4. Depremde zemin etkisinin önemi

Gevşek zemin tabakalarının gelen deprem dalgalarını büyütmektedir. Tablo 2.4. de yüzey jeolojisi ve şiddet artımı arasındaki ilişkiler verilmektedir.

Tablo 2.3 Yüzey Jeolojisi ve Şiddet Artımı Arasındaki İlişkiler (Medvedev, 1962)

JEOLJİK BİRİM	ŞİDDET ARTIMI	JEOLJİK BİRİM	ŞİDDET ARTIMI
MEDVEDEV (1962)	MSK ÖLÇEĞİ	EVERNDEN VE THOMSON (1985)	MM ÖLÇEĞİ
Granitler	0	Granitik ve Metamorfik Kaya	0
Kireçtaşı, kumtaşı,	0.2 – 1.3	Paleozoyik Kayalar	0.4
Jips, marn	0.6 – 1.4	Erken Mesozoyik Kayalar	0.8
Kaba materyalli zemin	1 – 1.6	Kretase – Eosen Kayalar	1.2
Kumlu zemin	1.2 – 1.8	Ayrışmamış Tersiyer Kayalar	1.3
Killi zemin	1.2 – 2.1	Oligosen-Orta Pliyosen Kaya	1.5
Dolgu	2.3 – 3	Pliyosen-Pleyistosen Kayalar	2.0
Nemli zemin	1.7 – 2.8	Tersiyer Volkanik Kayalar	0.3
Nemli dolgu ve toprak	3.3 – 3.9	Kuvaterner Volkanik Kayalar	0.3

Yukarıdaki sınıflama “Afet Bölgelerine Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” içeriğinde bulunmaktadır. Yerel jeoloji etkisi ve yönetmelikler hakkında son gelişmeler Dobry ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada irdelenmiştir. Seed ve diğ. (2001) ayrıntılı bir zemin sınıflaması, zemin bağımlı maksimum ivme değişimi ve zemin bağımlı yanıt spektrumlarını incelemiştir.

Yerel jeoloji etkisi ve yönetmelikler hakkında son gelişmeler Dobry ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Seed ve diğ. (2001) ayrıntılı bir zemin sınıflaması, zemin bağımlı maksimum ivme değişimi ve zemin bağımlı yanıt spektrumlarını irdelemişlerdir.

2.5. Zemin davranışları

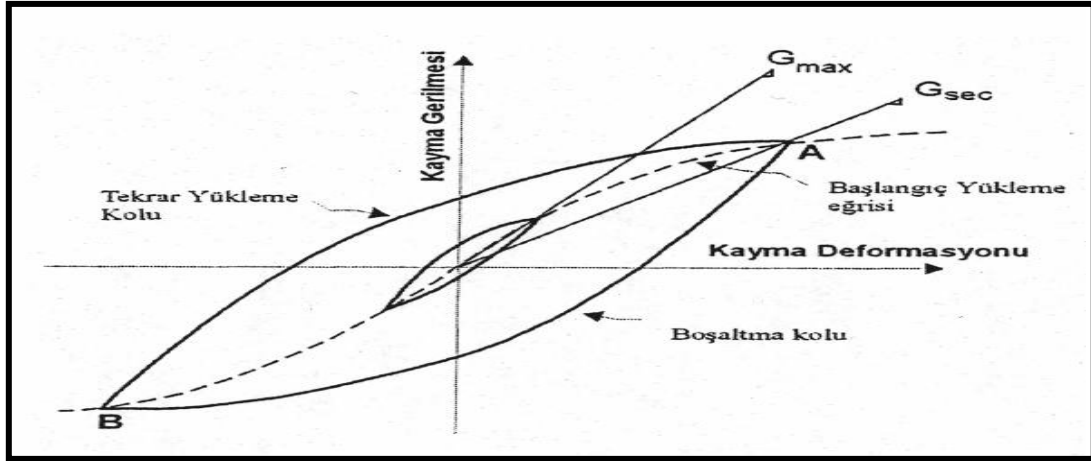
2.5.1. Doğrusal zemin davranışı

Yeraltındaki her bir tabaka için sabit makaslama modülü ve sönüm oranı doğrusal zemin davranışını belirtmektedir. Makaslama modülünün ve sönüm oranının değişken olduğu durum ise doğrusal olmayan zemin davranışını temsil eder.

Doğrusal zemin davranışında en önemli özellik transfer fonksiyonlarının incelenmesidir. Transfer fonksiyonlarıyla ivme, hız, deformasyon gibi tepki parametrelerini elde etmek mümkündür. Fonksiyonun kullanımı için ana kaya girdi hareketinin zamana bağlı fonksiyonu, Fast Fourier Transform'u kullanılarak Fourier serisi olarak tanımlanabilir. Ana kaya hareketinin Fourier serisindeki her parametresinin transfer fonksiyonu ile çarpımı çıktını Fourier serisini vermektedir. Böylece girdi frekansın zeminde büyütme veya sönümlenme meydana getirdiği belirlenir.

2.5.2. Doğrusal olmayan zemin davranışı durumu

Zeminden alınan numunelerden yapılan deney sonuçlarına göre deformasyon – gerilme ilişkisinin histerezis eğrisi şeklinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.5 Tekrarlı kayma deformasyonu içindeki zeminin tipik gerilme-deformasyon ilişkisi. Başlangıç yüklemesi eğrisi (kesikli çizgi) hiperbolik bir şekle sahiptir. Takip eden boşaltma ve yeniden yüklemeler fazları bir histerizis yol izler (Beresnev ve Wen,1996)

Şekilde görüldüğü gibi kayma dalgası hızıyla sönümlenme genliğe bağlıdır. Zemin tabakasının temel rezonans farkının frekans dalga hızıyla orantılı olmasından dolayı ($f = V_s/4H$) deformasyondaki artışla V_s dalga hızı azalır ve rezonans daha küçük frekanslara doğru yönelecektir. Böylece sönümün artması kuvvetli yer hareketi için zemin büyütmesini azaltacaktır.

2.6. Depremde yer etkisinin bulunmasına yönelik yöntemler

Çeşitli yöntemlerle elde edilen veriler ışığında lokal jeolojik etkilerin belirlenmesi, inşa edilecek yapı için önem teşkil etmektedir. Lokal jeolojik etki çeşitli yöntemler kullanılarak bulunabilir. Bunlardan en çok kullanılanları;

- ❖ Çeşitli yorumlama algoritmalarıyla deprem kayıtlarının analizi,
- ❖ Sismik ve sondaj verilerinin yorumlanması,
- ❖ Mikrotremor yöntemi.

Arazide elde edilen verinin spektrumu gürültü ve ölçünün alındığı arazinin yer yapısı özelliklerinin toplamından oluşur. Lokal etkiden dolayı deprem dalgalarını genliklerinde büyüme olabilir ve bu büyüme değeri sismolojide büyük bir önem

taşımaktadır. Sahada elde edilen ölçümlerin spektral analizi yapıldığında bir dönüşüm fonksiyonu elde edilir. Elde edilen bu dönüşüm fonksiyonu ile zemin tanımlaması yapılır. Fonksiyonun tanımı için üç yaklaşım mevcuttur. Bunlardan birinde bir referans istasyonundan elde edilen kayıt ile gevşek zeminden alınan kaydın karşılaştırılması yapılır. Karşılaştırma sonucu elde edilen fark lokal etkiyi verir. Diğer bir tanımlama ise Klasik Spektral Oran (iki istasyon yöntemi) yöntemidir. Bu yöntemde ölçüm noktasının Fourier genlik spektrumları referans noktasının genlik spektrumlarına oranlanır. Üçüncü bir tanımlama ise sık kullanılan Nakamura Yöntemidir (yatay/düşey spektral oran YDSO).

2.6.1.Yatay bileşen spektrum değerlerinin rölatif olarak düşey bileşen spektrum değerlerine oranı yöntemi (Nakamura Yöntemi)

Lokal etkiyi tanımlayan birçok araştırmacı, tek istasyondaki mikrotremor kayıtlarının analizinde yatay bileşeninin düşey bileşene spektral oranını kullanmıştır. Bu düşünce ilk olarak Nakamura (1989) tarafından ortaya atıldığından yöntem kendi adını taşımaktadır. Yönteme göre titreşimlerin düşey bileşenleri zemin tabakalarından etkilenmez. Fakat yatay bileşenler zemin özelliklerine bağlı olarak büyümeye uğrarlar. Yatay bileşen kayıtlarının düşey bileşen kayıtlarına oranlanması sonucu zemine ait transfer fonksiyonu elde edilir.

Nakamura (1989), bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından (Duval ve diğ., 2001;Tsuboi ve diğ., 2001) kullanılan iki istasyon yöntemine göre daha hızlı uygulanabilecek bir teknik geliştirmiştir. Fakat bu tekniğin uygulanabilir olması için iki varsayımı sağlaması gerekir. Bunlardan biri hareketin düşey bileşeninin sedimanlarca büyütülmemesi diğeri ise mikrotremorların yarı sonsuz bir ortam üzerinde yer alan tek bir tabaka içinde ilerleyen ağırlıklı olarak yüzey dalgalarından ve cisim dalgalarından oluşmaktadır.

Varsayımların doğruluğunu kanıtlamak için Nakamura (1989), (1966) ve Bard (1999)'da çalışmalar yapmışlardır. Birinci varsayımdan, sediman-yeryüzü ve ana

kaya-sediman ara yüzeylerindeki düşey bileşenlerin spektrumlarının birbirine oranı 1'dir. Transfer fonksiyonu sediman – yeryüzü ara yüzeyinde kaydedilmiş hareketin yatay bileşeninin yine aynı ara yüzeyde kaydedilmiş hareketin düşey bileşenine oranına eşit olacaktır (Ojeda ve Escallon, 2000). Ancak yatay/düşey oranlarından elde edilen genlik bilgisinin, zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında kullanılması tartışmalıdır (Bodin ve diğ., 2001)

Yöntemin teorik kısmı henüz tam olarak kanıtlanmamasına rağmen yapılan bir çok çalışmada zemin hakim periyodunun kabaca belirlenmesinde güvenilir olduğu fakat büyütme değerlerini genellikle küçük bulduğu belirtilmiştir (Bonilla ve diğ., 1997; Field ve Jacob, 1995; Yalçınkaya ve Alptekin, 2000a).

2.6.2. Spektral oran yöntemi

Spektral oranlar tekniğinde, aynı depreme ait kayıtların farklı zeminlerde oluşturacağı etkinin zararlarını tespit etmek esastır (Dravinski ve diğ., 1966; Castro et., 1995). Bu yöntem genellikle alüvyon yada problemleri görülen zeminler üzerinde alınmış genlik spektrumu aynı deprem kaydının sağlam zeminden elde edilmiş genlik spektrumuna oranlanmasıyla uygulanır. Böylece elde edilen oran alüvyon yada problemleri zeminin spektrumu olarak kabul edilir.

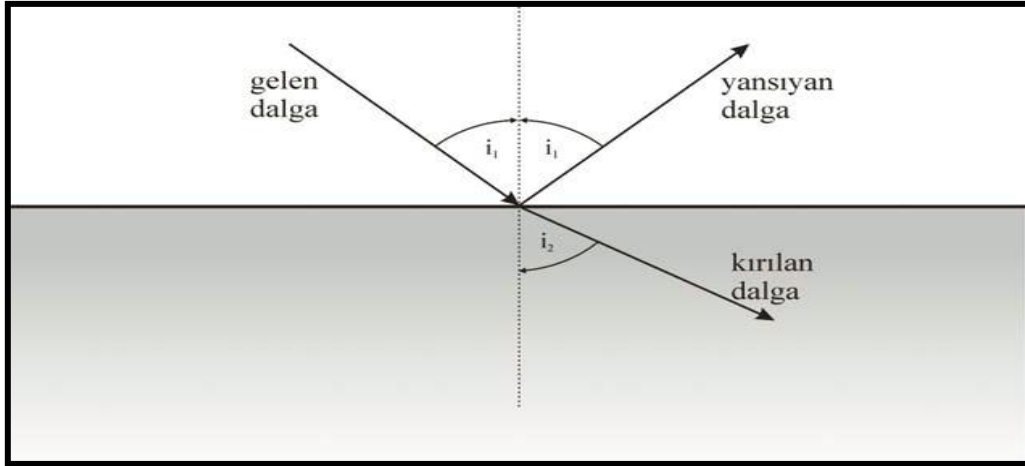
Lachet ve diğ. (1996) Klasik Spektral Oran (KSO) ve Nakamura (H/V) Yöntemi'ni hem deprem hem de gürültü verileri ile karşılaştırdılar. İki yöntemde birbirine yakın sonuçlar verse de Nakamura Yöntemi KSO'ya göre büyütmeleri daha küçük olarak belirttiğini tespit etmişlerdir. Field ve Jacob (1995) KSO yöntemi ile teorik modellerin yerel jeoloji etkilerini belirlemede daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Nakamura Yöntemi'nde düşey bileşen yerel jeolojiden etkilenmediğinden büyütme değerlerini daha küçük gösterdiği sonucuna varmışlardır. Yalçınkaya (2002) yaptığı çalışmada Nakamura Yöntemi'nin düşey bileşeninin yerel jeolojiden etkilendiğini ve büyütmelerinin incelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca sondaj verilerinin yardımıyla EERA programında gevşek zeminlerin ana şok sırasında büyük ivmelere maruz kaldığını ileri sürmüştür.

BÖLÜM 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE MODEL

3.1. Çalışmada kullanılan yöntem ve materyaller

3.1.1. Tek tabaka problemi

Deprem sonucu oluşan sismik dalgalar tüm yönlerde doğru yayılmaya başlarlar. Tabaka sınırlarına geldiklerinde geçecekleri bir alt tabakanın özelliklerine göre ya kırılarak alt tabakaya geçerler ya da yansıyarak aynı tabakaya geri dönerler. Bu durum Snell Yasası'nda aşağıdaki denklem ve şekille ifade edilmektedir.



Şekil 3.1 Snell yasasına göre dalgaların yansıma ve kırılması.

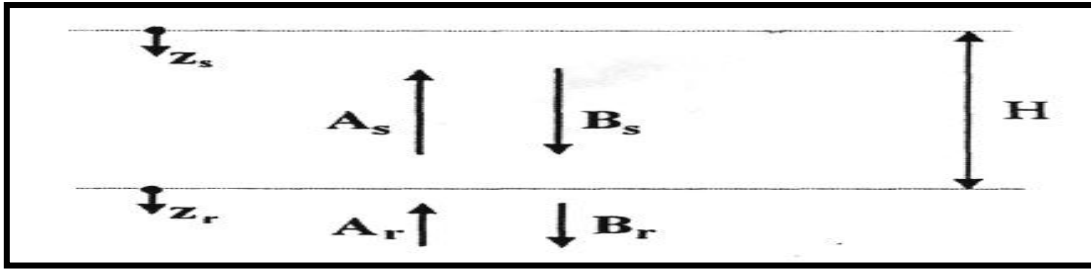
$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} = P$$

Yukarıdaki bağıntıya göre, bir kaynaktan çıkan bir ışın, bir noktaya ulaşana kadar geçtiği tüm tabakalar için, geliş açılarının sinüslerinin tabakaların hızlarına oranları P harfi ile gösterilen sabit bir değere sahiptir. Bu sabit (P) değere ışın parametresi denir.

Özel bir durum olarak; bir ara yüzeye gelen dalganın geliş açısı $\sin i_1 = V_1/V_2$ olacak olur ise, $i_2 = 90^\circ$ olacağından, kırılan dalga ikinci ortama geçmez ve ara yüzey boyunca yayılır. Bu durumu oluşturan açiya kritik açı denir.

Bir başka özel durum ise, kritik açıdan daha büyük geliş açılarında oluşur. Bir dalga, kritik açıdan daha büyük geliş açılarında ara yüzeye gelir ise, tam yansıma oluşur. Bu durumda ara yüzeyde kırılarak ikinci ortama geçen dalga bulunmaz ve gelen enerjinin tamamı ara yüzeyden geri yansır.

Sonsuz derinliğe sahip elastik bir ana kaya üzerinde H kalınlığına sahip homojen bir zemin tabakası düşünürsek s ve r indisleri sırası ile zemin ve ana kayayı temsil etmek üzere her bir tabaka içindeki, düşey yayılan harmonik S dalgalarının oluşturduğu yatay yer değiştirmeler (şekil 3.2);



Şekil 3.2 Sonsuz derinliğe sahip elastik kaya tabakası üzerinde yer alan H kalınlığına sahip homojen zemin tabakası (s: zemin tabakası indisi, r: kaya indisi)

$$u_s(z_s, t) = A_s e^{i(\omega t + k_s^- z_s)} + B_s e^{i(\omega t - k_s^- z_s)} \quad (3.1)$$

$$u_r(z_r, t) = A_r e^{i(\omega t + k_r^- z_r)} + B_r e^{i(\omega t - k_r^- z_r)} \quad (3.2)$$

yazılabilir. Burada ω harmonik dalganın dairesel frekansı, k^* ise kompleks dalga sayısıdır:

$$k^{*2} = \frac{\rho \omega^2}{G + i\omega\eta} = \frac{\rho \omega^2}{G^*} \quad (3.3)$$

Kritik sönüm oranı $\xi = \omega\eta / 2G$ kullanılarak kompleks kayma modülü G^*

$$G^* = G + i\omega\eta = G(1 + 2i\xi) \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir (η : Viskosite). Serbest yüzeyde ($z_s = 0$) kayma gerilmesinin (τ) sıfır olması nedeni ile:

$$\tau(0, t) = G_s^* \gamma = (0, t) = G_s^* \frac{\partial u_s(0, t)}{\partial z_s} = 0 \quad (3.5)$$

yazılabilir (γ : Kayma deformasyonu). (3.1) denklemini (3.4)'te yerine koyup türevleri alınırsa;

$$G_s^* i k_s (A_s e^{i k_s(0)} - B_s e^{-i k_s(0)}) e^{i\omega t} = G_s^* i k_s (A_s - B_s) e^{i\omega t} = 0 \quad (3.6)$$

denklemini elde ederiz. Bu denklem ancak $A_s = B_s$ olduğunda doğrulanır. Anakaya/zemin ara yüzeyinde gerilmelerin ve yer değiştirmelerin sürekliliği;

$$u_s(z_s = H) = u_r(z_r = 0) \quad (3.7)$$

$$\tau_s(z_s = H) = \tau_r(z_r = 0) \quad (3.8)$$

koşullarını gerektirir. (3.1) ve (3.2) denklemlerini (3.6)'da yerine konursa;

$$A_s (e^{i k_s H^*} + e^{-i k_s H^*}) = A_r + B_r \quad (3.9)$$

elde edilir. Kayma gerilmesi ($\tau = G_s^* \partial u / \partial z$) (3.8) nolu denklemden;

$$A_s i G_s^* k_s^* (e^{i k_s H^*} - e^{-i k_s H^*}) = i G_r^* k_r^* (A_r - B_r)$$

veya;

$$\frac{G_s^* k_s^*}{G_r^* k_r^*} A_s (e^{i k_s H^*} - e^{-i k_s H^*}) = A_r - B_r \quad (3.10)$$

elde edilir. Bu denklemdeki oran;

$$\frac{G_s^* k_s^*}{G_r^* k_r^*} = \alpha_z^* \quad (3.11)$$

kompleks empedans oranı olarak bilinir. (3.9) ve (3.10) denklemleri birlikte çözümlürse;

$$A_r = \frac{1}{2} A_s [(1 + \alpha_z^*) e^{ik_s H^*} + (1 - \alpha_z^*) e^{-ik_s H^*}] \quad (3.12a)$$

$$B_r = \frac{1}{2} A_s [(1 - \alpha_z^*) e^{ik_s H^*} + (1 + \alpha_z^*) e^{-ik_s H^*}] \quad (3.12b)$$

elde edilir.

A genliğine sahip düşey olarak kaya içinde yukarı doğru yayılan bir kayma dalgası eğer zemin tabakaları yok ise kaya yüzeyinde serbest yüzey etkisi nedeni ile 2A genliğinde bir hareket üretecektir. Eğer zemin tabakaları mevcut ise o zaman yüzeydeki hareketin genliği;

$$2A_s = \frac{4A}{(1 + \alpha_z^*) e^{ik_s H^*} + (1 + \alpha_z^*) e^{-ik_s H^*}} \quad (3.13)$$

olacaktır. Transfer fonksiyonu veya yerel jeoloji etkisi, F(w), zemin yüzeyindeki hareket genliğinin kaya yüzeyindeki hareket genliğine oranıdır;

$$F(w) = \frac{2}{(1 + \alpha_z^*) e^{ik_s H^*} + (1 - \alpha_z^*) e^{-ik_s H^*}} \quad (3.14)$$

Görüldüğü gibi transfer fonksiyonu kompleks bir fonksiyondur. Euler Kanunu kullanılarak aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$F(w) = \frac{1}{\cos k_s^* H + i \alpha_z^* \sin k_s^* H} \quad (3.15)$$

Transfer fonksiyonu zemin yüzeyindeki hareket genliğinin kaya yüzeyindeki hareket genliğine oranı şeklinde belirlendiğinden zemin yüzeyindeki genlik, kaya yüzeyindeki genlik ile transfer fonksiyonunun çarpımı şeklinde elde edilebilir. Bu yüzden ana kayadan zemin tabakalarına giren periyodik bir hareket için zemin tabakalarının etkisi şu şekilde belirlenebilir:

- Ana kaya üzerinde elde edilmiş bir kayıt zemin tabakalarının altından giriş yapan bir dalga olarak düşünülür. Bu dalga hareketi frekans ortamında farklı

genlik, frekans ve faz açılarına sahip bir seri sinüs dalgalarının toplamı şeklinde ifade edilir. Bu Fourier serileri sanal ve gerçel kısımlardan oluşur.

- (3.14) denklemini yardımı ile Transfer Fonksiyonu belirlenir. Yine aynı şekilde transfer fonksiyonu da sanal ve gerçel kısımlara sahiptir.
- Giriş hareketi ile Transfer Fonksiyonu frekans ortamında çarpılarak çıkış hareketi yani zemin yüzeyindeki hareket frekans ortamında elde edilir.
- Ters Fourier dönüşümü ile zemin yüzeyindeki hareket zaman ortamında elde edilir (Tomur 2007).

3.1.2. Çok Tabaka Problemi

Tek tabaka probleminde kullanılan bağıntıların N. zemin tabakası ve m. tabakadaki yatay değiştirmeler için kabuller yapılır. Buna göre;

$$u_m(z_m, t) = (A_m e^{ik_m^* z_m} + B_m e^{-ik_m^* z_m}) e^{i\omega t} \quad (3.16)$$

denklemini ile ifade edilir, m ve m+1 arasındaki sınırda yer değiştirmelerin sürekliliğinden;

$$A_{m+1} + B_{m+1} = A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (3.17)$$

ve kayma gerilmelerinin sürekliliğinden;

$$A_{m+1} - B_{m+1} = \frac{G_m^*}{G_{m+1}^* k_{m+1}^*} (A_m e^{ik_m^* h_m} - B_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (3.18)$$

bağıntısı elde edilir. Görüldüğü gibi (3.16) ve (3.17) denklemleri (3.9) ve (3.10) denklemleri ile benzerdir, m ve (m+1) arasındaki sınırda kompleks empedans oranını α_m ile ifade edilirse (m+1). tabakadaki genlikler (3.16) ve (3.17) bağıntılarında faydalanarak m. tabakadaki genliklerden bulunabilir:

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m [(1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m}] \quad (3.19a)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m [(1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m}] \quad (3.19b)$$

Tabaka	Koordinat	Özellikler	Kalınlık
1	z_1 u_1	$G_1 \xi_1 \rho_1$	h_1
2	z_2 u_2	\vdots	
\vdots			
m	z_m u_m	$G_m \xi_m \rho_m$	h_m
$m+1$	z_{m+1} u_{m+1}	$G_{m+1} \xi_{m+1} \rho_{m+1}$	h_{m+1}
$m+2$	z_{m+2} u_{m+2}	\vdots	
\vdots			
N	z_N u_N	$G_N \xi_N \rho_N$	$h_{N=\infty}$

Şekil 3.3 Bir boyutlu tabakalanmış zemin sistemi (Kramer, 1996)

Yeryüzünde ($z_1 = 0$) kayma gerilmesinin sıfır olma zorunluluğu $A_1 = B_1$ koşulunu ifade eder. (3.19) denklemlerinin $m = 1, 2, 3, \dots, N$ tabakaları için ardı sıra uygulanması A_{m+1} ve B_{m+1} ile A_m ve B_m parametreleri;

$$A_{m+1} = a_{m+1}(w)A_1 \quad (3.20a)$$

$$B_{m+1} = b_{m+1}(w)B_1 \quad (3.20b)$$

şeklinde ilişkilendirilebilir. Burada $a_{m+1}(w)$ ve $b_{m+1}(w)$ fonksiyonları $(m+1)$. tabaka üzerindeki tüm tabakaların ara yüzeylerinde oluşan dalga girişim etkilerini ifade eder. O zaman herhangi iki tabaka üzerindeki, örneğin i ve j tabakaları, hareketleri ilişkilendiren bir transfer fonksiyonu;

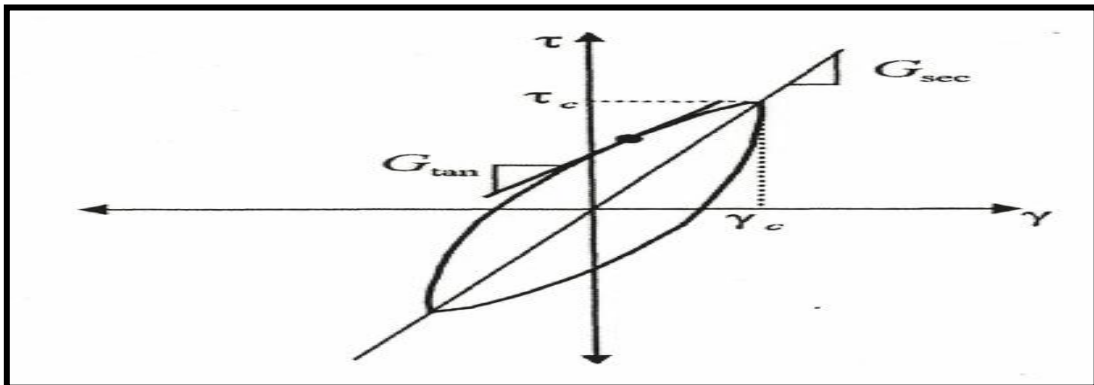
$$F_{ij}(w) = \frac{a_i(w) + b_i(w)}{a_j(w) + b_j(w)} \quad (3.21)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. (3.21) denkleminde görüldüğü gibi herhangi bir tabakadaki hareket, başka bir tabakadaki hareketten belirlenebilir.

3.1.3. Eşdeğer doğrusal analiz

Doğrusal olmayan zemin davranışının doğruluğunu kanıtlamak ve lokal jeolojik etkiyi belirlemek için eşdeğer doğrusal analiz yöntemi geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan yaklaşım içinde kayma modülü ve sönüm oranı sürekli değişim göstermektedir. Buna göre Shake (Shnabel ve diğ., 1972) ve bu çalışmada kullandığımız EERA (Bardet ve diğ., 2000) türü programlarda giriş verisi Fourier serisiyle ifade edilir ve dalga denkleminin çözümünde kullanılan transfer fonksiyonu süperpozisyon ilkesine göre çözümlenir. Bu prensipte sadece doğrusal analiz yönteminde kullanıldığından yukarıda bahsi geçen programlar için doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmaz.

Simetrik çevrimsel yüklemeye uğrayan tipik bir zemin Şekil 3.4’de gösterilen şekilde bir histerezis eğrisi sergiler. Bu eğri iki şekilde tanımlanabilir; birincisi eğrinin kendisi ile ikincisi de bu eğrinin genel şeklini temsil eden parametrelerle. Genel terminolojide bir histerezis eğrisinin şekli iki önemli parametre ile karakterize edilir; bunlar eğrinin eğimi ve genişliğidir. Eğrinin eğimi zeminin sıklığı ile ilişkilidir ve yükleme işlemi boyunca herhangi bir noktada tanjant kayma modülü, G_{tan} , ile tanımlanabilir. G_{tan} eğri boyunca değişir fakat tüm eğriyi temsil edecek bir secant kayma modülü, G_{sec} , tanımlanabilir (Tomur 2007):



Şekil 3.4 Çevrimsel yüklemeye uğrayan zeminde secant kayma modülü, G_{sec} ve tanjant kayma modülü, G_{tan} (Kramer, 1996)

(3.22)

$$G_{sec} = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

Burada τ_c ve γ_c sırası ile kayma gerilmesi ve kayma deformasyonu genlikleridir. Böylece G_{sec} histerezis eğrisinin genel eğimini ifade eder. Histerezis eğrisinin genişliği, enerji tüketiminin bir ölçümü olan ve sönüm oranı (ξ) ile tanımlanan eğri alanı ile ilişkilidir:

$$\xi = \frac{W_D}{4\pi W_S} = \frac{1}{2\pi} \frac{A_{loop}}{G_{sec}\gamma_c^2} \quad (3.23)$$

Burada W_D tüketilen enerji, W_S maksimum deformasyon enerjisi ve A_{loop} eğri içinde kalan alanı temsil etmektedir. G_{sec} ve ξ parametreleri eşdeğer doğrusal analiz parametreleri olarak bilinir ve lokal jeolojik etkinin tanımlanması için önemli parametrelerdir.

Zemin türlerini tanımlamada kayma modülü eğrileri ve sönüm oranı eğrileri tanımlanmıştır. Tanımlama için deformasyon seviyesi ile de uyumlu iterasyonlar oluşturulmuştur. Şekil 3.5'e bağlı olarak iterasyon işlemi aşağıda belirtilmiştir. Buna göre;

- Her bir tabaka için G_{sec} ve ξ başlangıç değerleri hesaplanır. Başlangıç değerleri genellikle aynı deformasyon seviyesine denktir. Küçük deformasyon değerleri başlangıç hesabı için sık kullanılır.
- Hesap edilen G_{sec} ve ξ değerleri, her bir tabaka için zaman ortamı kayma deformasyonu değerlerini içeren lokal jeoloji etkisini hesaplamak için kullanılır.
- Hesaplanan zaman ortamı kayma deformasyonları içindeki maksimum kayma deformasyonundan her bir tabaka içindeki efektif kayma deformasyonu belirlenir. N.tabaka için bu;

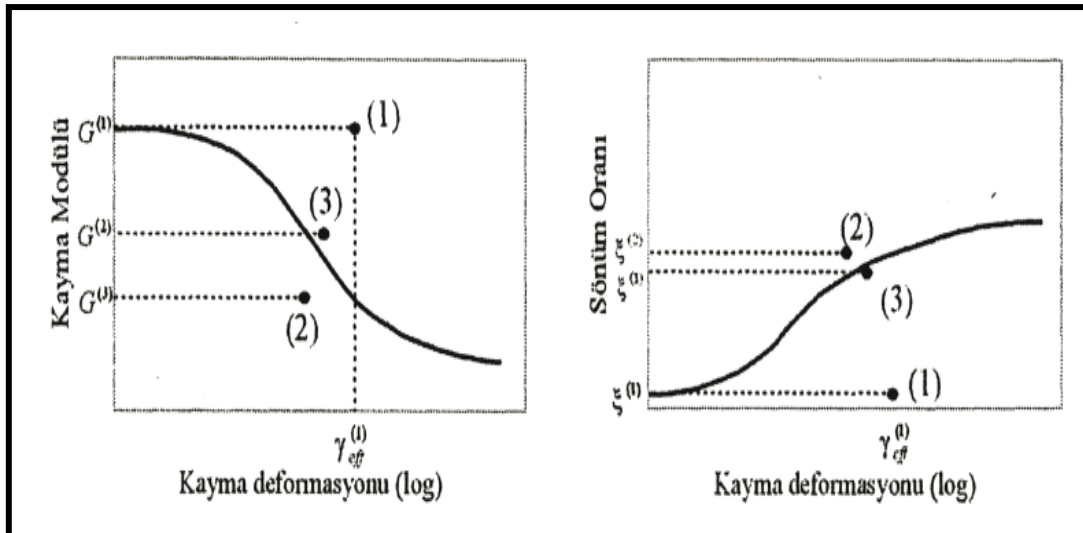
$$\gamma_{eff}^{(i)} = R_f \gamma_{maxN}^{(i)} \quad (3.24)$$

denkleminde belirlenir. Burada üst indis iterasyon sayısını gösterir ve R_f efektif kayma deformasyonunun maksimum kayma deformasyonuna oranıdır. R_f deprem büyüklüğüne bağlıdır ve,

$$R_y = \frac{M - 1}{10} \quad (3.25)$$

elde edilir.

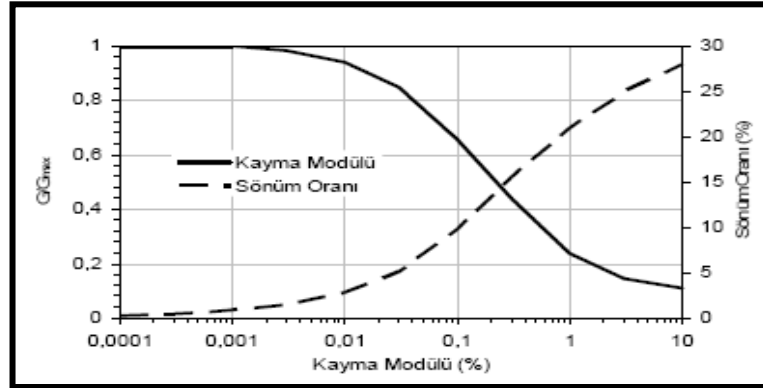
- Bu efektif kayma deformasyonundan yeni eşdeğer doğrusal değerler, $G^{(i+1)}$ ve $\xi^{(i+1)}$, yeni iterasyon için seçilir.
- 2 - 4 adımlar, hesaplanan kayma modülü ve sönüm oranı arasındaki fark tüm tabakalarda ard arda gelen iki iterasyon arasında önceden belirlenen bir değer altına düşene kadar tekrarlanır. Yaklaşma mutlak olarak garanti edilmemesine rağmen 3-5 iterasyon sonrasında genellikle farklar % 5-10'un altına düşer.



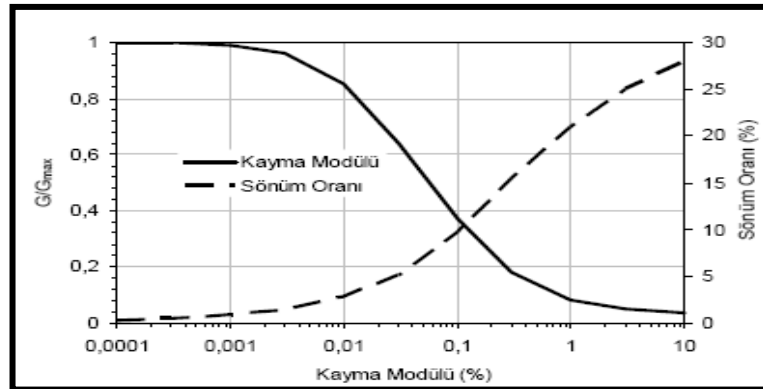
Şekil 3.5 Eşdeğer doğrusal analizde kayma deformasyonuna bağlı olarak sönüm oranı ve kayma modülünün iterasyonu (Kramer, 1996)

3.2. Kayma modülü-sönüm oranı eğrilerinin tanımı

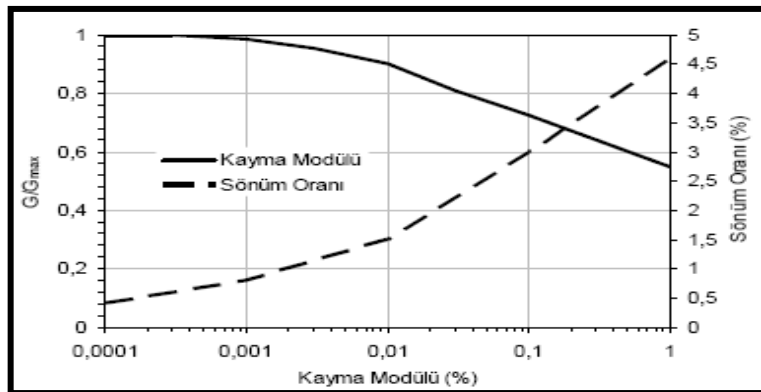
Şekil 3.14'de kil, kum ve kaya için kayma modülü - sönüm oranı eğrileri yer almaktadır. Şekile göre % 0,1 kayma modülü için eğrinin düşey eksenini kestiği noktaya bakıldığında, G/G_{max} oranı sırayla büyükten küçüğe doğru kilde, kumda ve kayadadır. Buna göre maksimum kayma modülü (G_{max}) (rijidite) kayada en büyük, deformasyon ve sönüm oranı kum ve kile göre daha düşüktür.



(a) Kil için kayma modülü-sönüm oranı eğrileri



(b) Kum için kayma modülü-sönüm oranı eğrileri



(c) Kaya için kayma modülü-sönüm oranı eğrileri

Şekil 3.6 EERA programı içinde yer alan kayma (kesme) modülü- sönüm oranı eğrileri: (a) Kil için (Seed ve Sun, 1989), (b) kum için (Seed ve Idriss, 1970, Idriss, 1990), (c) kaya için.

BÖLÜM 4. PS LOGU ÖLÇÜ NOKTALARI İÇİN UYGULAMA

4.1. Güzergah boyunca yapılan ölçüm noktalarının jeolojisi

4.1.1. Bakırköy formasyonu

Orta – Üst Miyosen yaşlı bu formasyon, proje güzergahının en batısında, 0+960 – 1+800 km arasında kireçtaşı kil siltli kumlu kil ardalanması şeklinde görülmektedir. Killer aşırı konsolide çok katı-sert kıvamdadır. Kireçtaşı tabakaları yer altı suyu içermektedir. Killerin tünel seviyesinde SPT N değerleri 30'un üzerinde olup derinlikle beraber değerler artmaktadır.

4.1.2. Güngören formasyonu

Yapılan sondajlara göre, Orta-üst Miyosen yaşlı Güngören Formasyonu güzergahın batısında km 1+800 ile km 4+560 arasında tünel seviyesinde, kum mercekli aşırı konsolide, çok katı-sert kıvamlı kil / siltli kil olarak görülmektedir. Formasyon içerisindeki kum mercekleri basınçlı akifer niteliğinde yer altı suyu taşımaktadır.

4.1.3. Çukurçeşme formasyonu

Orta-üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme Formasyonu'na, yapılan sondajlara göre, Yenikapı istasyon bölgesinde, km 3+770 ile km 3+900 arasında, sınırlı bir alanda, istasyon temel taban seviyesinin az üzerinde, Güngören kilinin altında, Trakya Formasyonu'nun üzerinde rastlanmıştır. Formasyon sarımsı kahverenkli sıkı-çok sıkı killi siltli kum ve aralarda yer yer ince kil bantları ile temsil edilmektedir. Tünel seviyesinde SPT N değerleri 50'nin üzerinde olup derinlikle beraber değerler artmaktadır. Formasyon yarı basınçlı / basınçlı akifer niteliğinde yer altı suyu taşımaktadır.

4.1.4 Tuzla formasyonu

Marmaray güzergahı boyunca Paleozoyik yaşlı istifin üst düzeylerinde bulunan Üst Devoniyen yaşlı Tuzla Formasyonu, açık gri - gri renkli, orta derecede - az ayrılmış, tünel seviyesinde ayrılmamış, orta sağlam yumrulu kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Yumrulu kireçtaşlarının ilksel yapısı orta kalın tabakalı kireçtaşı ile laminalı çamurtaşı aralanmalarından oluşmaktadır. Bu formasyona Asya yakasında, Bağlarbaşı Tepesi'nin altında ve Üsküdar Meydanı- Bağlarbaşı Tepesi arasında 2 ayrı sondajda rastlanmıştır. Tuzla Formasyonu kaya kütlesi ortalama 60 MPa tek eksenli basınç mukavemetine sahip, orta sağlam-sağlam dayanımlıdır.

4.1.5 Baltıman formasyonu

İstanbul Paleozoyik istifinde, Tuzla Formasyonu üzerine Alt Karbonifer yaşlı Baltıman Formasyonu gelmektedir. Formasyon, siyah renkli, laminalı-ince tabakalı fosfat yumrularından oluşan aşırı kıvrımlı sağlam Çörtler ile temsil edilmektedir. Bu formasyona Asya yakasında yapılan sondajlardan sadece bir tanesinde rastlanmıştır.

4.1.6 Trakya formasyonu

Alt - Orta Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu yeşilimsi kahve-gri koyu gri renkli kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı (şeyl) aralanmalarından oluşan derin denizel, fliş karakterli bir istiftir. Kaya kütlesi genellikle orta derecede ayrılmıştan ayrılmamış-tazeye kadar ayrışma sergilemekte, süreksizlikleri yakın-orta derecede aralıklıdır. Bozulmamış kaya mukavemeti, zayıf kaya ile çok sağlam kaya aralığında yer almaktadır. Andezit, diyabaz sokulumları Trakya Formasyonu'nu dayk ve sil şeklinde kesmektedir. Sokulumlar dokanaklarda pişik ve ezik kontak zonlar meydana getirmekte ve bunun neticesinde kaya kalitesi bozulmakta ve buralardan yer altı suyu geliri görülmektedir. Trakya formasyonu Jeoteknik açıdan üç bölüme ayrılabilir.

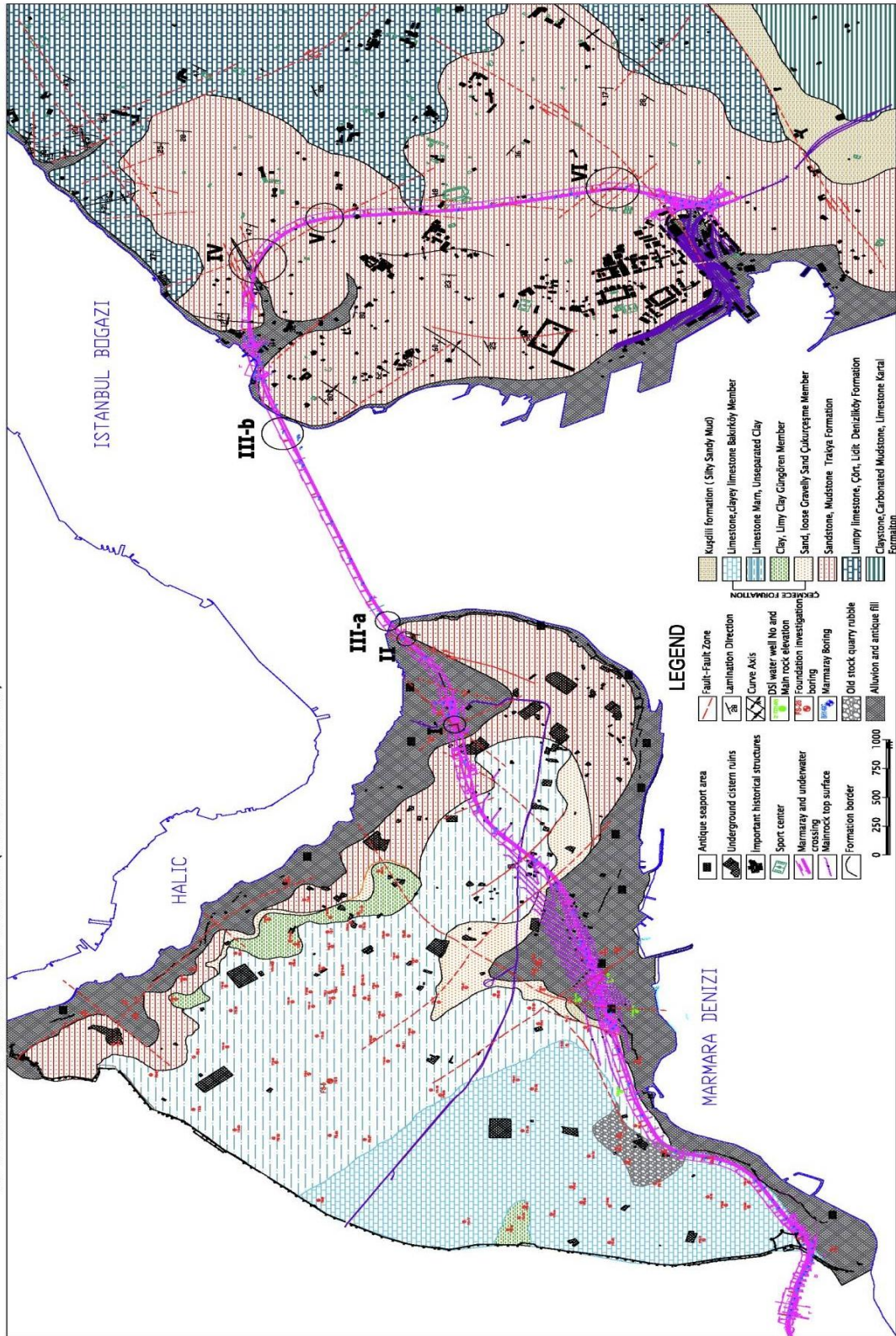
Faylı / Ezik zonlar: Bu zonlara santimetreden bir kaç metre seviyesine kadar varan fay zonlarında, ezilmiş/makaslanmış çamurtaşı (şeyl) seviyelerinde ve sokulum dokanaklarında ratlanılmaktadır. Bu zonların bozulmamış-intact seviyelerinde kayanın tek eksenli basınç mukavemeti 2 ile 20 MPa arasında değişmektedir.

Ortalama kaya kütlesi: Bu kütle kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı (şeyl) ardalanmalarından meydana gelmekte olup, 70 MPa tek eksenli basınç mukavemetine sahip, orta sağlam-çok sağlam kaya sınıfındadır.

Sağlam kaya kütlesi: Bu bölüm kayaçlar ayrışmamış taze, 180 MPa'dan daha yüksek basınç direncine sahip, çok sağlam kumtaşı ve diyabaz sokulumlarından oluşmaktadır.

Tablo 4.1 Delme tünel boyunca zemin durumu (Şennazlı N. , Şimşek O. ,Biberoğlu S. , Olgunöz Ö. 2005 yayınlanmamış)

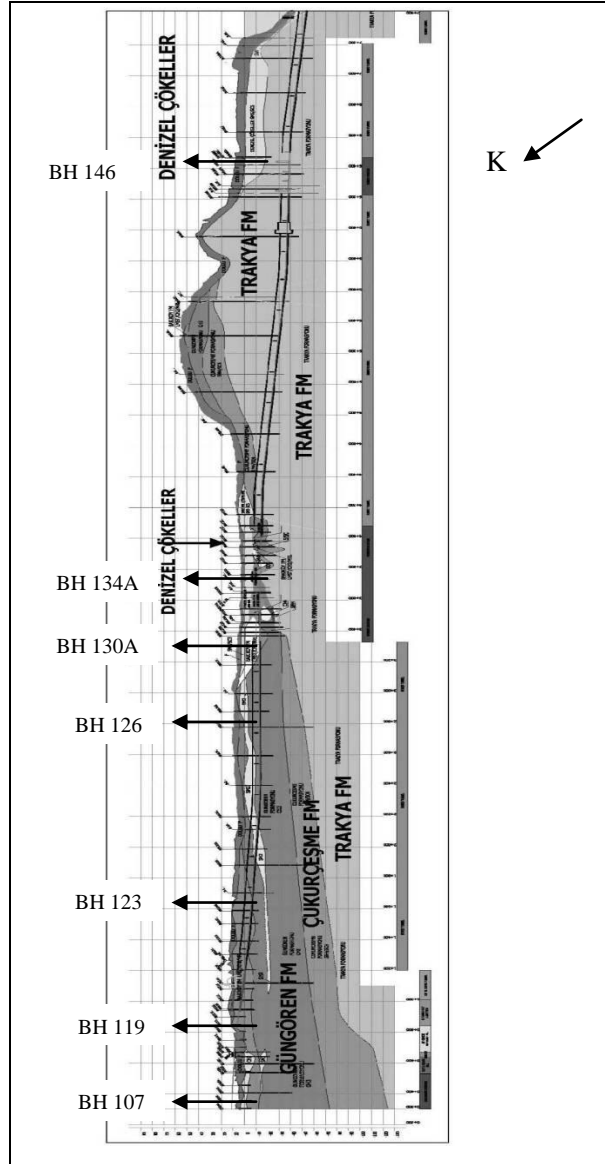
KM	YAPI	FORMASYON
0+000 – 0+960	Yüzey	Dolgu
0+960 – 1+200	Aç - Kapa	Dolgu
		Bakırköy
1+200 – 1+800	Delme Tünel	Bakırköy
1+800 – 3+685	Delme Tünel	Güngören
3+685 – 4+080	Yenikapı İstasyon Aç – Kapa	Dolgu
		Denizel Çökel
		Güngören
		Çukurçeşme
4+080 – 4+140	Delme Tünel	Güngören
4+140 – 4+420	Delme Tünel	Trakya
4+420 – 4+560	Delme Tünel	Güngören
4+560 – 6+225	Delme Tünel	Trakya
6+225 – 6+460	Sirkeci İstasyon	Trakya
6+460 – 7+427	Delme Tünel	Trakya



Şekil 4.1 İstanbul jeoloji haritası ve Marmaray Projesi güzergahı

4.3. PS logu arazi verileri

Şekil 4.3’de proje güzergahının Avrupa Yakası’nda yapılan sondaj noktaları ve formasyonlar gösterilmektedir. BH 107, BH 119, BH 123, BH 126, BH 130A, BH 134A ve BH 146 PS log uygulaması yapılan kuyulardır. Sondaj logu ve laboratuvar sonuçları ekler bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.2 Proje güzergahının Avrupa Yakası’nda yapılan sondaj noktaları, PS log uygulanan kuyular ve formasyonlar gösterilmektedir.

4.4. Fourier ve tasarım spektrumları

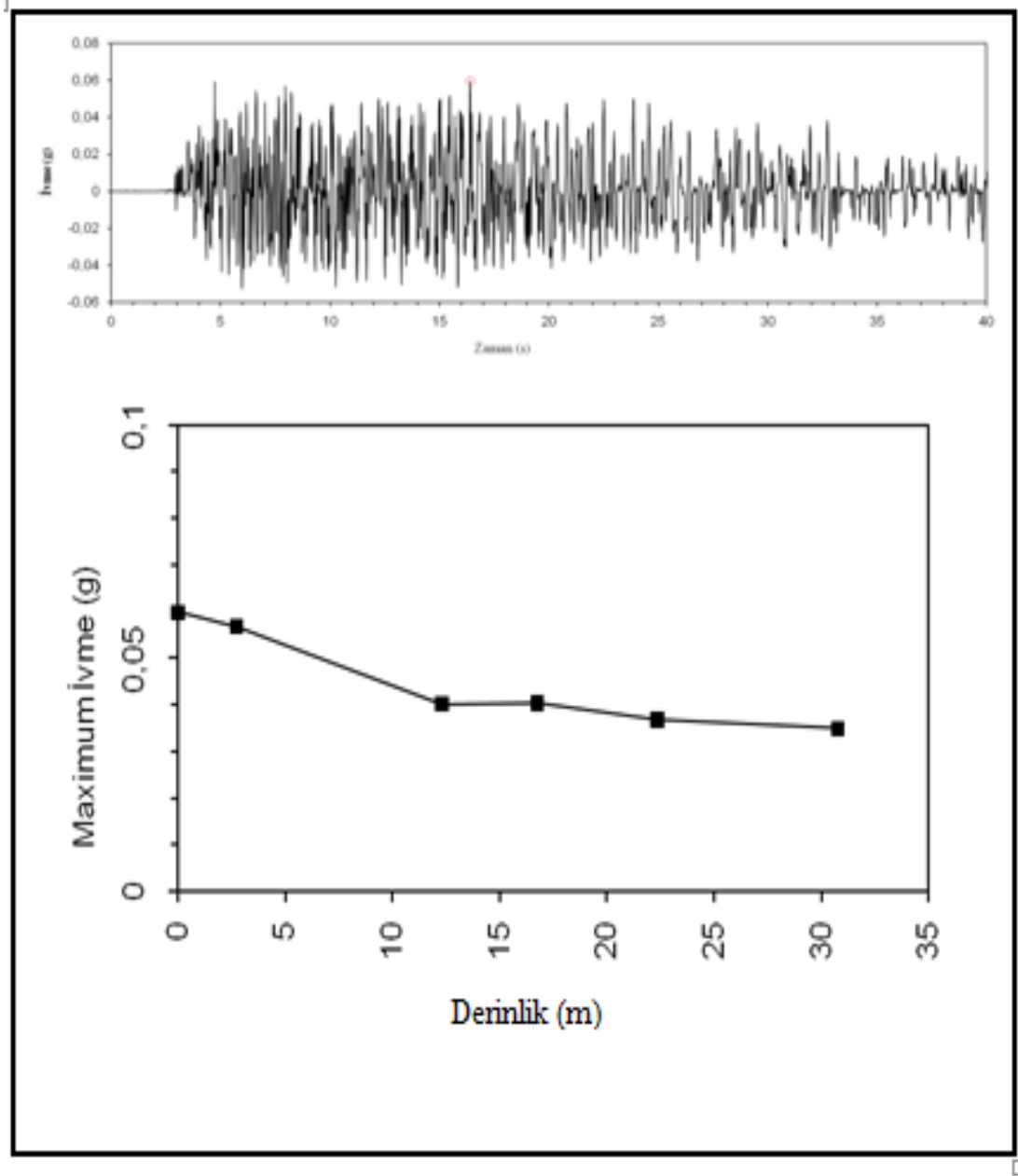
Aşağıda 7 sondaj noktasına ait zemin kesitlerinin 1999 Kocaeli – Gölçük Depremi'nin İstanbul Merkez Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü doğu – batı bileşen ivme kaydı (maksimum ivme 0,04287 g) kullanılarak EERA programında hesaplanan Fourier ve tasarım spektrumlarının yanı sıra genlik büyütmelerine ve zaman ortamındaki ölçeklenmiş ivmeye de yer verilmiştir (EERA programında hesaplanan veriler ekler bölümünde yer almaktadır)

a) BH 107 sondaj noktası

Tablo 4.2. BH 107 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ G _{max} (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1	Kum	2,75	765,2	1,71	204,37
2	Kil	9,55	903	1,71	214,14
3	Kil	4,45	2071,23	1,71	326,06
4	Kum	5,6	1531,17	1,71	279,87
5	Kil	8,4	1971	1,71	317,64
6	Kil	33,7	2775,14	1,71	375,88

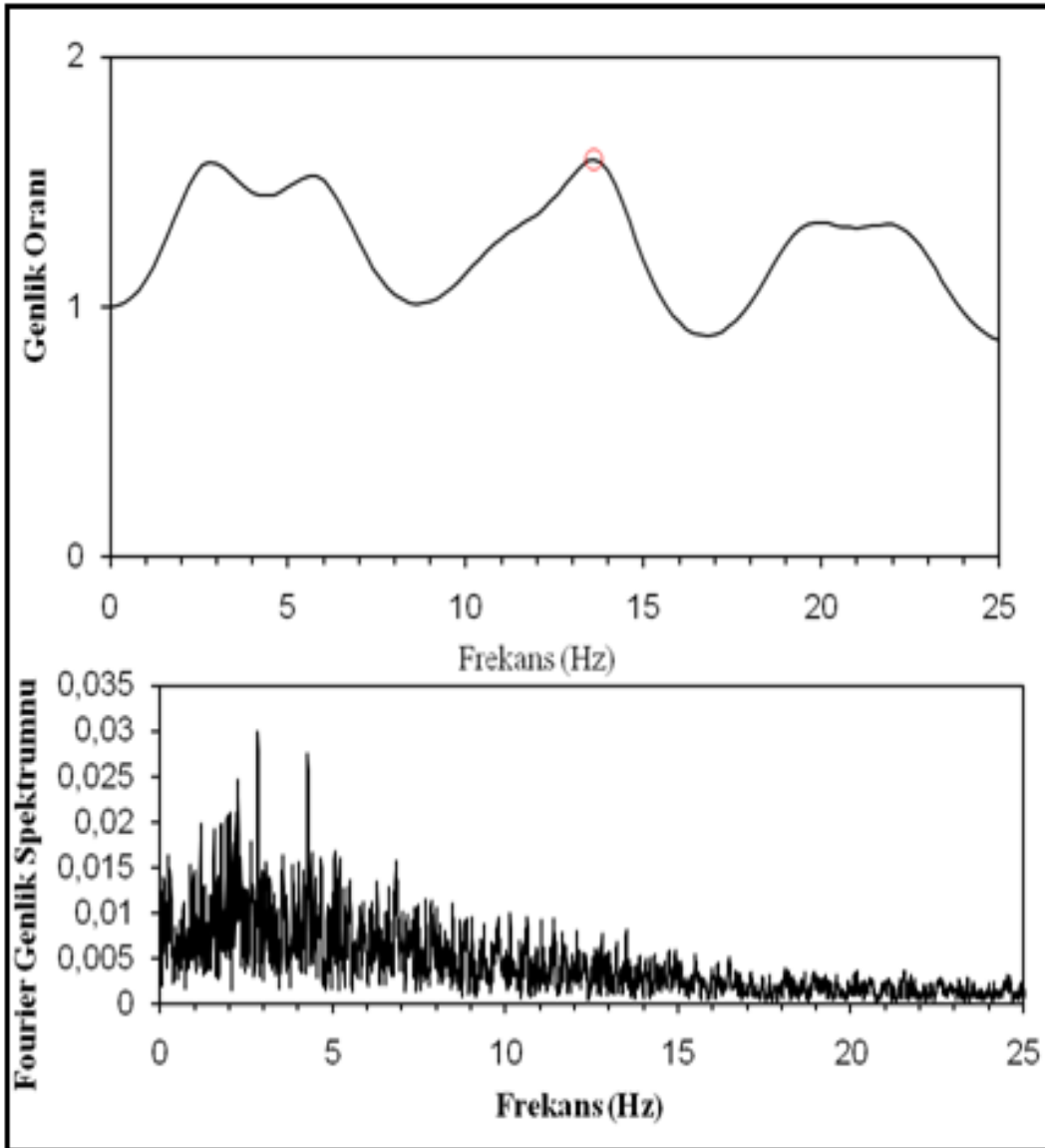
Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Tablo 4.2'ye göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,060 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,060 g civarlarına doğru büyötmektedir).

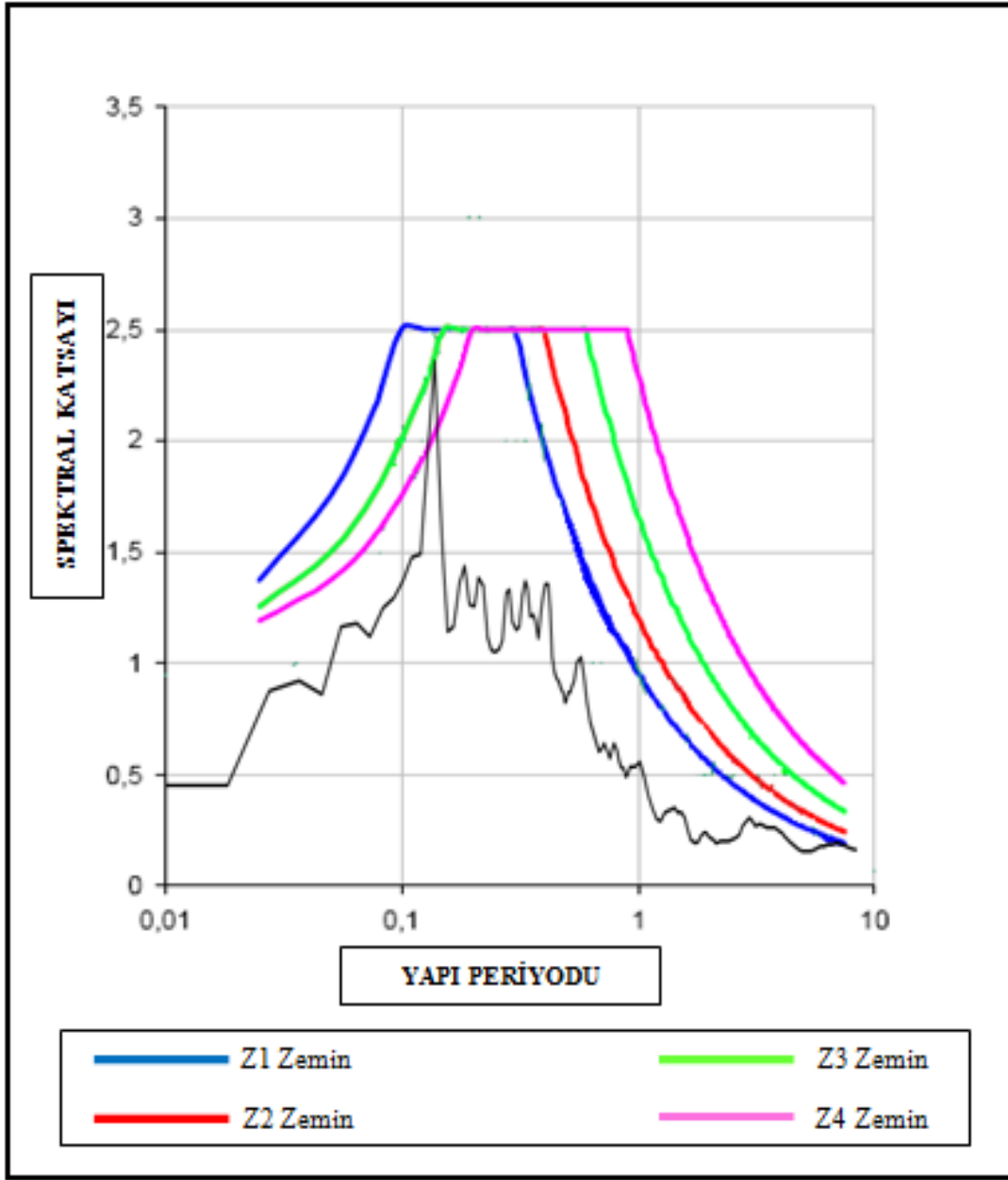
Aşağıda BH 107 sondaj noktasına ait genlik büyötmesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.4 BH 107 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 10-15 Hz civarından sonra azaldığı görülmektedir.

BH 107 sondaj noktasında 1999 Kocaeli – Gölçük Depremi'ne göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır.



Şekil 4.5 BH 107 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

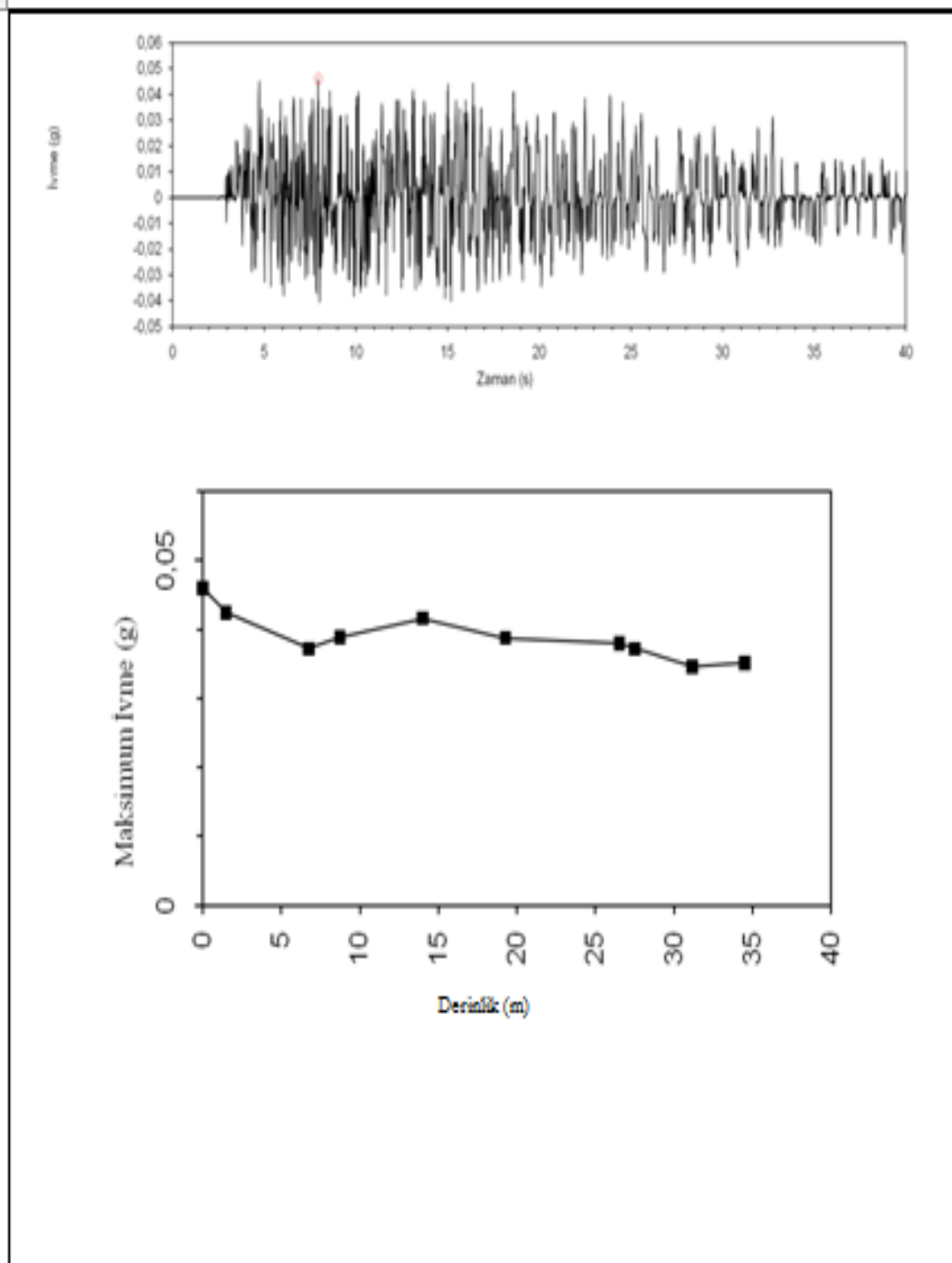
BH 107 sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,4'dür. Ancak periyot 0,12 – 0,70 sn aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına yakındır (Şekil 4.6)

b) BH 119 sondaj noktası

Tablo 4.3 BH 119 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

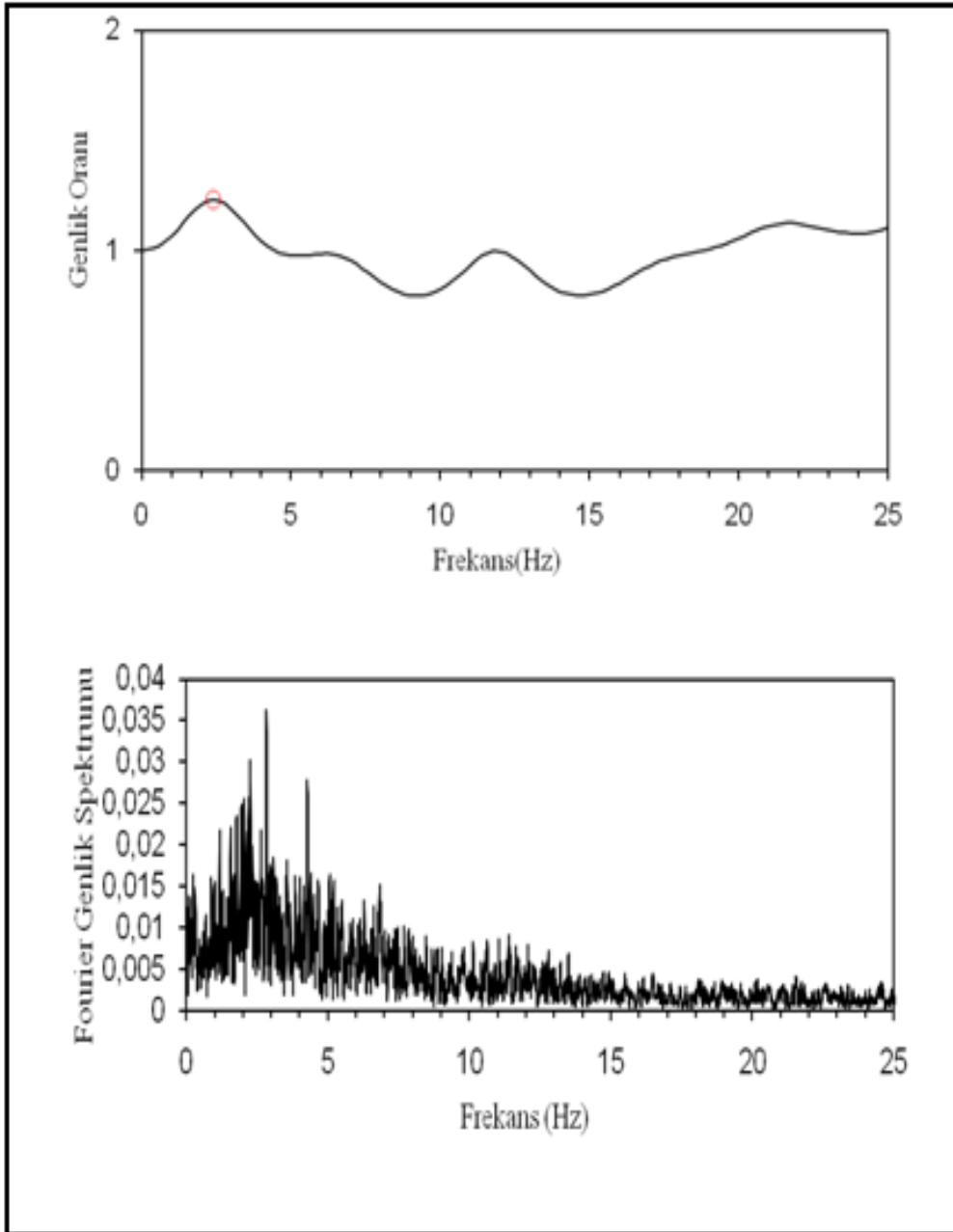
TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ G _{max} (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1	Kum	1,5	944,26	1,74	238,1
2	Kil	5,25	2692,87	1,74	370,53
3	Kil	2	1741,07	1,74	297,2
4	Kil	5,25	1498,96	1,74	286
5	Kum	5,25	1601,14	1,74	286
6	Kil	7,25	2095,42	1,74	327,2
7	Kil	1	1957,76	1,74	317,55
8	Kil	3,65	1949,22	1,74	315,56
9	Kum	3,35	2543,20	1,74	359,02
10	Kil	31,75	2928,47	1,74	384,71

Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



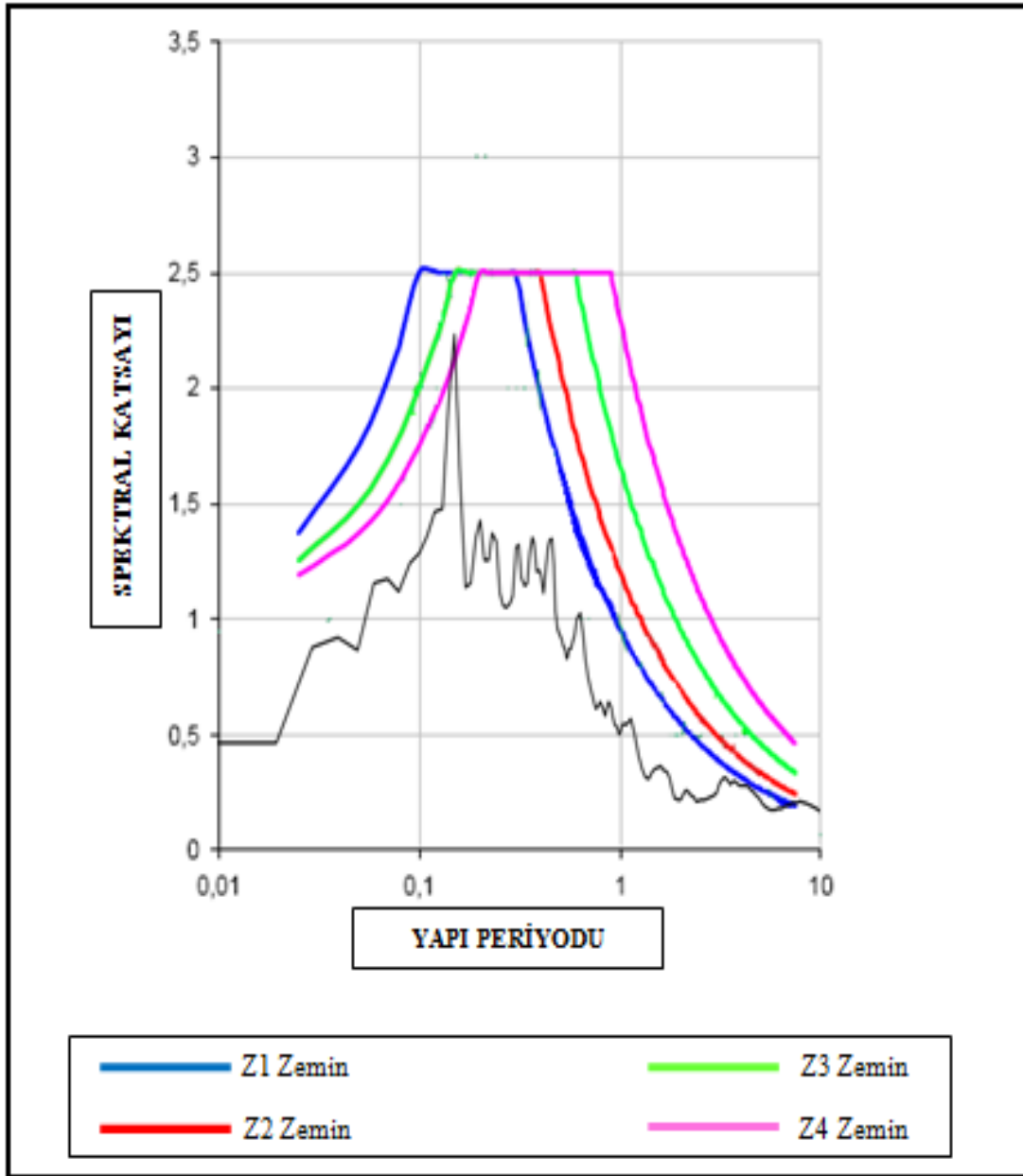
Şekil 4.6 Tablo 4.3 göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,046 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,046 g civarlarına doğru büyütmektedir) Aşağıda BH 119 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.7 BH 119 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 11-14 Hz civarından sonra azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.8 BH 119 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

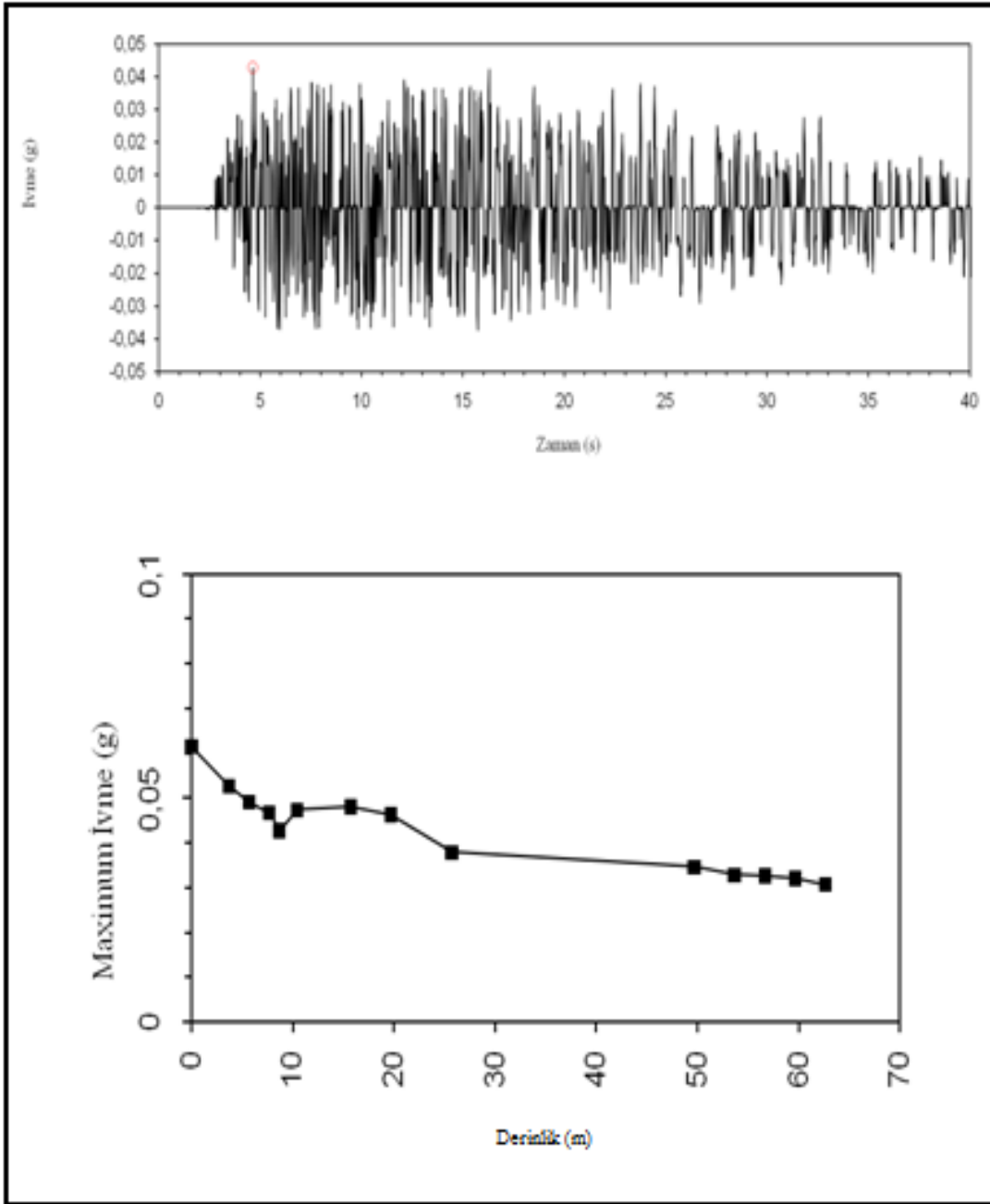
BH 119 sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,3'dir. Ancak periyot 0,12 – 0,72 sn aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına yakındır.

c) BH 123 sondaj noktası

Tablo 4.4. BH 123 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

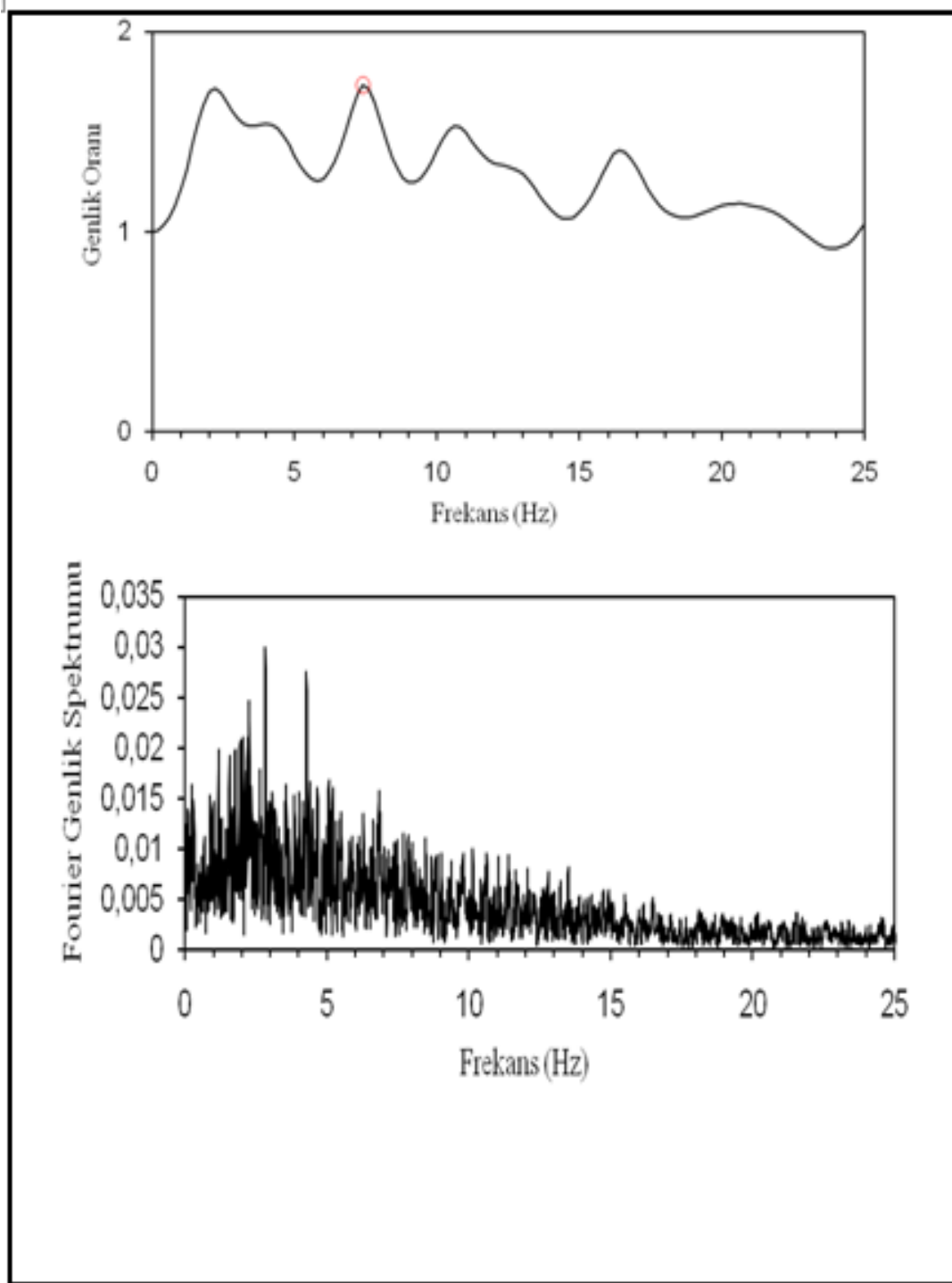
TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ G _{max} (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1	Kum	3,7	550,72	1,81	194,5
2	Kil	2	811,97	1,81	211,63
3	Kil	2	987,26	1,81	224,73
4	Kil	1	1082,25	1,81	236,1
5	Kum	1,75	1183,85	1,81	245,27
6	Kil	5,25	1196,62	1,81	246,13
7	Kil	4	1533,22	1,81	278,76
8	Kum	6	1864,56	1,81	308,81
9	Kil	24	3161,36	1,81	401,49
10	Kil	4	4433,06	1,81	480,53
11	Kum	3	4484,51	1,81	501,34
12	Kum	3	5336,41	1,81	518,62
13	Kum	2,8	4696,62	1,81	517,2
14	Kum	1,6	4371,96	1,81	503,63

Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



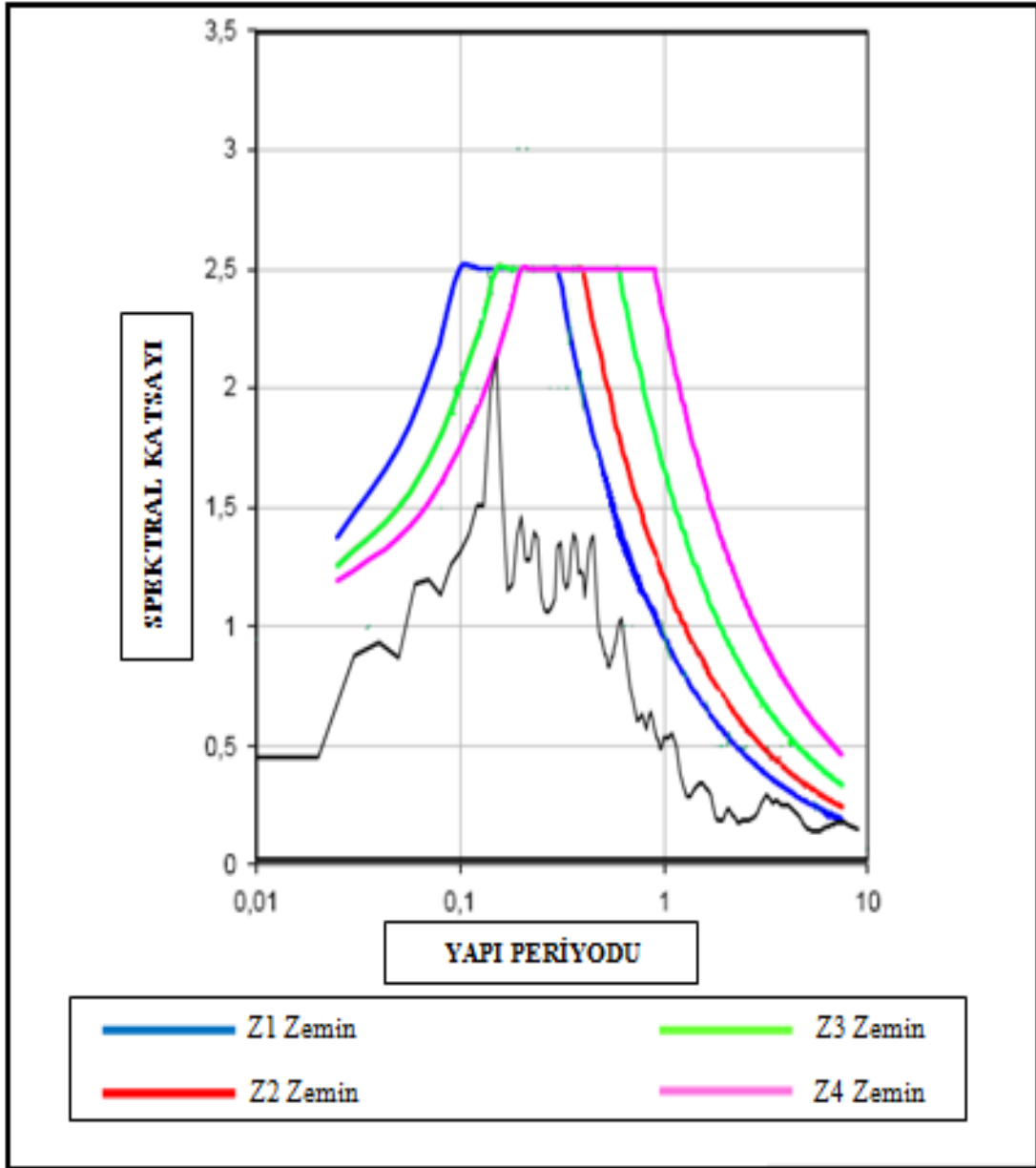
Şekil 4.9 Tablo 4.4'e göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,043 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,043 g civarlarına doğru büyütmektedir). Aşağıda BH 123 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.10 BH 123 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 13-16 Hz civarından sonra azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.11 BH 123 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

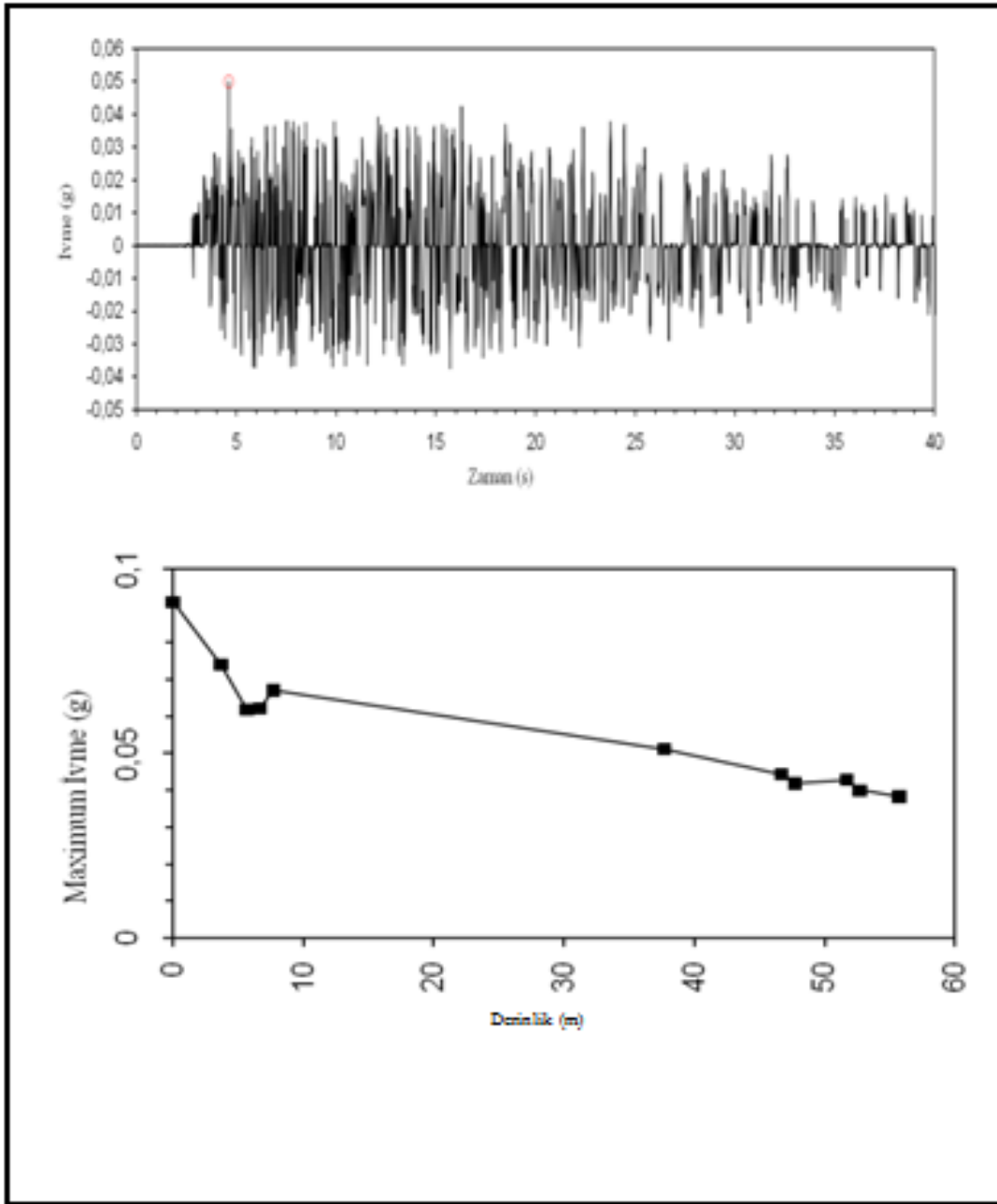
BH 123 sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,1'dir. Ancak periyot 0,12 – 0,72 sn aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına yakındır.

d) BH 126 sondaj noktası

TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ G _{max} (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1	Kum	3,7	1314,75	1,63	291,9
2	Kum	2	1158,48	1,7	262,9
3	Kum	1	1830,01	1,76	314,98
4	Kum	1	3046,13	2,03	394,2
5	Kil	30	2431,67	1,84	367,59
6	Kum	9	4018,8	1,96	485,34
7	Kum	1	4135,71	1,94	467,06
8	Kil	4	4495,02	1,91	489,13
9	Kil	1	5669,62	1,77	534,3
10	Kaya	3	12941,1	1,99	782,52
11	Kaya	8	30808,28	1,78	1162,9

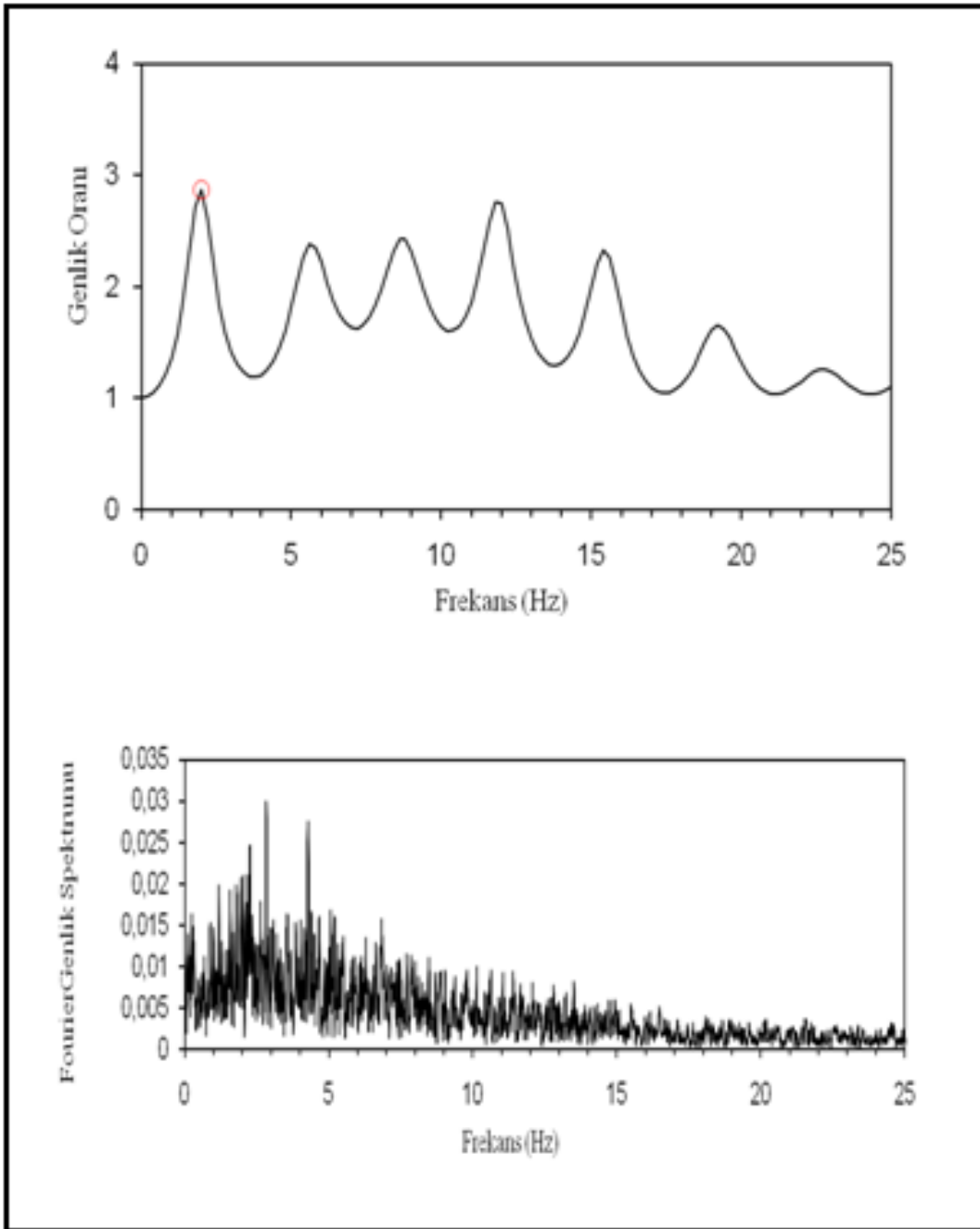
Tablo 4.5 BH 126 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



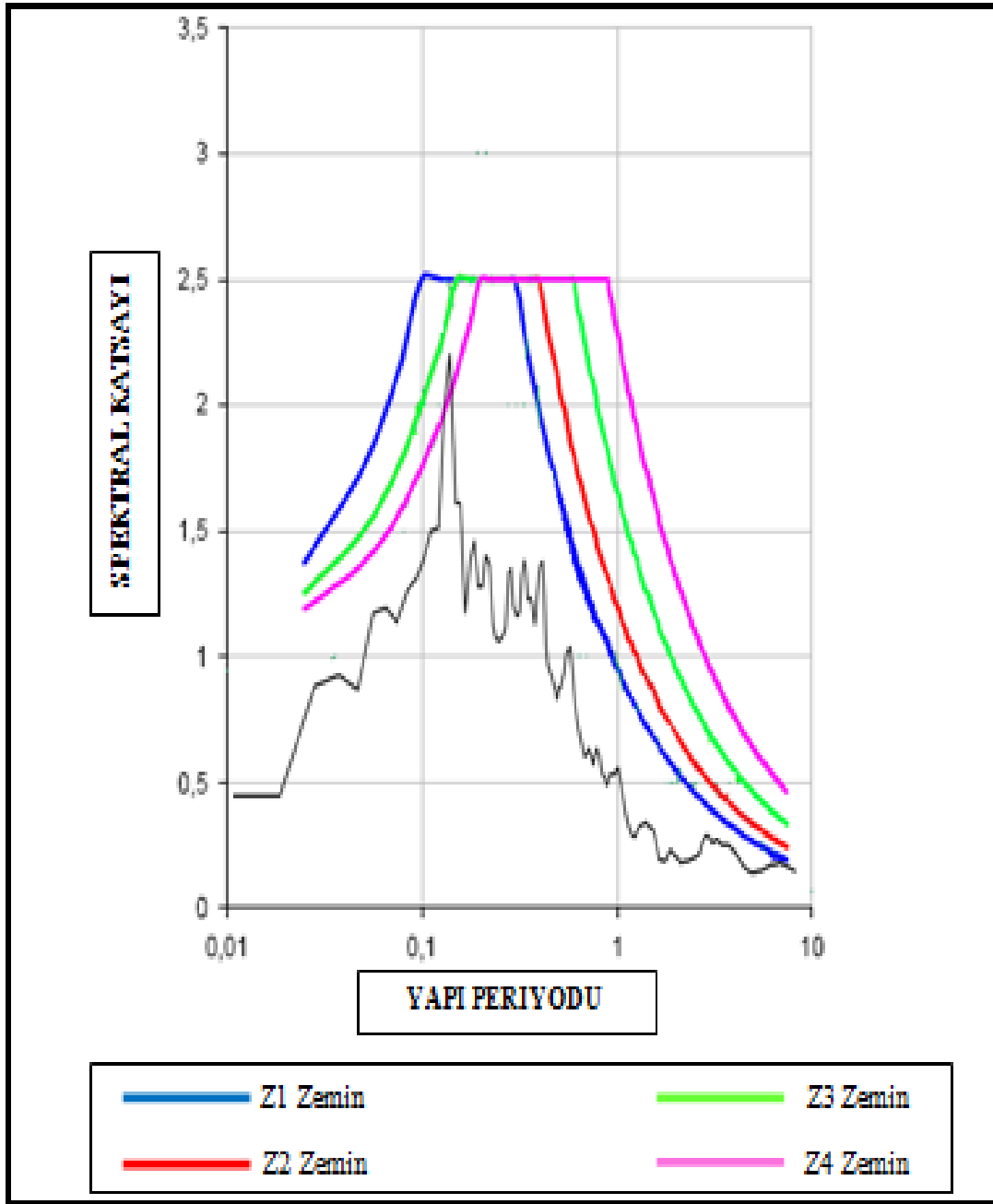
Şekil 4.12. Tablo 4.5'e göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,050 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,050 g civarlarına doğru büyütmektedir).Aşağıda BH 126 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.13. BH 126 sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 11-13 Hz civarından sonra azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.14. BH 126 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

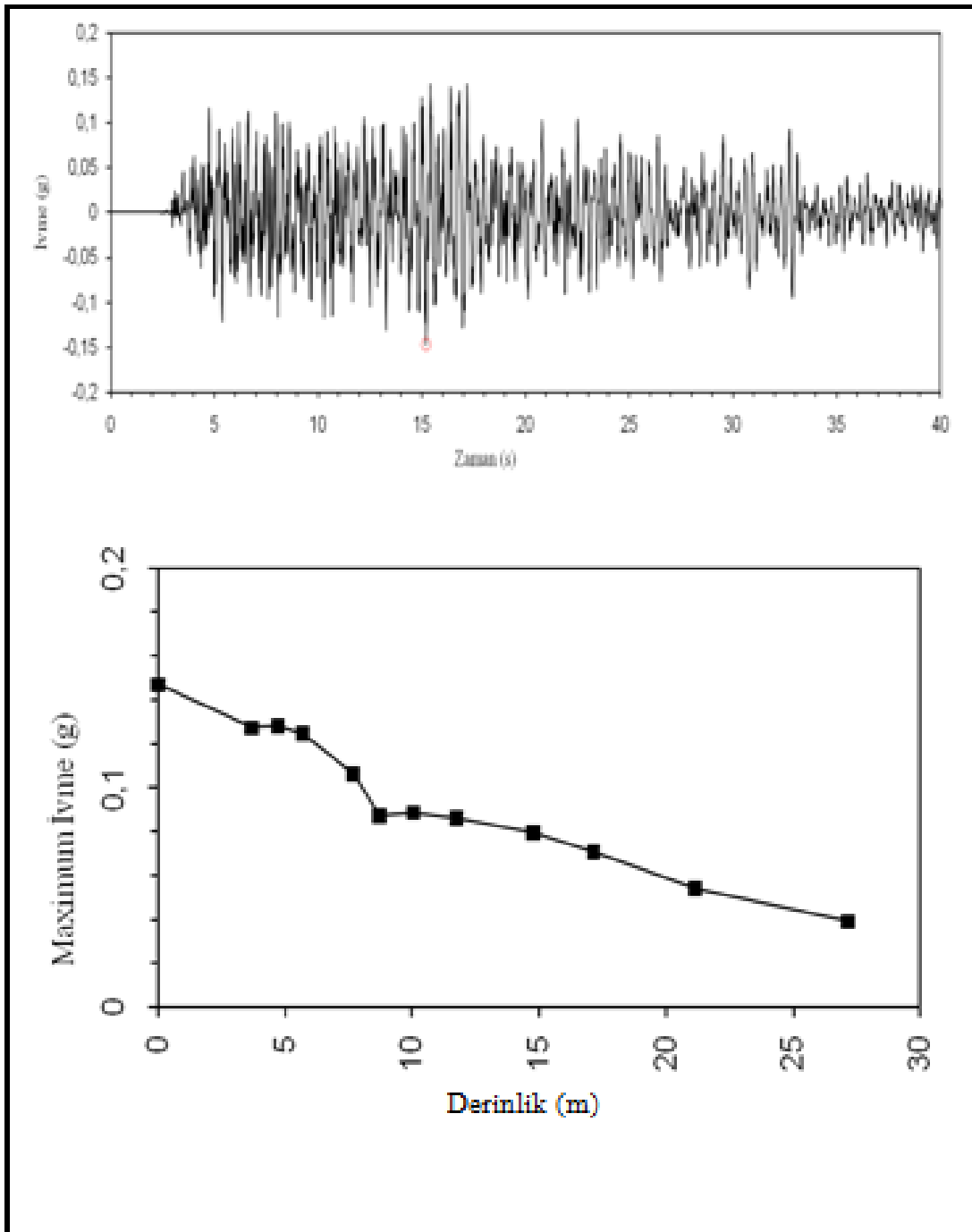
BH 126 sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,2'dir. Ancak periyot 0,13 – 0,72 sn aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına yakındır.

e) BH 130A sondaj noktası

Tablo 4.6 BH 130A sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

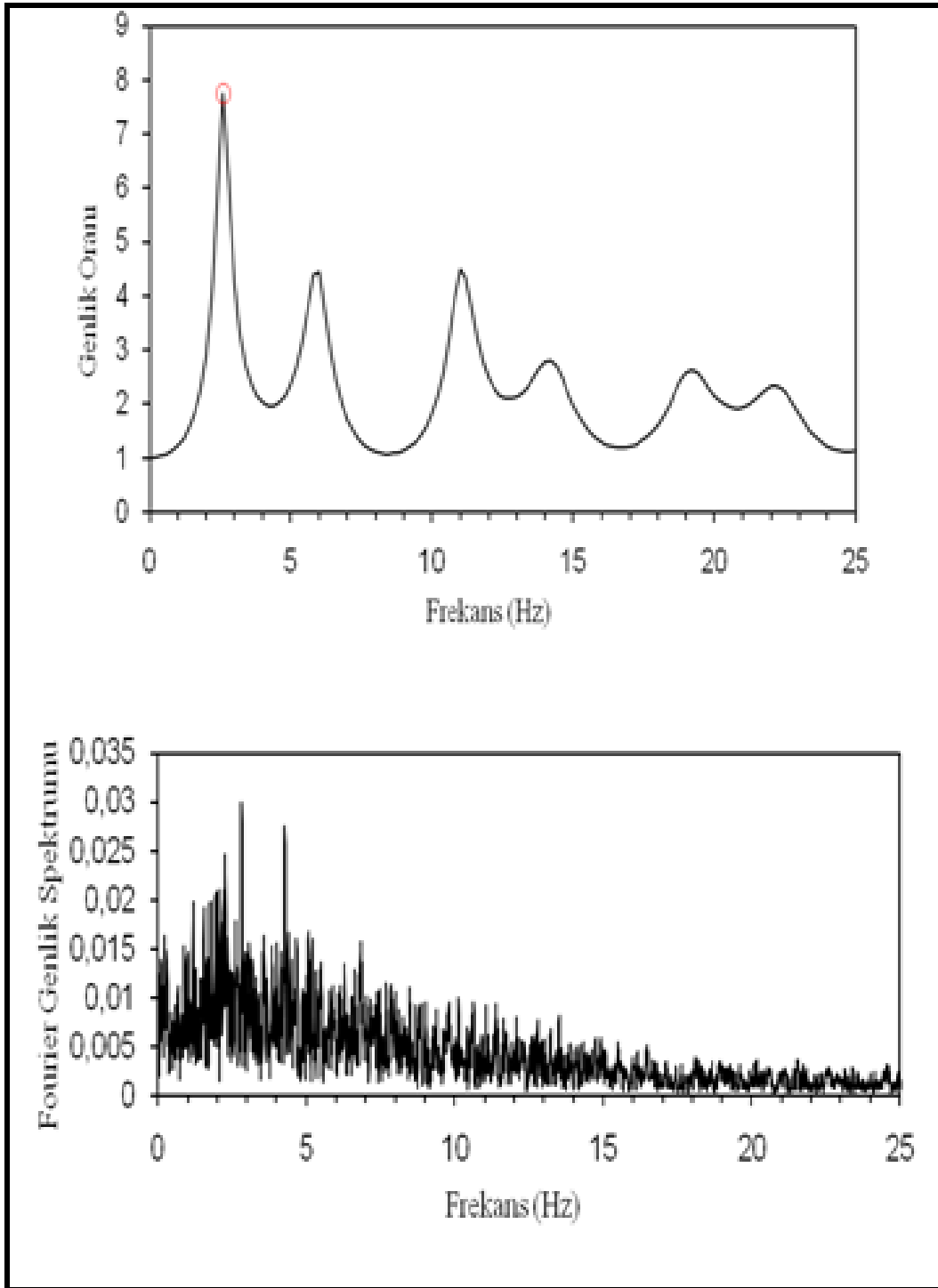
TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ G _{max} (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1	Kum	3,7	305,35	1,85	151,4
2	Kum	1	333,13	1,85	158,25
3	Kum	1	576,4	1,85	195,7
4	Kum	2	384,11	1,85	158
5	Kum	1	351,98	1,85	151,4
6	Kum	1,35	1199,16	1,85	260,03
7	Kum	1,7	1747,83	1,85	311
8	Kil	3	1711,23	1,85	299,1
9	Kil	2,4	1980,23	1,85	318,98
10	Kil	4	1642,46	1,85	290,28
11	Kum	6	3661,69	1,85	435,75
12	Kaya	18	118300,24	1,85	2173,42

Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



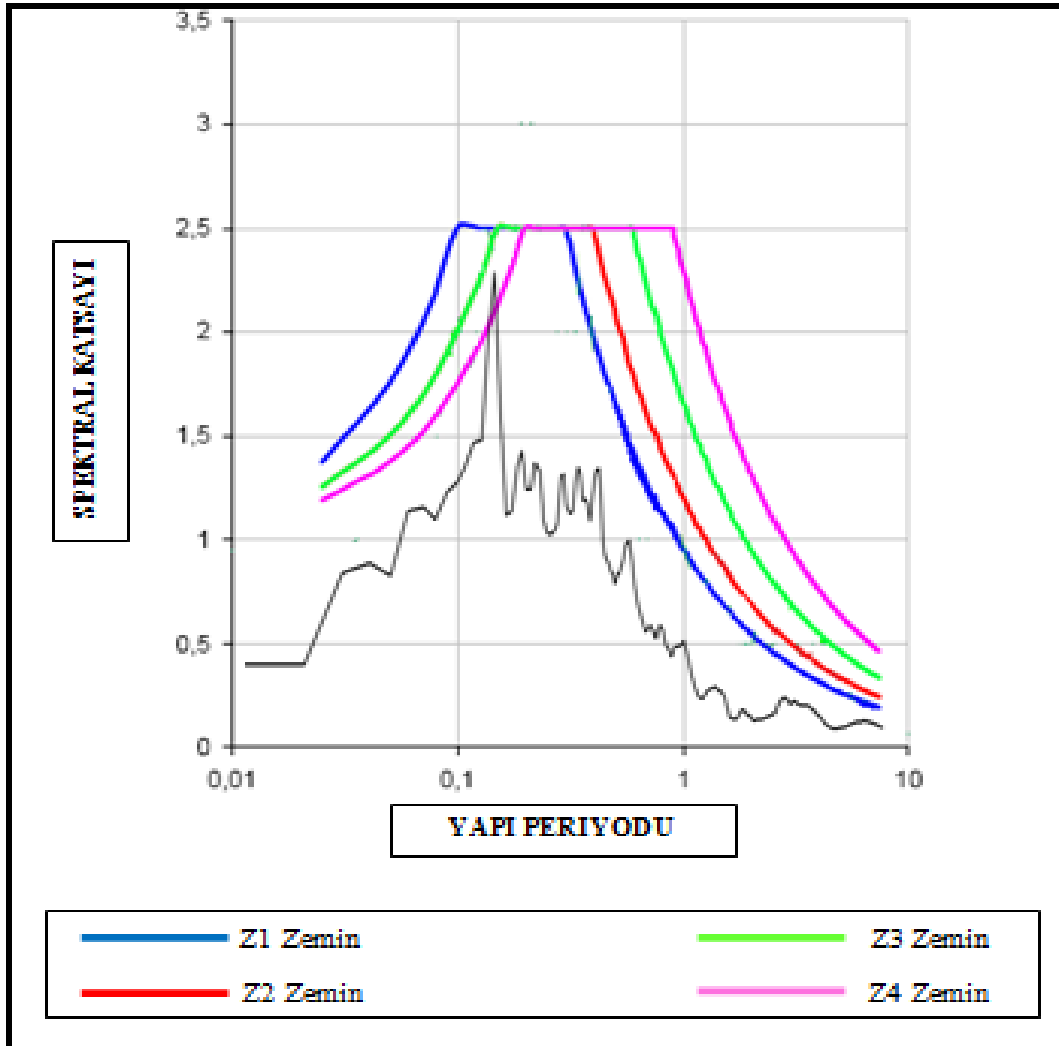
Şekil 4.15. Tablo 4.6'ya göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,147 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,147 g civarlarına doğru büyütülmektedir). Aşağıda BH 130A sondaj noktasına ait genlik büyütmesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.16. BH 130A sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 7 - 13 Hz civarından sonra azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.17. BH 130A sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

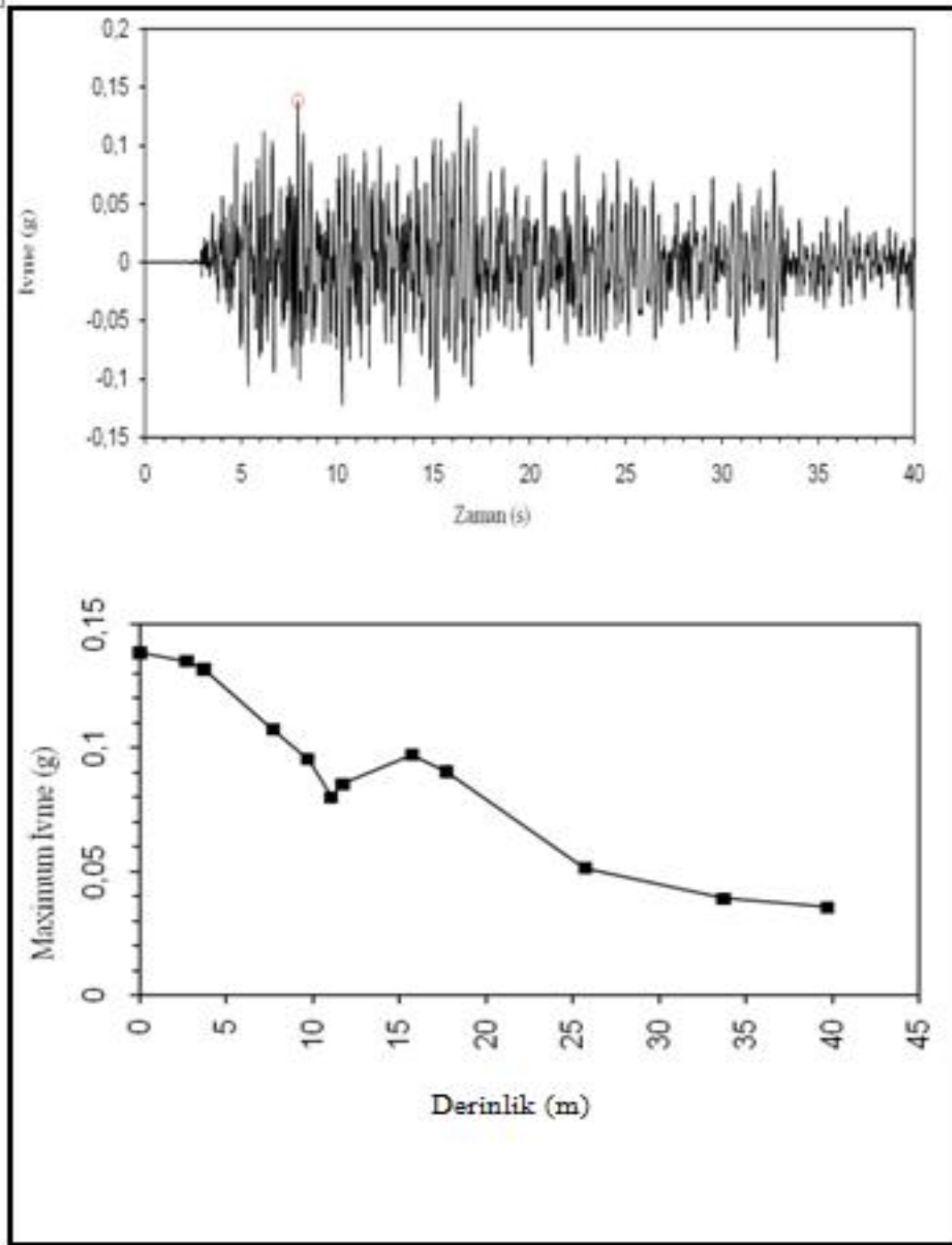
BH 130A sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,3'dir. Ancak periyot 0,12 – 0,72 sn aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına yakındır.

f) BH 134A sondaj noktası

Tablo 4.7. BH 134A sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

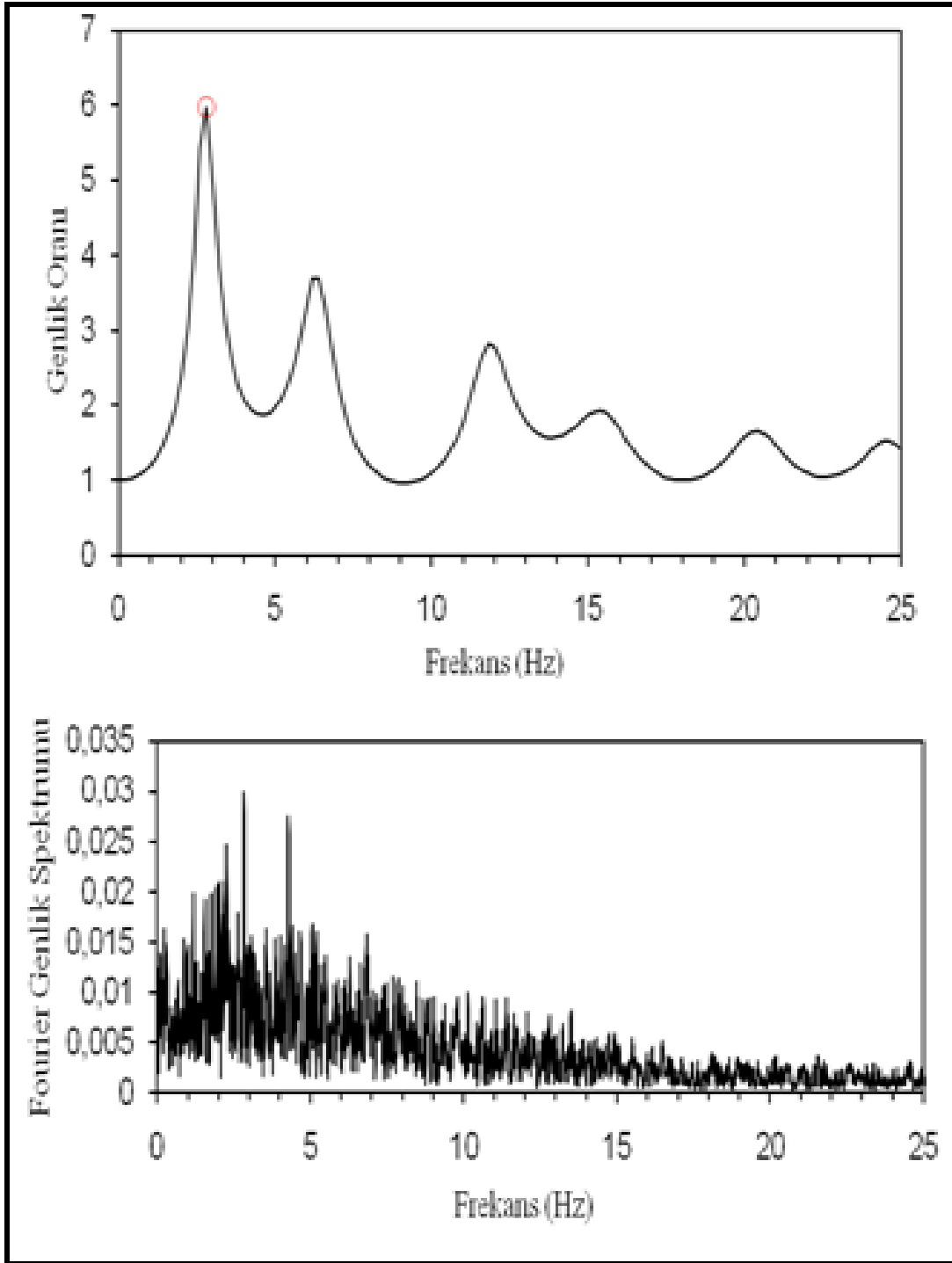
TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ G _{max} (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1		2,7	1558,69	2,23	318,8
2	Kum	1	639,69	2,23	209,15
3	Kum	4	554,19	2,23	195,7
4	Kum	2	633	2,23	202,25
5	Kum	1,35	883,94	2,23	225,97
6	Kil	0,65	1321,36	2,23	262,8
7	Kum	4	2424,45	2,23	350,54
8	Kum	2	3684,66	2,23	429,7
9	Kil	8	2687,39	2,23	367,95
10	Kil	8	6176	2,23	552,35
11	Kaya	6	72188,99	2,23	1728,41
12	Kaya	6	85333,53	2,23	1880,46

Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



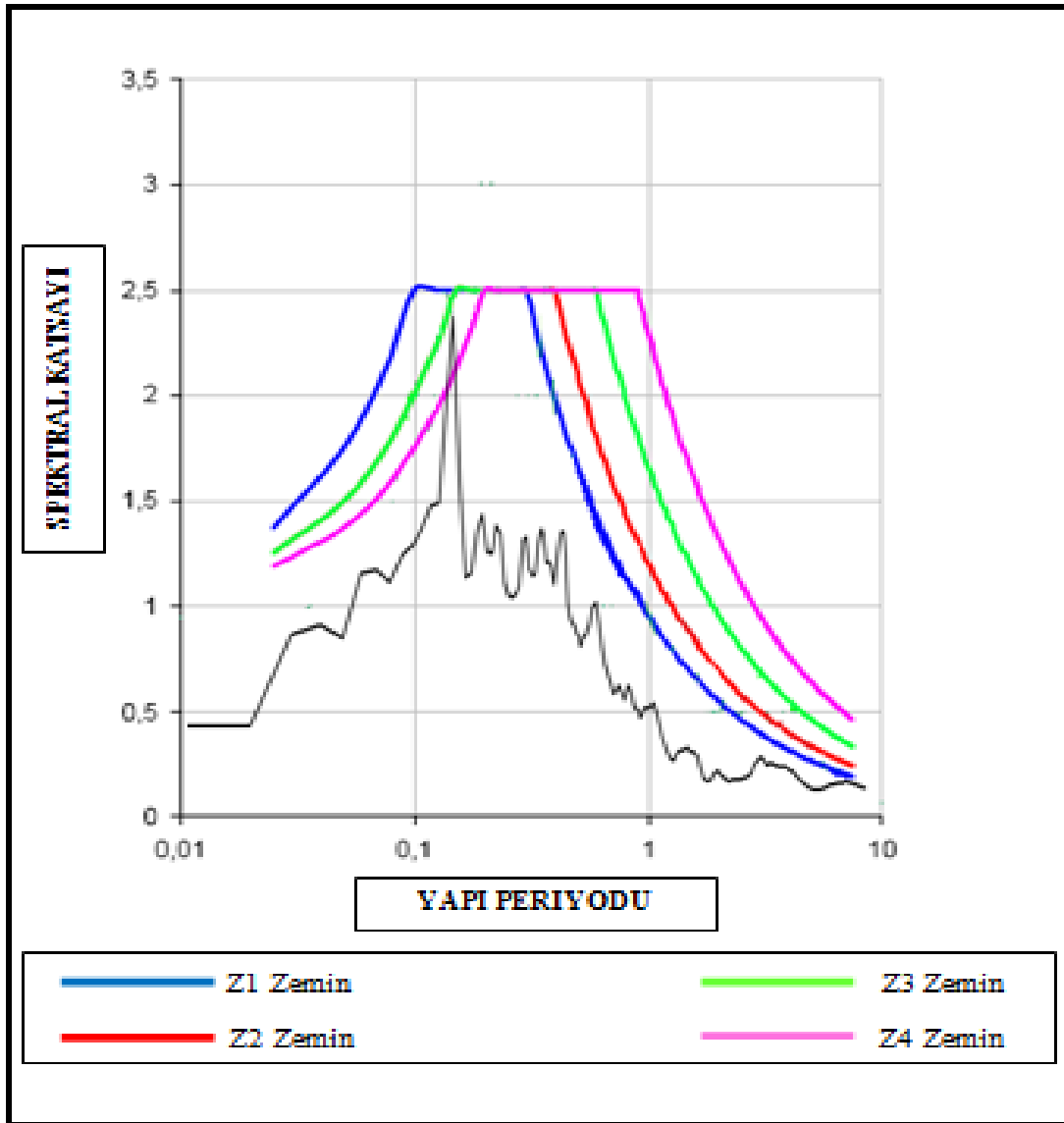
Şekil 4.18. Tablo 4.8'e göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,138 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,138 g civarlarına doğru büyötmektedir). Aşağıda BH 134A sondaj noktasına ait genlik büyömesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.19 BH 134A sondaj noktasına ait genlik büyütmesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 6 - 14 Hz civarından sonra azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.20. BH 134A sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

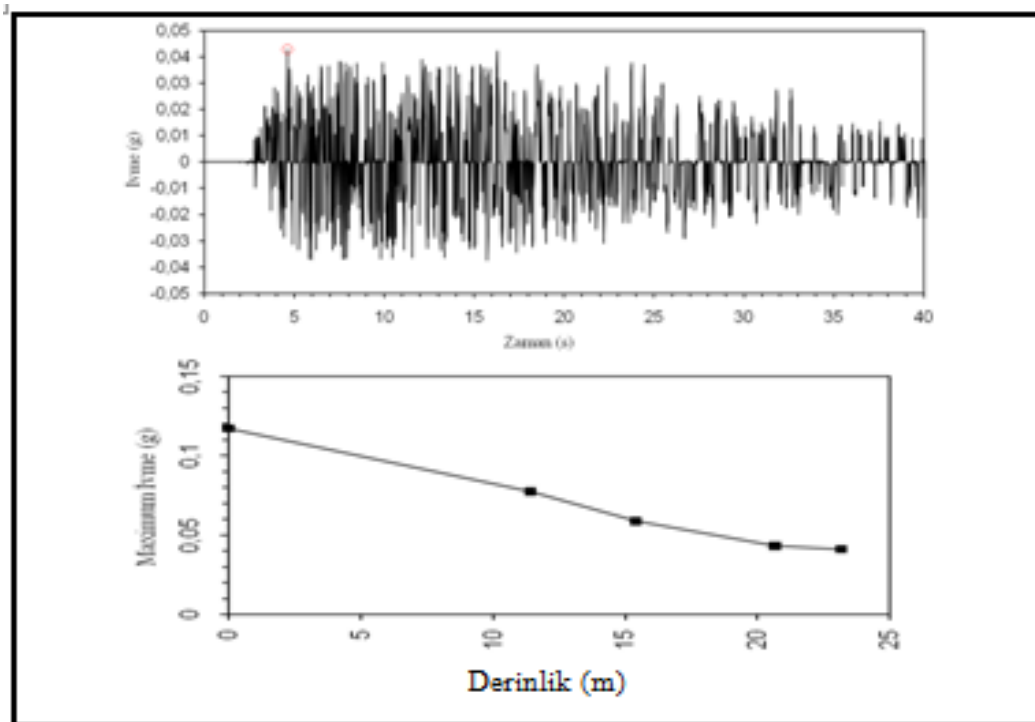
BH 134A sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,4'dir. Ancak periyot 0,13 – 0,70 sn aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına yakındır.

g) BH 146 sondaj noktası

Tablo 4.8. BH 146 sondaj noktasının zemin profiline ait değerler

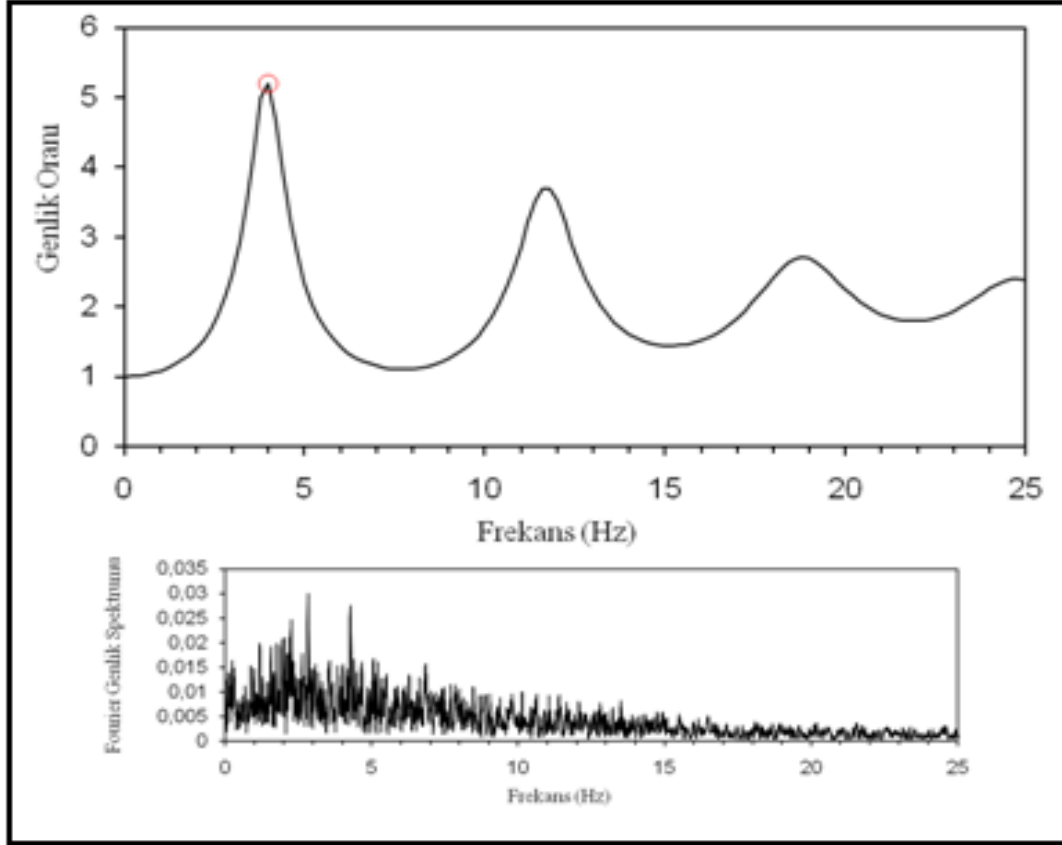
TABAKA NUMARASI	ZEMİN MATERYEL TİPİ	KALINLIK (m)	MAX. KESME MODÜLÜ Gmax (kgf/cm ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (g/cm ³)	KESME DALGA HIZI (m/sn)
1	Kil	11,4	1266,49	1,85	270,18
2	Kum	4	1536,19	1,85	284,13
3	Kum	5,25	5573,76	1,85	527,24
4	Kaya	2,5	19437,54	1,85	943,1

Aşağıda ivmenin zamanla değişimi ve maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu gösterilmektedir.



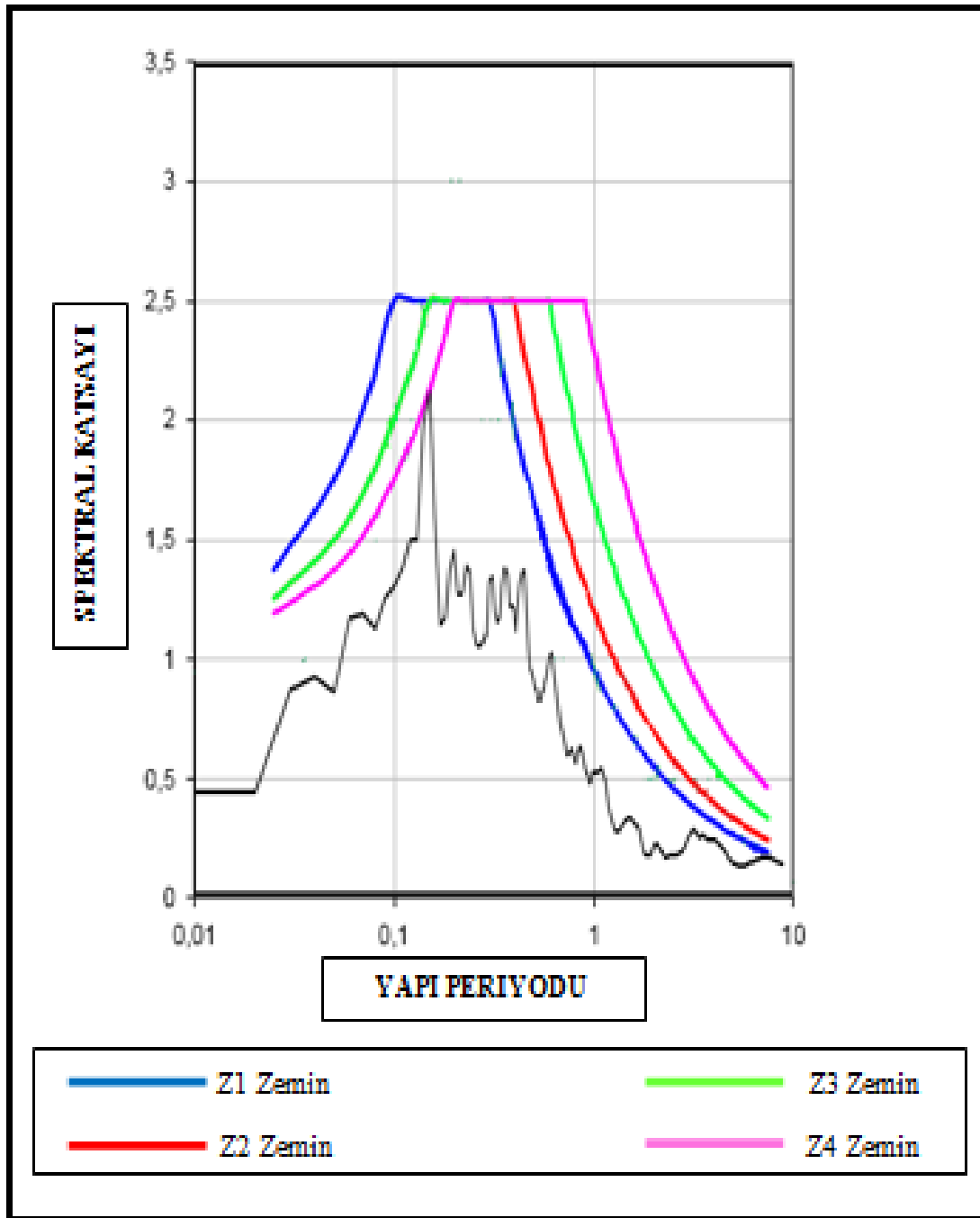
Şekil 4.21 Tablo 4.9'a göre EERA programında çizdirilmiş zaman ortamındaki ivmenin çıktısı (üstte), maksimum ivmenin derinlikle iterasyonu (altta)

Maksimum ivme 0,043 g civarındadır (zemin 0,04287 g'lik girdiyi 0,043 g civarlarına doğru büyötmektedir). Aşağıda BH 146 sondaj noktasına ait genlik büyömesi ve Fourier spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 4.22 BH 146 sondaj noktasına ait genlik büyömesi (üstte) ve Fourier spektrumu (altta)

Deprem enerjisinin Fourier spektrumunda 6 - 13 Hz civarından sonra azaldığı görölmektedir.



Şekil 4.23 BH 146 sondaj noktasına ait tasarım spektrumunun 1998 Afet Yönetmeliği zemin sınıflamasıyla karşılaştırılması.

BH 146 sondaj noktasında İzmit 1999 depremine göre elde edilmiş tasarım spektrumu 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymaktadır. Maksimum genlik 2,1'dir. Ancak periyot 0,12 - 0,72 aralığında olduğundan yönetmeliğin Z3 zemin standardına daha yakındır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

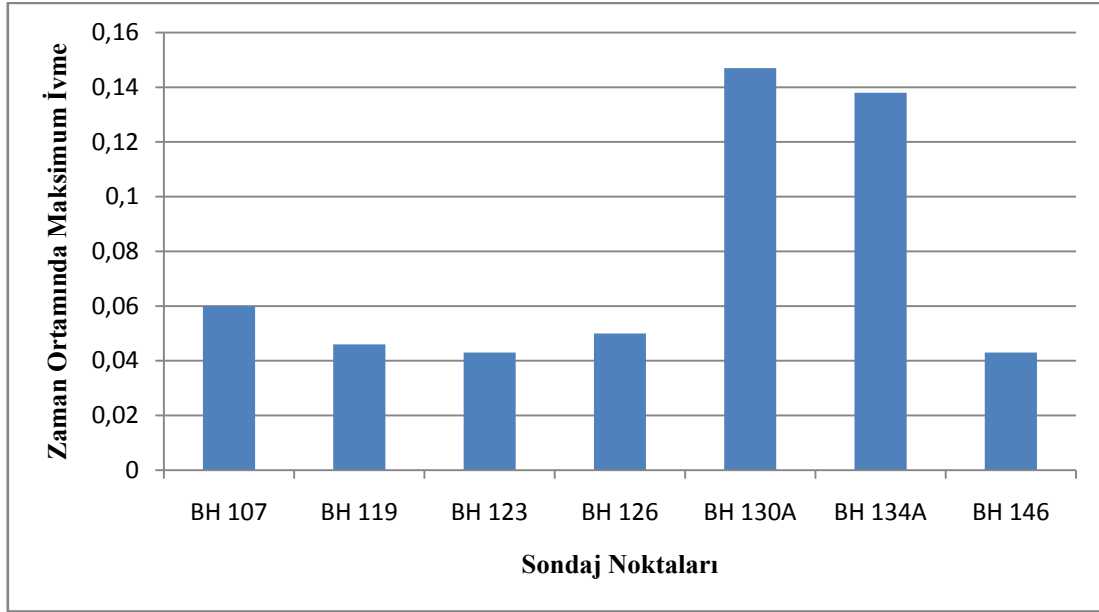
Marmaray Projesi Avrupa Yakası güzergâhında yapılmış olan zemin araştırma çalışmalarından elde edilen PS log, sondaj logu ve SPT verilerinden toplam 7 noktada elde edilen PS logları bilgileri kullanılarak ivme tasarım spektrumları elde edilmiş ve Türkiye Deprem Yönetmeliği ile karşılaştırılmıştır. Sondaj loglarından ve laboratuvar sonuçlarından, tabakalardaki ortalama kesme dalgası hızları (S dalga hızı), kalınlık, yoğunluk ve formasyon bilgilerine dayanarak, EERA programında oluşturulan zemin profillerine göre olası bir deprem riski için maksimum yatay ivme, ivme tasarım spektrumu değeri ve hakim peryot, zaman ortamında maksimum ivme, partikül hızı ve yerdeğiştirme hesaplanmıştır. PS log uygulanan 7 sondaj noktasının 17 Ağustos 1999 Kocaeli – Gölcük Depremi'nin İstanbul Merkez Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü doğu – batı bileşen ivme kaydı (maksimum ivme 0,04287 g) kullanılmıştır. Yapının zemine olan sönüm etkisi ortalama % 5 alınmıştır. Buna göre, doğrusal (lineer) zemin davranış durumu için (maksimum ivme 0,04287 g) PS log uygulanan toplam 7 sondaj noktasında hesaplanan maksimum değerler aşağıda Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Sondaj noktalarında hesaplanan maksimum değerler

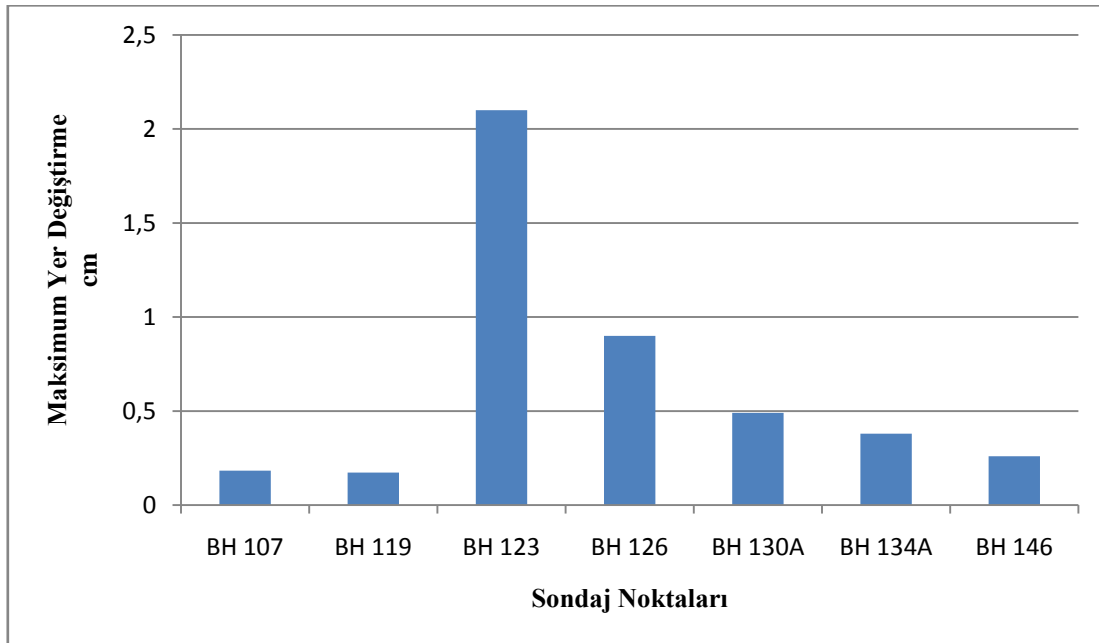
Sondaj Noktası	Zaman Ortamı			Spektral Ortam			
	İvme (g)	Yer Değişirme (cm)	Partikül Hızı (cm/s)	Spektral İvme (g)	İvme Tasarım Spektrumu	Hakim Peryot (sn)	
						T _A	T _B
BH 107	0,060	0,183	2,93	0,25	2,4	0,12	0,70
BH 119	0,046	0,173	2,42	0,24	2,3	0,12	0,72
BH 123	0,043	2,1	2,47	0,21	2,1	0,12	0,72
BH 126	0,05	0,9	1,54	0,22	2,2	0,13	0,72
BH 130A	0,147	0,49	7,93	0,24	2,3	0,12	0,72
BH 134A	0,138	0,38	6,23	0,25	2,4	0,13	0,70
BH 146	0,043	0,26	0,71	0,21	2,1	0,12	0,72
17 Ağustos 1999 Kocaeli – Gölçük Depremi'nin İstanbul Merkez Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü doğu – batı bileşen ivme kaydına göre maksimum ivme 0,04287 g							

Çalışma sonuçlarına göre;

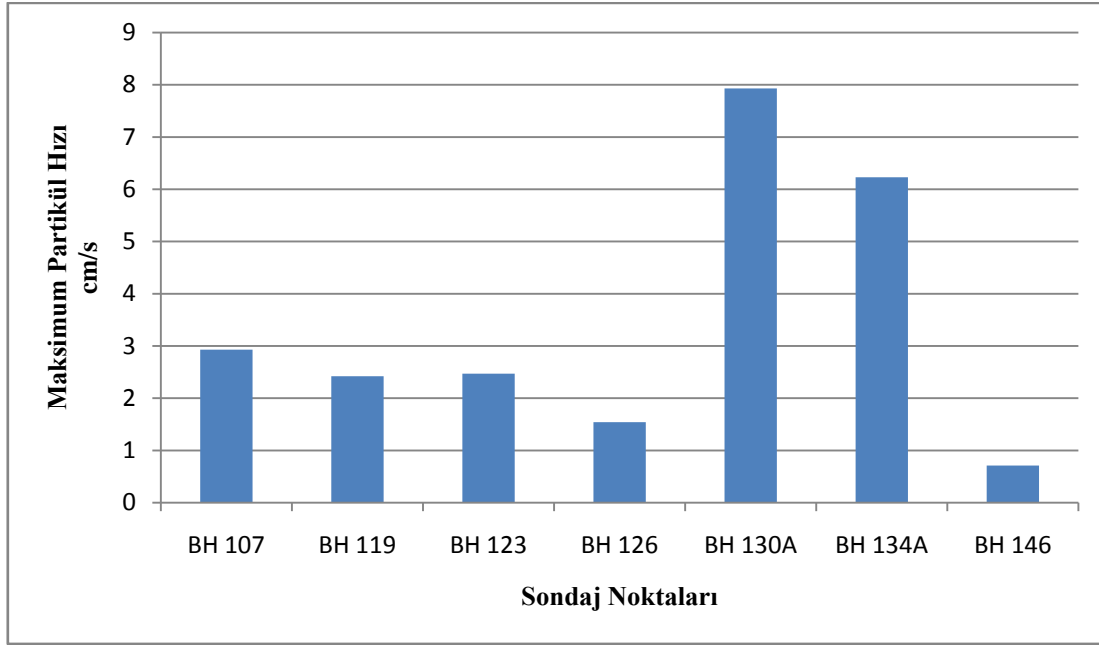
PS log uygulanan ve derinlikleri 43m ile 65,5m arasında değişen 7 farklı sondaj noktasından elde edilen hâkim peryot değerleri tablo 5.1' de verilmiştir. Peryot değerlerine göre elde edilen sonuçlara göre sondaj noktalarında Z3 zemin sınıfı elde edilmiştir. Maksimum ivme tasarım spektrum değerinin de 2,1 ile 2,4 arasında değiştiği ve 1998 Afet Yönetmeliği zemin standardına uymakta olduğu görülmüştür. Şekil 5.1'de PS log uygulanan 7 sondaj kuyusu için zaman ortamında hesaplanan maksimum ivme ve relatif ivme büyütme oranları sondaj kod numaralarıyla gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Sondaj noktalarındaki maksimum ivme



Şekil 5.2. Sondaj noktalarındaki maksimum yer değiştirme



Şekil 5.3. Sondaj noktalarındaki maksimum partikül hızı

Güzergâh boyunca PS logu ile belirlenmiş kil ağırlıklı gevşek zeminler, ele alınan deprem ivmesini büyütmesi nedeniyle deprem riski taşımaktadır. Zemin büyütmesinin ve maksimum spektral ivmenin yüksek çıkması üst zemin tabakalarındaki düşük hızlı killi ve kumlu formasyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu tabakalarda empedans düşük olduğundan deprem dalgalarının giriş yaptığı en alt tabakayla üst tabakalar arasında büyük bir empedans farkı oluşmakta bu da zemin büyütmesini ve maksimum spektral ivmeyi arttırmaktadır. 7 sondaj noktasında elde edilen zaman ortamındaki ölçeklenmiş maksimum ivmeler girdi ivmesini (0,04287 g) büyütmektedir. İvmedeki en büyük büyütme (0,147g) BH 130A sondaj noktasındadır. Bu noktada en alt tabakayla en üst tabaka arasında 2015 m/sn civarında büyük bir empedans farkı ölçeklenmiş buda maksimum ivmeyi arttırmaktadır. Yapılar buldukları gevşek veya sert zemin üzerinde aşındırıcı etki yapabilmekte ve sönüm etkisini(%5) değiştirebilmektedir. Hesaplamalarda büyük sönüm oranı kullanmaya dikkat edilmelidir.

Ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımında ve deprem tehlike analizlerinde, özellikle günümüzde tartışılan olası bir Marmara depreminin İstanbul'da gevşek zeminlerdeki etkileri çerçevesinde, yerel zemin özelliklerinin mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yapılarda gözlenen hasar yalnızca maksimum ivmeye göre değil, yapının karakteristiklerine göre de (alçak ya da yüksek yapılar) çok önemli olduğu düşünülmelidir (Hansen, 1970). Proje alanına etki edece sismik tehlikeler, Marmara Denizi'nde geçen Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın karakteristik deprem özelliğiyle bağdaştırılmalıdır. İlgili fayın İstanbul'u etkileyecek olan kısmının uzun yıllardır sesiz olması (son İstanbul depremi yıl 1894) nedeniyle projenin hizmet süresince depremden etkilenme olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle yapılacak tasarımda deprem riski de dikkate alınmalıdır. Metro veya tünel gibi uzun yeraltı yapıları zemin ile birlikte deforme olduklarından, zeminin kendi içindeki farklı deformasyonları doğrudan yer altı yapısına deformasyon olarak iletilmekte ve bu da yeraltı yapısında önemli kuvvetler oluşturabilmektedir. Yeraltı yapıları yapılırken, deprem esnasında oluşacak en az üç ana deformasyon türü (yan atımlı hareket, aksenal deformasyon, eğilme deformasyonu) için değerlendirme yapılmalıdır. Yan atımlı deformasyonlar genellikle tünelin boyuna eksenine dik olarak uzanan ve yayılan sismik dalgalardan kaynaklanır. Tünel kazıları devam ederken yeryüzünde günlük deformasyon (oturma) ölçümler yapılmalıdır. Yapılacak bu ölçümlerle mevcut yerleşim yeri altından geçen tünelin yukarıdaki yapılarda meydana getireceği etkiler tespit edilebilir ve yapılarda oturmaların oluşturabileceği deformasyonlara karşı önlemler alınabilir.

KAYNAKLAR

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı İnternet Erişimi <http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm>

AMBRASEYS, N.N., BOMMER J.J., 1995. Attenuation relations for use in Europe: An Overview, Fifth SECED conference-European Seismic Design Practic Practise, Elnashai (ed.), Balkema, pp.67-74

AMBRASEYS, N.N., SIMPSON and BOOMER, J.J., 1996. Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25 (4):371-400

BARDET, J.P., ICHII, K., LİN, C.H., 2000. EERA A computer program for equivalent Linear earthquake site response analyses of latered soil deposits, University of Southern California Department of Civil Engineering

DEMİR H.,2006. Küçükçekmece – Halkalı yerleşim bölgesinin yerel zemin koşullarına göre deprenselliğinin incelenmesi yüksek lisans tezi

DLH, 2008. Geniş Kapsamlı Marmaray Projesi Raporu, DLH Yayınları, Ankara, 52s

DLH Marmaray İnternet Erişimi 15.05.2011

ERİŞ, İ., 2007. İstanbul İli Marmaray Boğaz Tüp Geçişi, Avrupa ve Anadolu Yakası Tünellerindeki Fayların Değerlendirilmesi, 20s. (yayınlanmamış)

http://www.benkoltd.com/deprem/deprem_zemin.htm 19.02.2011

İstanbul Büyük Şehir Belediyesi internet erişimi, www.ibb.gov.tr. 15.09.2010

J. P. BARDET, K. ICHII, C. H. LIN 2000 EERA A Computer Program for Equivalent linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits Program User Manual

KRAMER, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6

OYO Corporation İnternet Erişimi, 2005. Süspension PS Logger, www.oyo.co.jp.

ÖZÇEP F.,AŞÇI M.,ALPASLAN N.,YAS T.,GÜNDOĞDU D.,2005. Statik ve dinamik (Deprem) etkiler altında zemin davranışı (Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005)

ÖZÇEP F., Uygulamalı sismoloji ders notu

ftp://int.kocaeli.edu.tr/pub/mfozer/uygulamali_sismoloji/bolum2.pdf

ŞENNAZLI N, ŞİMŞEK O, BİBEROĞLU S, OLGUNÖZ Ö, 2005 (yayınlanmamış) Marmaray Projesi, Demiryolu Boğaz Geçişi, Tüneller ve İstasyonlar İnşaatı – Sözleşme BC1

SEED, H.B., and IDRİSS, I.M., 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, pp. 5-56, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California

SEED and SUN. 1989. EERA A computer program for equivalent linear earthquake site response analyses of latered soil deposits, University of Southern California Department of Civil Engineering

STFA Temel Araştırma Sondaj AŞ., 2005. Marmaray Kara Sondajları Data Raporu

TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası “Mikrotremorlar ve Analiz Yöntemleri” Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları 4, 2007, s 165-189

TOMUR S. 2007 İstanbul’da PS logu ile belirlenmiş karakteristik zeminlerin deprem tepki spektrumlarının incelenmesi, s 4-38

YALÇINKAYA E., ALPTEKİN Ö.,2005. Dinar’da zemin büyütmesi ve 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasarla ilişkisi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni 2003

YALÇINKAYA E.,PINAR A.,UTKUCU M.,KANLI A. İ.,ALPTEKİN Ö.,2003. İstanbul Üniversitesi geniş band deprem kayıtçısı için uygun yer seçimi ve örnek uygulamalar, İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi C. 16, S. 1, SS. 11-21, Y. 2003

YOUSSEF M.A. HASHASH, JEFFREY J. HOOK, Birger SCHMIDT, John I-Chiang YAO, “Seismic design and analysis of underground structures”, ITA/AITES Accredited Material, Tunnelling and Underground Space Technology 16 (2001) 247-293

ÖZGEÇMİŞ

Sercan ÖZTÜRK, 25.06.1984 tarihinde Kocaeli İzmit'te doğdu. İlköğrenimini Derince' de, liseyi İzmit Anadolu Lisesi'nde 2002 yılında tamamladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde yüksek öğrenimine başladı, 2008 yılında mezun oldu ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği EABD'da yüksek lisansa başladı. 2008 yılında Taisei Corporation'da (Marmaray Projesi) İş Güvenliği Mühendisi olarak işe başladı. 2010 yılında Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın yapmış olduğu İş Güvenliği Uzmanlığı sınavında başarılı olarak İş Güvenliği Uzmanı olarak Taisei Corporation'daki görevine devam etmektedir.

EKLER

Ek A. Çalışmada Kullanılan Sondaj Logları

1. BH 107 Sondaj Noktası

Aşağıda 64,5m'lik sondaj logu gösterilmektedir.

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

temel investigation inc.
Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa 1/4

YER: KAZLIÇEŞME		KUYU NO: BH 107					
EKİPMAN: DIAMEC 262		YER SEVİYESİ: 3,95 m					
DELME METODU: Rotary		KOORD: N:45 40.462 39 E:40 90 61.13					
KUYU BOYUTLARI: 0 m - 64,5 m r = 86mm							
ÖRNEK	S.P.T.	TCR	RQD	SCR	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15			
1.00	D01	4	5	10		Killi Kum ;%54 kaba kum, %4 sert yarı köşeli çakıl %42 ince düşük plastisiteli kil	
1.45							
2.00	D02	3	4	7	2.75		1.20
2.45							
3.00	D03	7	8	15			
3.45							
4.00	D04	7	8	17			
4.45							
5.00	U1						
5.23							
6.00	D05	5	6	11		Kil ;%96-99 ince yüksek plastisiteli ,%4-1 ince kum	
6.45							
7.00	D06	4	5	12			
7.45							
8.00	U2						
8.20							
9.00	D07	7	8	17			
9.45							
10.00	D08	8	9	21			
10.45							
11.00	U3				10.50		2.40
11.20					03/08		4.68
12.00	D09	27	26	53	12.30		-8.35
12.45							
13.00	D10	15	18	37		Kumlu kil CaCO ₃ içerikli %49-58 yüksek plastisiteli, %22-12 CaCO ₃ içerikli ince çakıl	
13.45							
14.00	D11	14	20	43			
14.45							
15.00	D12	17	22	48			
15.45							
16.00	D13	17	20	46	16.75		-12.60
16.45							
17.00	U4						
17.25							
18.00	D14	20	21	47		Altüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	
18.45							
19.00	D15	15	16	42			
19.45							

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

temel investigation inc.

Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa 2/4

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
20.00	D16	11	14	20	03/08	8.22				22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
20.45		N = 34			01/08	11.75						
21.00	D17	13	14	20						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
21.45		N = 34										
22.00	D18	11	14	19						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
22.45		N = 33										
23.00	U5									22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
23.20												
24.00	D19	11	15	25						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
24.45		N = 40										
25.00	D20	17	23	33						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
25.45		N = 58										
26.00	U6									22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
26.50												
27.00	D21	18	24	30						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
27.45		N = 54										
28.00	D22	20	23	29	27.00	10.45				22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
28.45		N = 52			05/08	12.20						
29.00	U7									22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
29.20												
30.00	D23	18	18	30						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
30.45		N = 48										
31.00	D24	20	23	32						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
31.45		N = 55										
32.00	D25	25	28	35						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
32.45		N = 61										
33.00	D26	24	27	34						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
33.45		N = 61										
34.00	U8									22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
34.50												
35.00	D27	28	29	38						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
35.45		N = 67										
36.00	D28	31	33	40						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
36.45		N = 73										
37.00	D29	18	28	40	36.00	20.00				22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
37.45		N = 68			06/08	19.70						
38.00	D30	20	25	36						22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
38.45		N = 61										
39.00	U9									22.35	Alüvyon içeren kum; %78 orta kum,%7 sert çakıl,%15 düşük plastisiteli kil.	-16.40
39.40												

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

temel investigation inc.

Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa 3/4

YER:KAZLIÇEŞME		KUYU NO:BH 107							
EKİPMAN:DIAMEC 262		YER SEVİYESİ: 3,95 m							
DELME METODU: Rotary		KOORD: N:45 40.462 39 E:40 90 61.13							
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 64,5 m r = 86mm									
ÖRNEK	S.P.T.	Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Levant
40.00	D31	21	28	33	06/08				
40.45			N = 61						
41.00	D32	25	30	38					
41.45			N = 68						
42.00	D33	23	33	40					
42.45			N = 73						
43.00	D34	18	20	29					
43.45			N = 49						
44.00	D35	33	40	47					
44.45			N = 87		37.50	27.80			
45.00	D36	22	30	33	07/08	28.20			
45.45			N = 63						
46.00	D37	34	38	43					
46.45			N = 81						
47.00	D38	25	30	33					
47.45			N = 63						
48.00	D39	20	32	38					
48.45			N = 70						
49.00	D40	26	29	37					
49.45			N = 66						
50.00	D41	23	32	43					
50.45			N = 75		40.50	26.10			
51.00	D42	20	29	38	08/08	26.00			
51.45			N = 67						
52.00	U10								
52.45									
53.00	D43	16	22	30					
53.45			N = 52						
54.00	D44	20	28	37					
54.45			N = 65						
55.00	D45	19	26	34					
55.45			N = 60						
56.00	D46	23	30	40					
56.45			N = 70		40.50	13.20			
57.00	D47	20	23	30	09/08	18.40			
57.45			N = 53						
58.00	D48	17	23	32					
58.45			N = 55						
59.00	D49	19	22	38					
59.45			N = 60						

Kil; %99 yüksek plastisiteli,
%1 açık yeşilden koyu yeşile
tabaka

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

temel investigation inc.

Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa 4/4

YER:KAZLIÇEŞME		KUYU NO: BH 107										
EKİPMAN: DIAMEC 262		YER SEVİYESİ: 3,95 m										
DELME METODU: Rotary		KOORD: N:45 40.462 39 E:40 90 61.13										
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 64,5 m r = 86mm												
ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Leiant
Derinlik	Tip	15	15	15								
60.00	050	17	30	38	09/08							
60.45			N = 68									
61.00	051	30	37	39	40.50	14.00						
61.45			N = 76									
62.00	052	50	-	-	10/08	25.70						
62.15												
63.00	0*	50/01	-	-			30					
63.01												
64.00	053	17	23	30	40.50	16.40				64.45	Kuyu Sonu	60.50
64.45			N = 53									

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

temel investigation inc.

Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa3/4

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lezant
Derinlik	Tip	15	15	15								
40.00	D37	20	28	36	19/08							
40.45			N = 64									
41.00	D38	22	30	35								
41.45			N = 65									
42.00	D39	23	33	40								
42.45			N = 73									
43.00	U4											
43.10												
44.00	D40	21	30	37								
44.45			N = 67									
45.00	D41	24	35	40								
45.45			N = 75									
46.00	D42	15	20	29								
46.45			N = 49									
47.00	D43	21	29	40								
47.45			N = 69									
48.00	D44	23	30	26	15,45	11,90						
48.45			N = 66									
49.00	D45	21	32	39	20/08	9,90						
49.45			N = 71									
50.00	D46	27	36	40								
50.45			N = 76									
51.00	D47	24	37	42								
51.45			N = 79									
52.00	D48	27	38	45								
52.45			N = 81									
53.00	D49	26	37	47								
53.45			N = 84									
54.00	D50	20	30	35								
54.45			N = 65									
55.00	D51	18	27	33								
55.45			N = 60									
56.00	D52	19	23	37	15,45	11,80						
56.45			N = 60									
57.00	D53	21	30	35	21/08	10,20						
57.45			N = 65									
58.00	D54	20	33	40								
58.45			N = 73									
59.00	D55	24	30	37								
59.45			N = 67									

Kil; %93 yüksek plastisiteli, %7
midye içerikli kum

temel investigation inc.

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa 4/4

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
50.00	D56	19	24	37	21/08							
50.45			N =	61								
51.00	D57	22	30	40								
51.45			N =	70								
52.00	D58	23	29	36	15.45	18.45						
52.45			N =	55	22/08	15.10						
53.00	D59	20	35	42								
53.45			N =	77								
54.00	D60	33	37	40	15.45	18.00						
54.45			N =	77	23/08	18.35						
55.00	D61	37	40	44								
55.45			N =	84								
56.00	D62	28	37	46					66.50			-55.33
56.45			N =	83								
57.00	D63	30	50/10	-					67.70	Alüvyonlu kum; %75 kum bandı, %25 düşük plastisiteli.		-56.53
57.25												
58.00	D64	21	29	35	15.45	11.20						
58.45			N =	64	24/08	10.00						
59.00	D65	27	32	39					70.10	Kil; %98 yüksek plastisiteli, kuru pekişmiş, %2 kum bandı		-58.93
59.45			N =	71								
70.00	D66	40	50/5	-								
70.20												
71.00	D67	40	50/10	-	15.45	12.00			71.25	Kumlu silt; %59 düşük plastisiteli, %41 ince kum.		-60.08
71.25												
										Kuyu Sonu		

3. BH 123 Sondaj Noktası

Aşağıda 69,14m'lik sondaj logu gösterilmektedir.

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR	RQD	SCR	Derinlik	AÇIKLAMA	Leiyant
Derinlik	Tip	15	15	15			%	%	%			
1.00	D1	3	5	7	13/09/20						Çakıllı killi kum; %34 iri kum, %37 düşük plastisiteli kil ; %29 çakıl	4.26
1.45			N = 12									
2.00	D2	4	6	6							Killi kum; %55 yüksek plastisiteli kil, % 45 iri taneli kum	2.21
2.45			N = 12									
3.00	D3	5	7	8		3.00	2.30			3.70	Kil; yüksek plastisiteli, ince çatlaklı.	0.21
3.45			N = 15		14/09	3.30						
4.00	D4	4	6	7							Kil; yüksek plastisiteli, sert .	-0.79
4.45			N = 13									
5.00	D5	4	5	5						5.75	Kil kum; %70 kum, %22 düşük plastisiteli kil, %8 çakıl	-2.54
5.45			N = 10									
6.00	D6	5	6	7							Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
6.45			N = 13									
7.00	D7	6	8	10						7.75	Kil %96 yüksek plastisiteli, %4 kum bandı geçişli sert.	-11.74
7.45			N = 18									
8.00	D8	8	11	16		7.60	4.60				Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-11.74
8.45			N = 27		15/09	5.20						
9.00	D9	12	14	19							Kil kum; %70 kum, %22 düşük plastisiteli kil, %8 çakıl	-2.54
9.45			N = 33									
10.00	D*	50/5	-	-						10.50	Kil kum; %70 kum, %22 düşük plastisiteli kil, %8 çakıl	-2.54
10.05												
11.00	D10	30	9	11							Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
11.45			N = 20									
12.00	U1										Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
12.15												
13.00	D11	10	12	14							Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
13.45			N = 26									
14.00	U2										Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
14.34												
15.00	D12	12	15	15							Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
15.45			N = 30									
16.00	U3										Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
16.37												
17.00	D13	12	14	16							Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
17.45			N = 30									
18.00	U4					18.00	3.45				Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
18.28					16/09	6.30						
19.00	D14	14	17	18							Kil %85 yüksek plastisiteli, %15 koyu yeşil pekişmiş.	-7.79
19.45			N = 35									
										19.70		

YER: YEDİKULE YENİKAPI ARASI		KUYU NO: BH 123							
EKİPMAN: ACKER ACE III		YER SEVİYESİ: 7,96 m							
DELME METODU: Rotary									
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 69,14 m r = 110 mm		KOORD: N:45 40.993.50 E:41 010 9.66							
ÖRNEK	S.P.T.	Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	ROD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Leiyant
Derinlik	Tip								
40.00	D27	14	18	20	18/09				
40.45			N = 38						
41.00	U12								
41.26									
42.00	D28	11	15	17					
42.45			N = 32						
43.00	U*								
43.40									
44.00	D29	12	17	20					
44.45			N = 37						
45.00	U13								
45.23									
46.00	D30	13	18	23					
46.45			N = 41						
47.00	D31	15	19	20					
47.45			N = 30		26.00	4.25			
48.00	U*				19/09	4.25			
48.20									
49.00	U14				26.00	9.25			
49.27					20/09	9.15	49.75		41.79
50.00	D32	12	18	24					
50.45			N = 42						
51.00	U15								
51.06									
52.00	D33	14	24	27					
52.45			N = 51						
53.00	D34	17	27	30					
53.45			N = 57				53.80		45.84
54.00	D*	50/10	-	-					
55.00	D35	17	30	32					
55.45			N = 82						
56.00	D36	20	37	40					
56.45			N = 77				56.80		48.84
57.00	D*/K1	50/10	-	-	26.00	9.20			
					21/09	9.15			
58.00	D37	14	20	22					
58.45			N = 42						
59.00	D38	18	24	26					
59.45			N = 50						

YER:YEDİKULE YENİKAPI ARASI										KUYU NO:BH 123		
EKİPMAN:ACKER ACE III										YER SEVİYESİ: 7,96 m		
DELME METODU: Rotary												
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 69,14 m r = 110 mm										KOORD: N:45 40.993.50 E:41 010 9.66		
ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	ROD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
60.00	D39	20	27	37	21/09					60.10		
60.45			N = 64									-52.14
61.00	D40	30	40	41								
61.45			N = 81									
62.00	D*	50/10	-	-						62.00		-54.04
62.10												
63.00	D41	40	50/13	-	26.00	8.85						
63.28					22/09	8.85						
64.00	D42	47	50/13	-								
64.20												
65.00	D*	50/5	-	-								
65.05												
66.00	D43	50/12	-	-								
66.12												
67.00	D44	50/9	-	-								
67.09												
68.00	D*	50/6	-	-								
68.36					26.00	11.25						
68.66												
69.00	D45	50/14	-	-	24/09	10.75				69.14		-61.18
69.14												
										Kuyu Sonu		

4. BH 126 Sondaj Noktası

Aşağıda 64m'lik sondaj logu gösterilmektedir.

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Leiant
Derinlik	Tip	15	15	15								
<p>temel investigation inc. MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS</p> <p>Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01 Sayfa 1/4</p>												
YER:YEDİKULE YENİKAPI ARASI						KUYU NO:BH 126						
EKİPMAN:DIAMEC 262						YER SEVİYESİ: 3,40 m						
DELME METODU: Rotary						KOORD: N:45 11.547.14 E:41 069.78						
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 64 m r = 101 mm												
1.00	D1	21	11	30	27/08/20						%57 iri taneli kum, %30 iri taneli çakıl, %13 düşük plastisiteli silt	
1.45												
2.00	D2	5	7	11	28/08	NIL				3.70		
2.45												
3.00	D3	10	11	14	3.00	2.20						
3.45												
4.00	D4	3	3	5	28/08	NIL						
4.45												
5.00	D5	11	17	20	6.00	3.50				5.75	%71 yüksek plastisiteli kum, %17 kum, %12 silt	-2.35
5.45												
6.00	D6	13	17	18	30/08	3.68				6.75	%75 kum. %25 düşük plastisiteli kil	-3.35
6.45												
7.00	D7	9	21	40	30/08	3.68				7.75	%95 kaba kum. %5 kil	-4.35
7.45												
8.00	D8	13	21	32								
8.45												
9.00	D9	9	18	30								
9.45												
10.00	D10	11	20	29								
10.45												
11.00	U1											
11.15												
12.00	D11	21	26	26								
12.45												
13.00	D12	14	20	27								
13.45												
14.00	D13	19	20	32								
14.45												
15.00	D14	18	21	30	11.30	7.70						
15.45												
16.00	D15	16	21	27	31/08	7.15						
16.45												
17.00	D16	20	27	32								
17.45												
18.00	D17	15	25	31								
18.45												
19.00	D18	17	25	33								
19.45												
<p>%100 yüksek plastisiteli kil</p> <p>13.00 – 13.45 m arasında midye kırıklarına rastlanmıştır.</p>												

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
20.00	D19	15	25	35	31,08							
20.45			N = 60									
21.00	D20	14	25	38								
21.45			N = 64									
22.00	D21	15	25	33								
22.45			N = 58									
23.00	D22	17	28	40								
23.45			N = 68									
24.00	D23	20	36	39	19.55	11.40						
24.45			N = 75									
25.00	D24	25	38	42	01,09	7.96						
25.45			N = 80									
26.00	D25	15	20	26								
26.45			N = 46									
27.00	D26	17	23	30								
27.45			N = 53									
28.00	D27	13	20	29								
28.45			N = 49									
29.00	D28	14	19	28								
29.45			N = 47									
30.00	D29	20	30	37								
30.45			N = 67									
31.00	D30	24	30	39								
31.45			N = 69									
32.00	D31	21	35	43								
32.45			N = 78									
33.00	D32	24	37	46	28.55	14.70						
33.45			N = 83									
34.00	D33	20	28	37	02,09	15.85						
34.45			N = 65									
35.00	D34	36	50/10									
35.25												
36.00	D35	40	50/5									
36.20												
37.00	D36	27	35	40								
37.45			N = 75									
38.00	D37	36	50/10									
38.25												
39.00	D38	40	50/10		28.55	16.55						
39.25												
					03,09	17.50						

%100 yüksek plastisiteli kil

20.00 – 25.00 m arasında ince
çatlaklara rastlanmıştır.

38.10

-34.70

Diğer sayfaya geçiniz.

5. BH 130A Sondaj Noktası

Aşağıda 45,80m'lik sondaj logu gösterilmektedir.

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

temel investigation inc.
Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01 Sayfa 1/5

YER:YENİKAPI TCDD İSTASYONU						KUYU NO:BH 130 A						
EKİPMAN:ACKER ACE III						YER SEVİYESİ: 4,25 m						
DELME METODU: Rotary						KOORD: N:45 41.764.854 E:411 460.751						
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 45,8 m r = 86 mm												
ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
					05.03.20					0.30		3.95
1.00	D1	8	10	12							%58 iri taneli kum, %23 çakıl maksimum büyüklüğü 30mm, %13 düşük plastisiteli midye kırıntıları içeren kil	
1.45				N = 22								
2.00	D2	9	10	13								
2.45				N = 23								
3.00	D3	7	9	13								
3.45				N = 22								
4.00	D4	9	11	14						3.70	%83 iri taneli kum, %9 çakıl, %8 hacimce çabuk genişleyen orta yoğunluklu silt.	0.55
4.45				N = 25								
5.00	D5	4	3	2							%95 kum, %5 orta yoğunluklu silt.	
5.45				N = 5								
6.00	D6	3	2	2							%65 iri taneli kum, %27 düşük plastisiteli kil, %8 çakıl boyutunda midye kırıntısı.	
6.45				N = 4	6.00	2.80						
7.00	D*	3	2	2	06/03	3.00						
7.45				N = 4								
8.00	D7	5	6	9							%67 iri taneli kum, %3 çakıl, %30 düşük plastisiteli orta yoğunluklu silt.	
8.45				N = 15								
9.00	D8	6	7	11							%53 kum, %33 çakıl, %14 düşük plastisiteli silt.	
9.45				N = 18								

temel investigation inc.

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

Sayfa 3/5

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
20.00	D18	8	14	21	07/03							
20.45				35								
21.00	U2									21.25	%22 yüksek plastisiteli kil, %30 kum, İnce kireçtaşı tabakası içince %48 çakıl.	-17.00
21.30												
22.00	D19	9	12	16								
22.45				28	21.00	8.50						
23.00	U3				09/03	5.10						
23.25												
24.00	D20	8	13	14								
24.45				27								
25.00	U4											
25.35												
26.00	D21	7	11	12								
26.45				23								
27.00	U5											
27.40					27.00	15.30						
27.80					10/03	14.70				27.80		-23.55
28.30							100	66	82			
28.30							100	43	63			
28.30							96	14	24			
30.00												

Diğer sayfaya bakınız

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
30.00					10/03		100	56	69			
30.45							100	46	53			
31.70							100	71	71		Orta sertlikten serte doğru değişen kum taşı.	
32.35							100	46	49		27,80 m – 33,25m arası tabaka düzleminde kısmen 30° 40° kısmen geniş boşluklar	
33.25							100	36	36		33,25m - 33,6m makaslama zonu 65° demir oksit içerikli kil.	
34.00					27.00	9.50					33,6m – 36,15m 40° 45° demir oksit kaplı kalsit.	
34.75					11/03	8.90					36,16m – 38,20m demir oksit kaplı kalsit.	
35.45							100	69	87		38,20m – 38,30m orta sertlikte kum taşı	
36.45							100	28	52		38,30m – 39,80m yıpranmış kumtaşı.	
37.45							100	57	77			
37.90							100	36	67			
38.30							100	48	65			
39.30							100	74	74			
							95	60	69		Diğer sayfaya geçiniz.	

YER:YENİKAPI TCDD İSTASYONU										KUYU NO:BH 130 A		
EKİPMAN:ACKER ACE III												
DELME METODU: Rotary										KOORD: N:45 41.764.854 E:411 460.751		
KUYU BOYUTLARI: 0 m – 45,8 m r = 86 mm												
ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip	15	15	15								
40.30					11/03		95	60	69			
							100	65	87			
41.30					27.00	16.70						
41.75					14/03	10.10	100	71	82		40,50m – 42,00m taban düzlemi demir oksit kaplı.	
42.55							100	39	48		42,00m – 45,80m taban düzlemi demir oksit kaplı.	
43.20							100	54	54			
43.60							100	0	25			
44.70							100	34	48			
45.15							96	82	82			
45.80					27.00		100	71	75	45.80	Kuyu Sonu	-41.55

temel investigation inc.
Doc. No: TAI-STFA-MRY-2004/01

MARMARAY RAILWAY BOSPHORUS TUBE CROSSING LAND AND NEAR SHORE
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

Sayfa 2/3

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lehtant
Derinlik	Tip	15	15	15								
20.00	U2				20/03 18.00	13.90						
20.50												
21.00	D19	13	18	25	21/03	13.60						
21.45												
22.00	U3											
22.25												
23.00	D20	15	18	32								
23.45												
24.00	U4											
24.35												
25.00	D21	17	26	41								
25.45												
26.00	U5								26.20			-22.41
26.30												
27.00	D22	15	23	29	25.50	8.70						
27.45					22/03	6.10						
28.00	U6											
28.35												
29.00	D23	20	32	38								
29.45												
30.00	D24	23	35	40								
30.45												
31.00	D25	22	37	39								
31.45												
32.00	D26	28	50/14	-								
32.29												
33.00	D27	30	50/12	-								
33.27												
34.00	D*	50/02	-	-	25.50	1.00				33.80		-30.01
34.02					23/03	1.20	98	0	36			
34.50							98	28	70			
35.00							99	0	13			
35.75					25.50	16.30	100	0	0			
36.00					24/03	14.70	100	91	91			
37.00							100	51	60			
38.00							100	65	70			
39.00					25.50	12.70						
39.35					25/03		97	0	20	39.50		-35.71
40.00							52	0	0			

YER: SIRKECI ISTASYONU		KUYU NO: BH 146							
EKİPMAN:		YER SEVİYESİ:							
DELME METODU: Rotary 0m – 57m									
KUYU BOYUTLARI: 0m – 57m r = 116mm									
KOORD: 45 42 768,63N 41 40 47,96 E									
ÖRNEK	S.P.T.	Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	ROD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Lejant
Derinlik	Tip								
20.00	D19	4	5	6	02/11				
20.45			N = 11						
21.00	D20	50	-	-			21.00		-12.40
21.15									
23.00	D21	50/10	-	-	21.25	13.20			
23.10					03/11	7.65			
24.50	D22	50/10	-	-			23.50		-14.00
24.60									
26.00									
27.50									
28.75					21.25	13.00			
29.25					04/11	7.60			
30.25									
30.75									
32.00					21.25	13.50			
32.75					05/11	8.05			
33.50									
34.50									
35.00									
36.50									
38.00					21.25	14.00			
39.00					06/11	8.90			
40.00									

Zayıf kum taşı

Orta sertlikte çamur taşı.

51,5m üzerinde ince kumtaşı yatağı.

23,5m – 24,6m bozunmuş zayıf çamurtaşı.

31,4m – 31,6m zayıf zon.

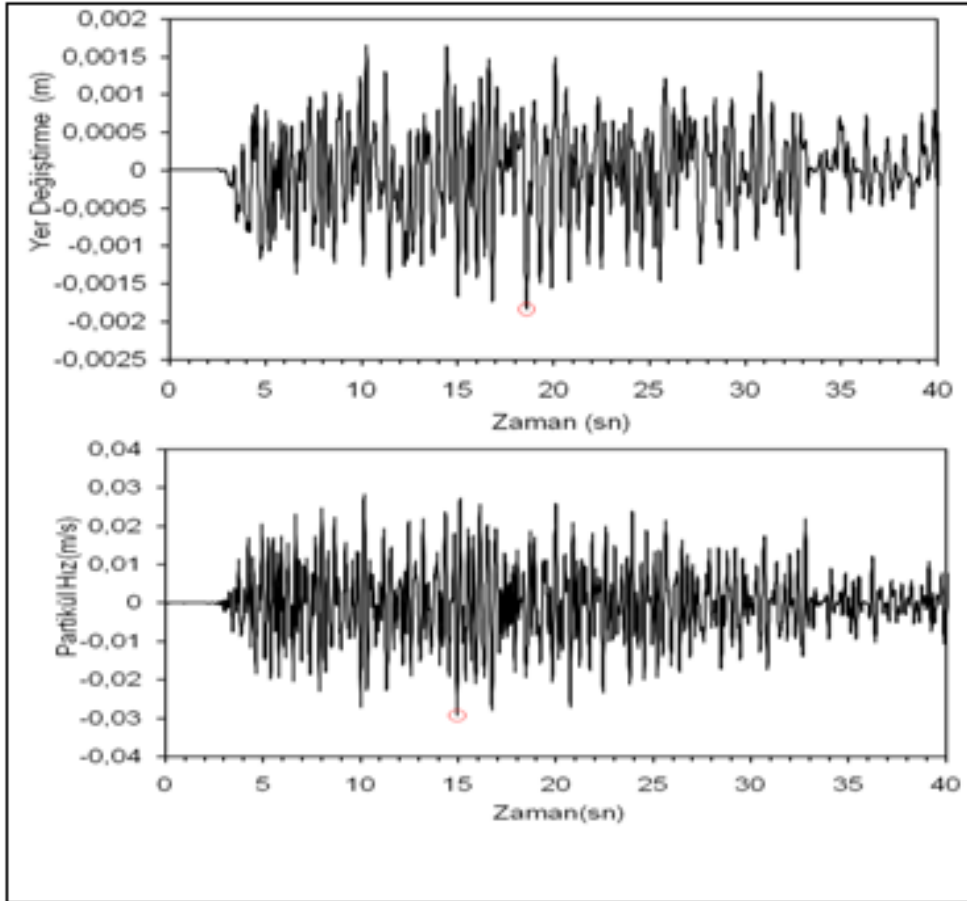
31,6m – 57m orta dayanımlı, yıpranmış zon.

ÖRNEK		S.P.T.			Koruma Derinliği	Su Derinliği	TCR %	RQD %	SCR %	Derinlik	AÇIKLAMA	Levant
Derinlik	Tip	15	15	15								
40.00					06/11		50	0	0			
41.00							87	0	10			
42.50							100	0	0			
43.25					21.25							
44.00					07/11	8.90	95	0	0			
45.50							13	0	3		Orta sertlikte çamur taşı.	
47.00					21.25	13.60					51,5m üzerinde ince kumtaşı yatağı.	
48.50					08/11	8.65	36	0	3		23,5m – 24,6m bozunmuş zayıf çamurtaşı.	
50.00							29	0	5		31,4m – 31,6m zayıf zon.	
51.50							0	0	0		31,6m – 57m orta dayanımlı, yıpranmış zon.	
53.00							13	0	0			
54.50					21.25	13.25						
56.00					09/11	8.80	11	0	0			
57.00							10	0	0			
					21.25	13.40						
					10/11	8.75	0	0	0			
							0	0	0			
					21.25	13.00				57.00		-48.49

Ek B. EERA Programında Hesaplanan Yerdeğiştirme ve Partikül Hız Sonuçları

1. BH 107 Sondaj Noktası

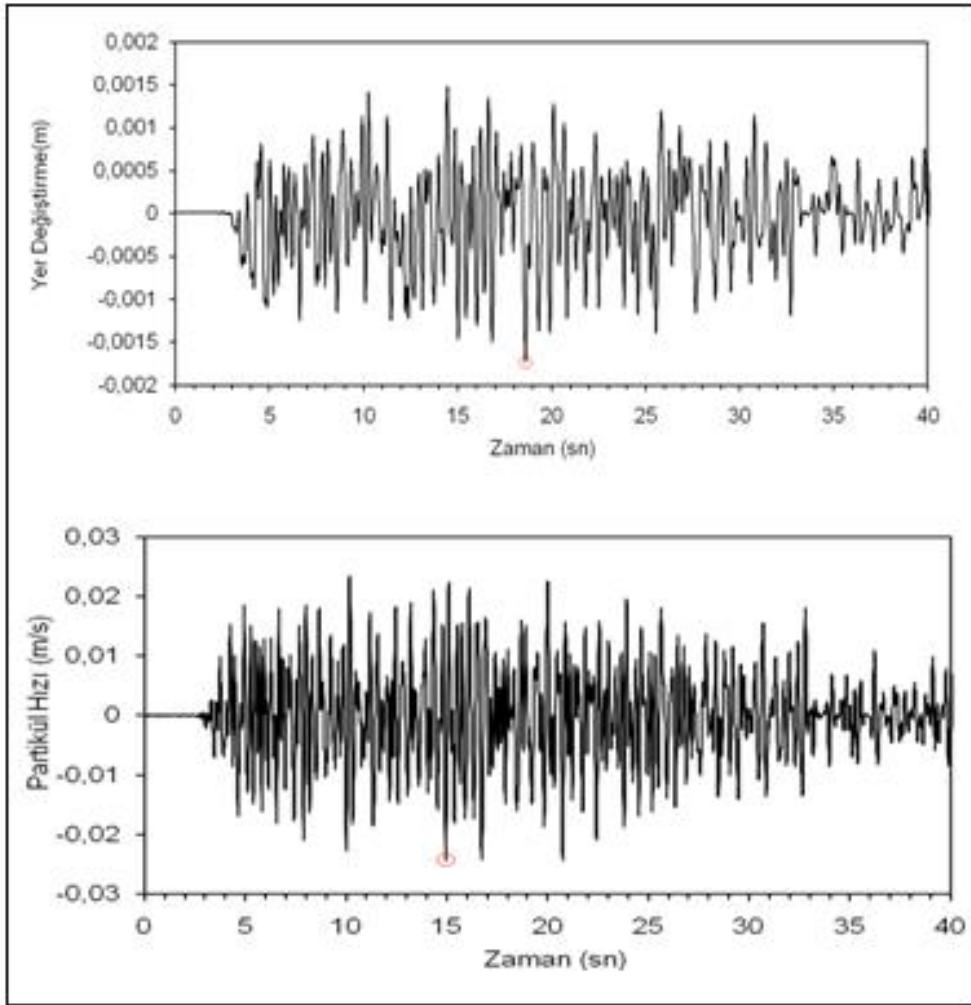
Aşağıda partikül hız ve yer değiştirmenin zamanla değişimi gsterilmektedir.



Şekil B1. BH 107 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 2,93 cm/sn, yerdeğiştirme 0,183 cm civarındadır.

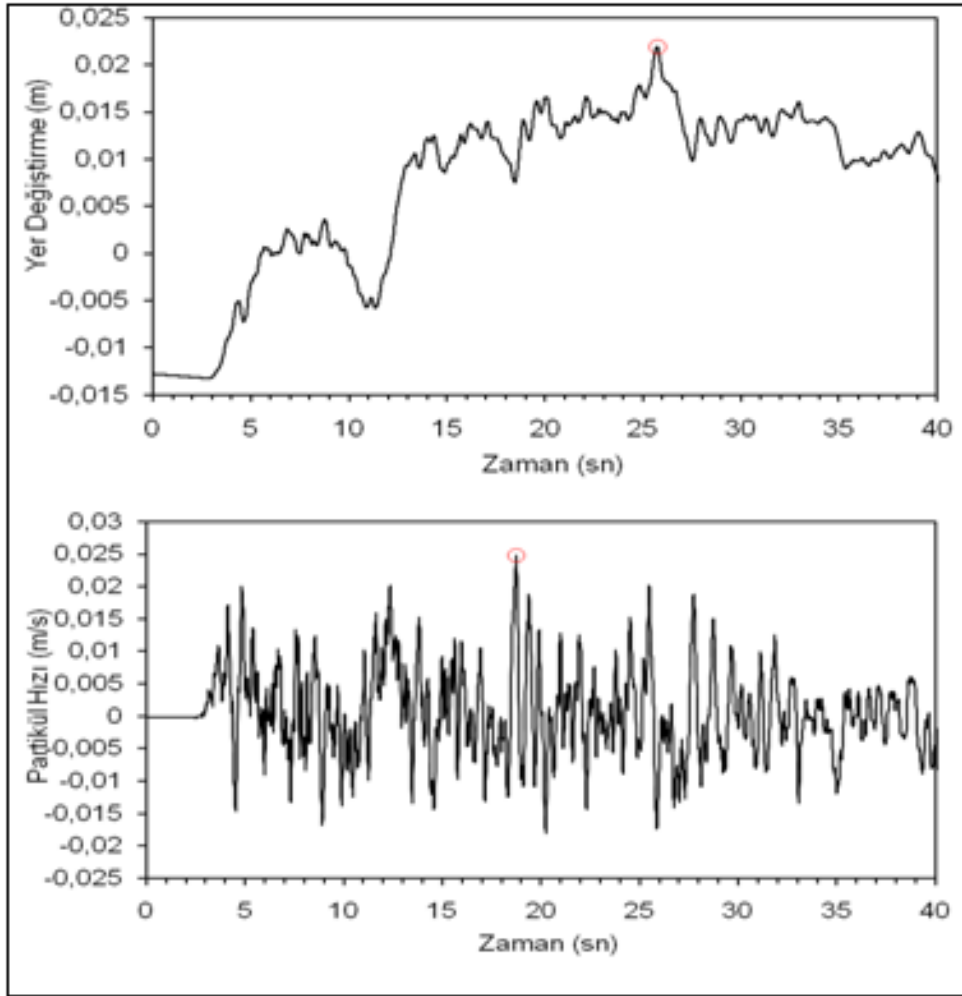
2. BH 119 Sondaj Noktası



Şekil B2. BH 119 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 2,42 cm/sn, yerdeğiştirme 0,173 cm civarındadır.

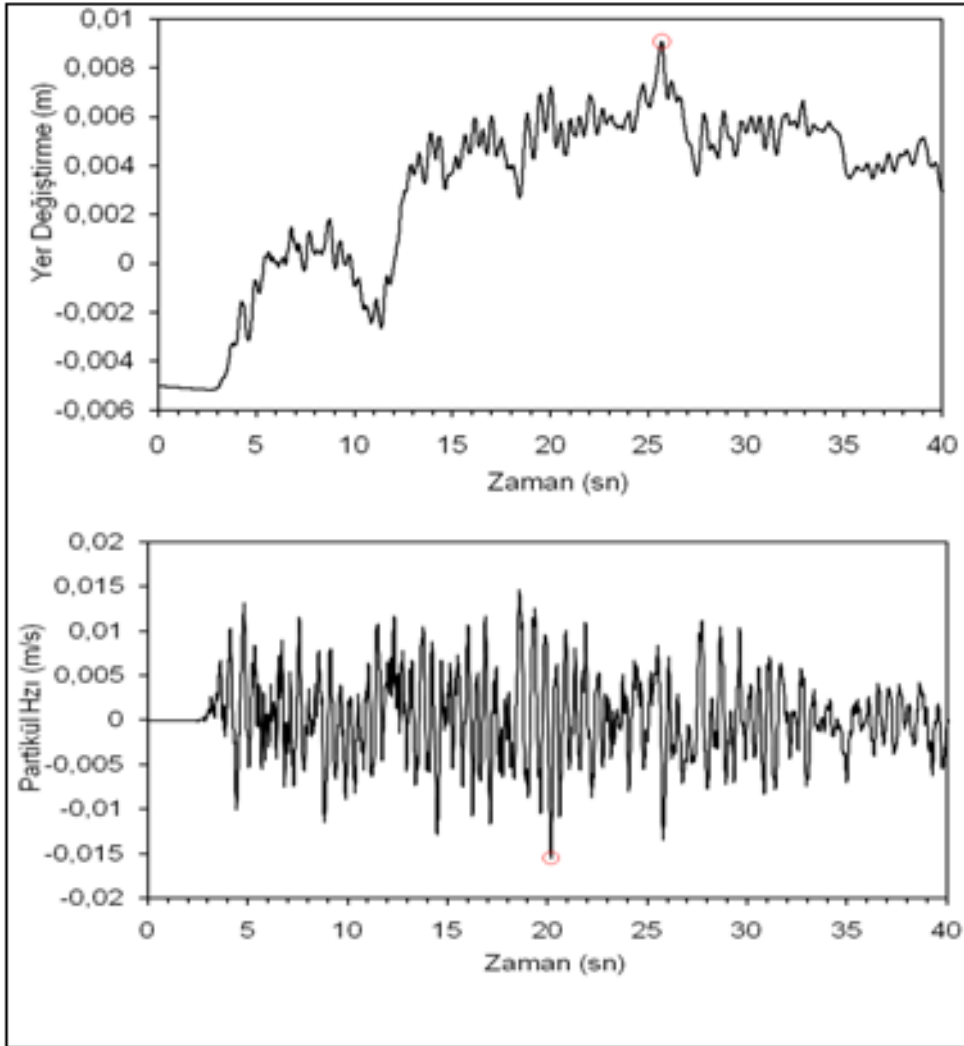
3. BH 123 Sondaj Noktası



Şekil B3. BH 123 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 2,47 cm/sn, yerdeğiştirme 2,1 cm civarındadır.

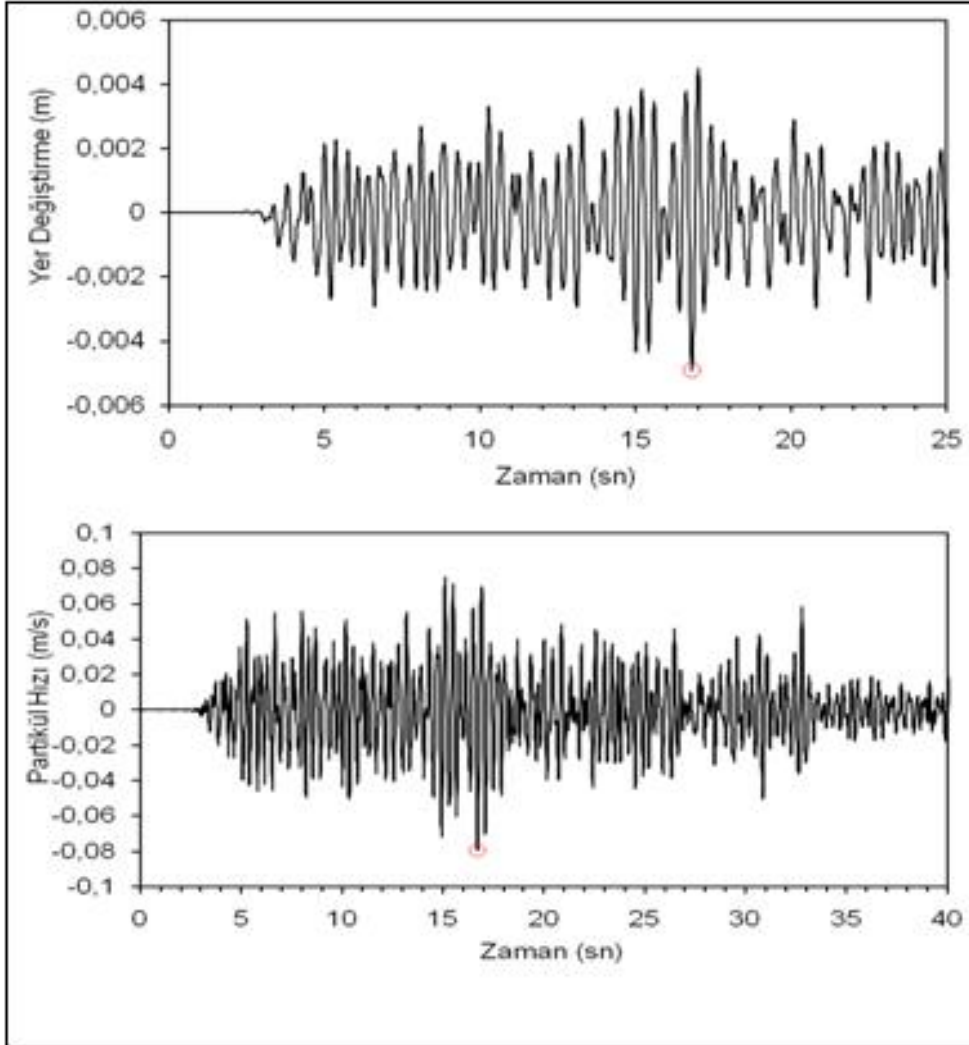
4. BH 126 Sondaj Noktası



Şekil B4. BH 126 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 1,54 cm/sn, yerdeğiştirme 0,9 cm civarındadır.

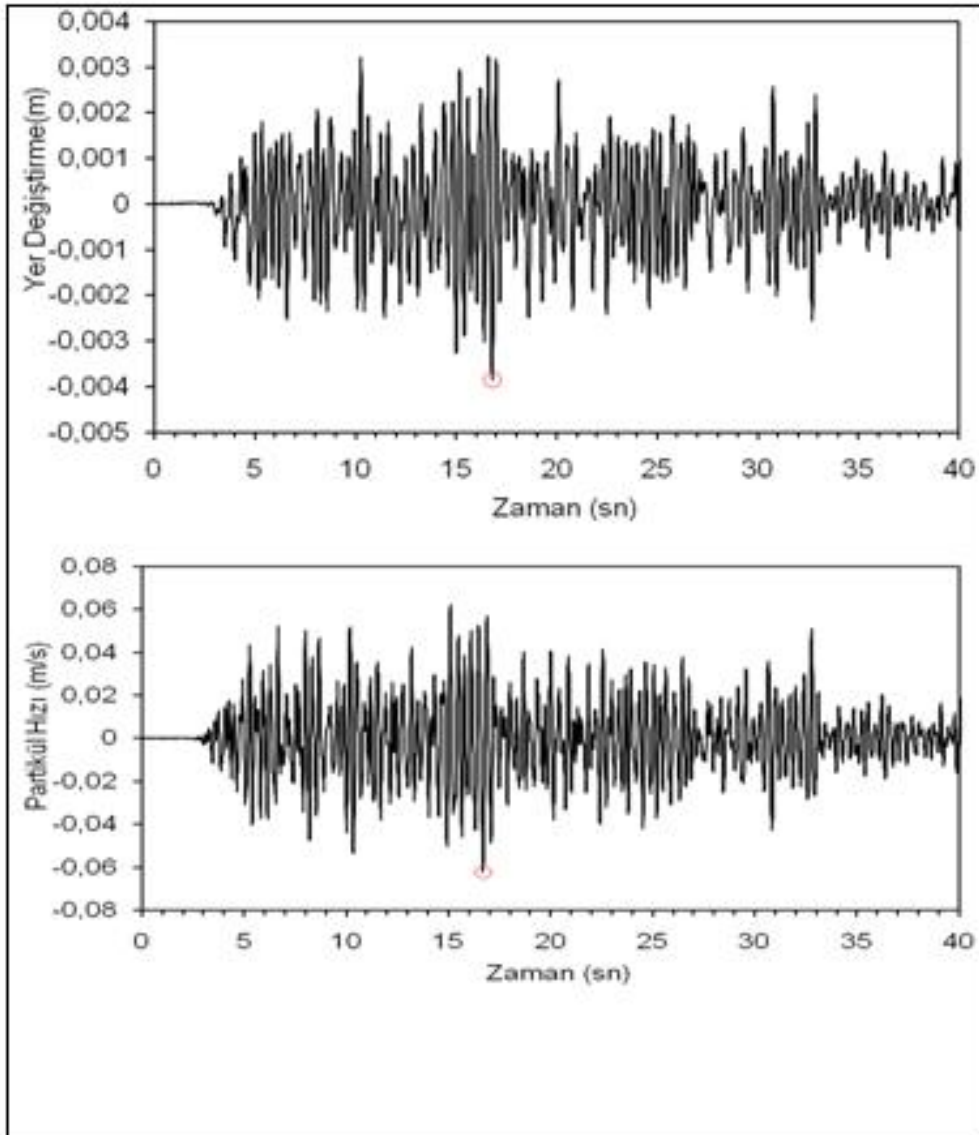
5. 130A Sondaj Noktası



Şekil B5. BH 130A sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 7,93 cm/sn, yerdeğiştirme 0,49 cm civarındadır.

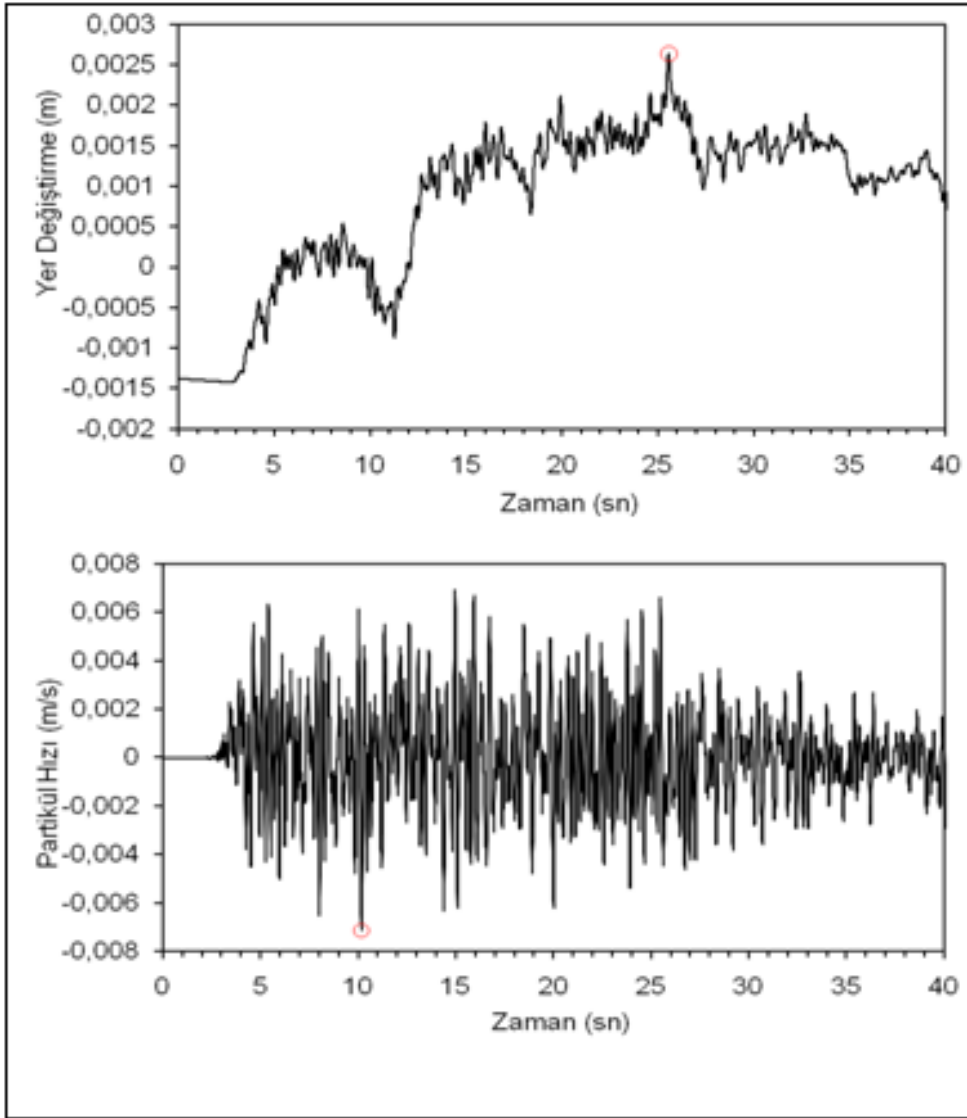
6. 134A Sondaj Noktası



Şekil B6. BH 134A sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 6,23 cm/sn, yerdeğiştirme 0,38 cm civarındadır.

7. 146 Sondaj Noktası



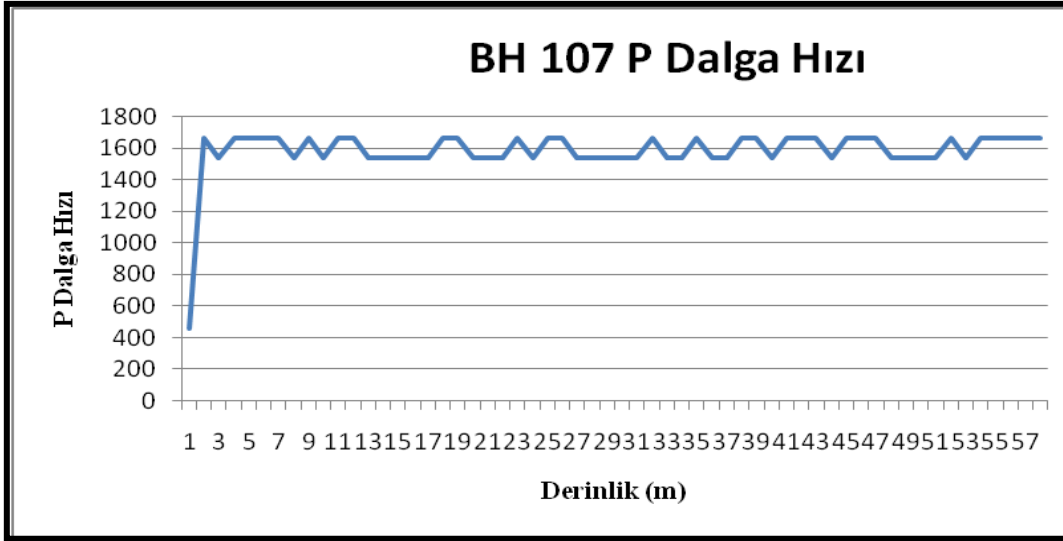
Şekil B7. BH 146 sondaj noktasına ait partikül hızı (altta) ve yer değiştirmenin (üstte) zamanla değişimi

Maksimum Partikül hızı 0,71 cm/sn, yerdeğiştirme 0,26 cm civarındadır.

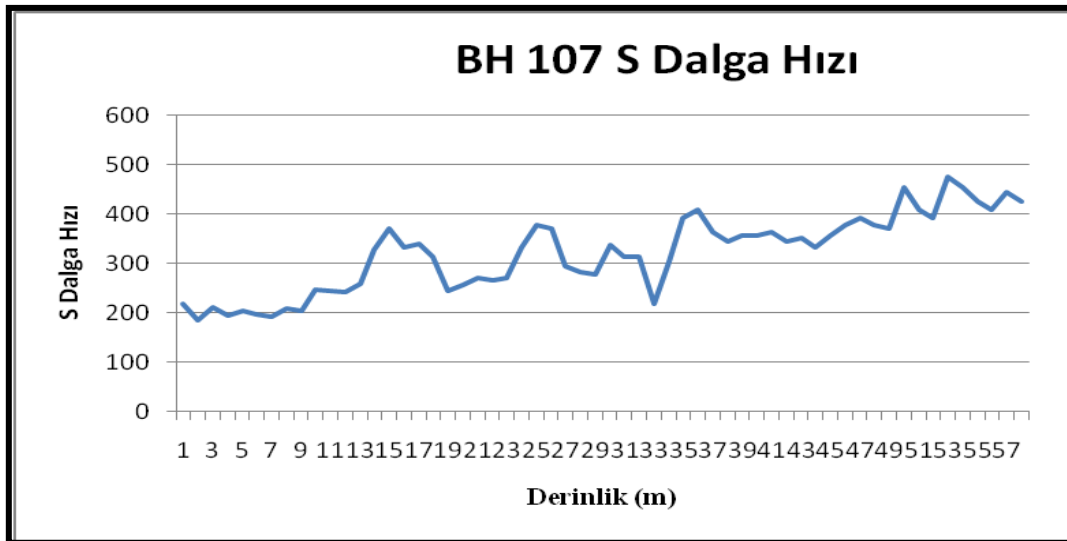
Ek C. Kuyulara Göre PS Log Çalışmasında Elde Edilen Hızlar

1. BH 107 P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp	Derinlik (m)	Vs	Vp
1	217,4	454,5	35	392,2	1666,7
2	185,2	1666,7	36	408,2	1538,5
3	210,5	1538,5	37	363,6	1538,5
4	194,2	1666,7	38	344,8	1666,7
5	204,1	1666,7	39	357,1	1666,7
6	196,1	1666,7	40	357,1	1538,5
7	192,3	1666,7	41	363,6	1666,7
8	208,3	1538,5	42	344,8	1666,7
9	204,1	1666,7	43	350,9	1666,7
10	246,9	1538,5	44	333,3	1538,5
11	243,9	1666,7	45	357,1	1666,7
12	241	1666,7	46	377,4	1666,7
13	259,7	1538,5	47	392,2	1666,7
14	327,9	1538,5	48	377,4	1538,5
15	370,4	1538,5	49	370,4	1538,5
16	333,3	1538,5	50	454,5	1538,5
17	339	1538,5	51	408,2	1538,5
18	312,5	1666,7	52	392,2	1666,7
19	243,9	1666,7	53	476,2	1538,5
20	256,4	1538,5	54	454,2	1666,7
21	270,3	1538,5	55	425,5	1666,7
22	266,7	1538,5	56	408,2	1666,7
23	270,3	1666,7	57	444,4	1666,7
24	333,3	1538,5	58	425,5	1666,7
25	377,4	1666,7			
26	370,4	1666,7			
27	294,1	1538,5			
28	281,7	1538,5			
29	277,8	1538,5			
30	336,1	1538,5			
31	312,5	1538,5			
32	312,5	1666,7			
33	217,5	1538,5			
34	303	1538,5			



Şekil C1. BH 107 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

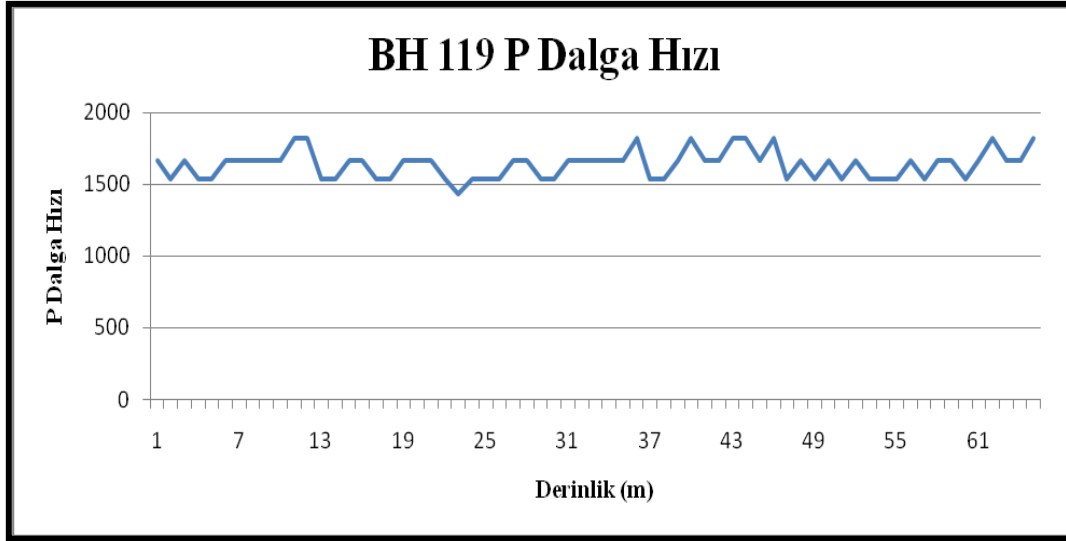


Şekil C2. BH 107 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

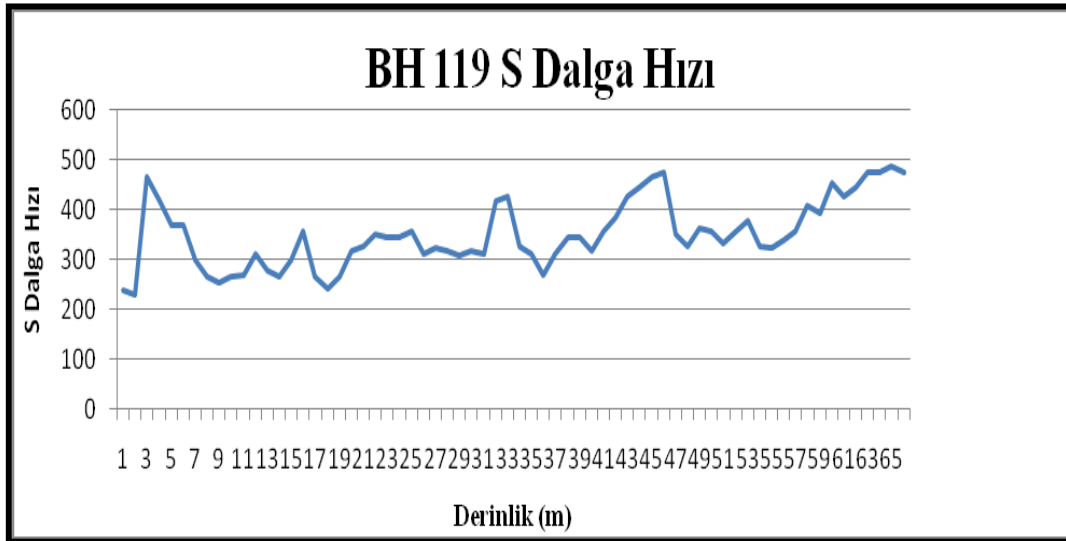
2. BH 119 P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp
1	238,1	
2	229,9	1666,7
3	465,1	1538,5
4	416,7	1666,7
5	370,4	1538,5
6	370,4	1538,5
7	298,5	1666,7
8	266,7	1666,7
9	253,2	1666,7
10	266,7	1666,7
11	270,3	1666,7
12	312,5	1818,2
13	277,8	1818,2
14	266,7	1538,5
16	357,1	1666,7
17	266,7	1666,7
18	241	1538,5
19	266,7	1538,5
20	317,5	1666,7
21	327,9	1666,7
22	350,9	1666,7
23	344,8	1538,5
24	344,8	1428,6
25	357,1	1538,5
26	312,5	1538,5
27	322,6	1538,5
28	317,5	1666,7
29	307,7	1666,7
30	317,5	1538,5
31	312,5	1538,5
32	416,7	1666,7
33	425,5	1666,7
34	327,9	1666,7

Derinlik (m)	Vs	Vp
35	312,5	1666,7
36	270,3	1666,7
37	312,5	1818,2
38	344,8	1538,5
39	344,8	1538,5
40	317,5	1666,7
41	357,5	1818,2
42	384,6	1666,7
43	425,5	1666,7
44	444,4	1818,2
45	465,1	1818,2
46	476,2	1666,7
47	350,9	1818,2
48	327,9	1538,5
49	363,6	1666,7
50	357,1	1538,5
51	333,3	1666,7
52	357,1	1538,5
53	377,4	1666,7
54	327,9	1538,5
55	322,6	1538,5
56	339	1538,5
57	357,1	1666,7
58	408,2	1538,5
59	392,2	1666,7
60	454,5	1666,7
61	425,5	1538,5
62	444,4	1666,7
63	476,2	1818,2
64	476,2	1666,7
65	487,8	1666,7
65,5	476,2	1818,2



Şekil C3. BH 119 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

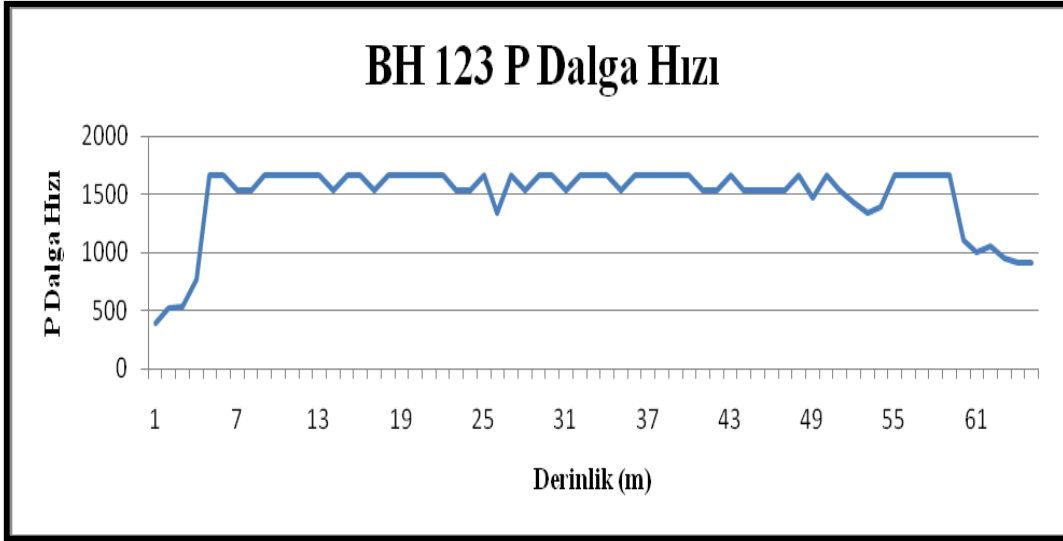


Şekil C4. BH 119 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

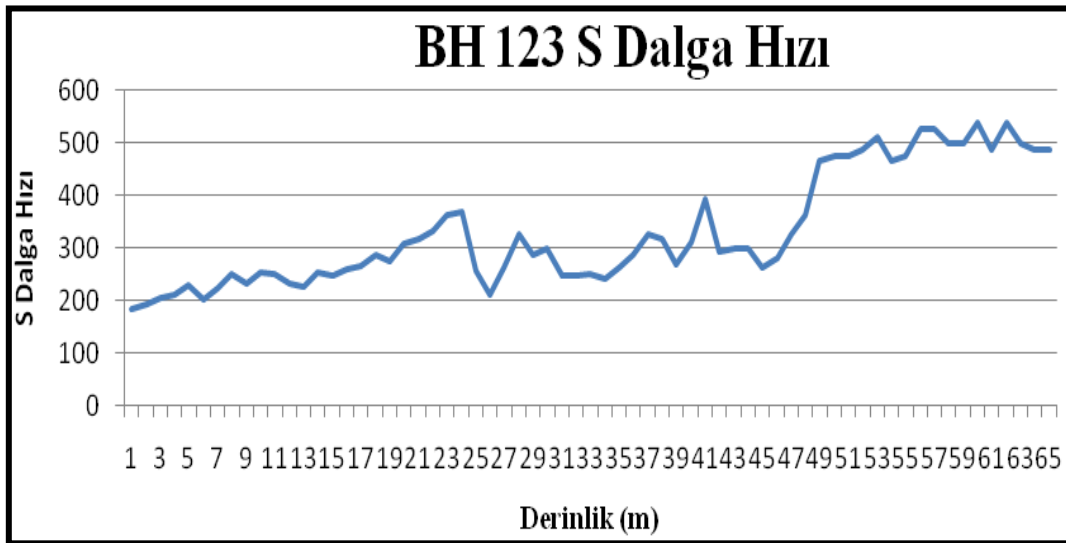
3. BH 123 P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp
1	185,2	392,2
2	229,9	1666,7
3	465,1	1538,5
4	416,7	1666,7
5	370,4	1538,5
6	370,4	1538,5
7	298,5	1666,7
8	266,7	1666,7
9	253,2	1666,7
10	266,7	1666,7
11	270,3	1666,7
12	312,5	1818,2
13	277,8	1818,2
14	266,7	1538,5
16	357,1	1666,7
17	266,7	1666,7
18	241	1538,5
19	266,7	1538,5
20	317,5	1666,7
21	327,9	1666,7
22	350,9	1666,7
23	344,8	1538,5
24	344,8	1428,6
25	357,1	1538,5
26	312,5	1538,5
27	322,6	1538,5
28	317,5	1666,7
29	307,7	1666,7
30	317,5	1538,5
31	312,5	1538,5
32	416,7	1666,7
33	425,5	1666,7
34	327,9	1666,7

Derinlik (m)	Vs	Vp
35	263,2	1538,5
36	285,7	1666,7
37	327,9	1666,7
38	317,5	1666,7
39	270,3	1666,7
40	312,5	1666,7
41	392,2	1538,5
42	294,1	1538,5
43	298,5	1666,7
44	298,5	1538,5
45	263,2	1538,5
46	281,7	1538,5
47	327,9	1538,5
48	363,6	1666,7
49	465,1	1470,6
50	476,2	1666,7
51	476,2	1538,5
52	487,8	1428,6
53	512,8	1333,3
54	465,1	1388,9
55	476,2	1666,7
56	526,3	1666,7
57	526,3	1666,7
58	500	1666,7
59	500	1666,7
60	540,5	1111,1
61	487,8	1000
62	540,5	1052,6
63	500	952,4
64	487,8	909,1
64,5	486,2	909,1



Şekil C5. BH 123 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

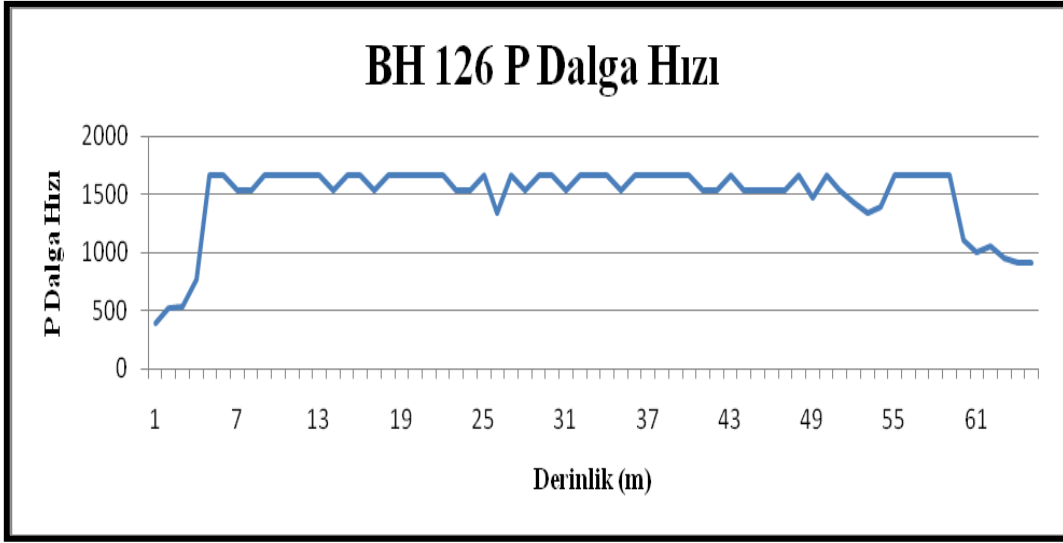


Şekil C6. BH 123 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

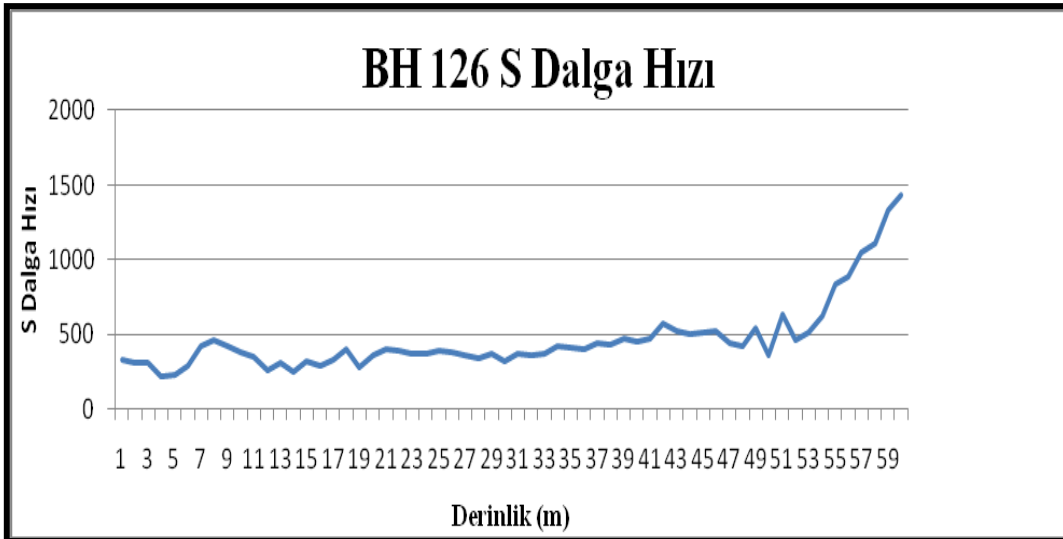
4. BH 126 P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp
1	325,2	793,7
2	310,1	574,7
3	312,5	606,1
4	219,8	480,8
5	227,3	769,2
6	292	1562,5
7	425,5	1428,6
8	465,1	1538,5
9	425,5	1666,7
10	381	1190,5
11	354	925,9
12	259,7	1612,9
13	307,7	1538,5
14	250	1538,5
15	320	1162,8
16	294,1	1666,7
17	327,9	1538,5
18	400	1333,3
19	281,7	1538,5
20	363,6	869,6
21	396	892,9
22	392,2	869,6
23	370,4	952,4
24	370,4	800
25	392,2	877,2
26	384,6	909,1
27	357,1	1162,8
28	339	1250
29	370,4	1515,2
30	322,6	1538,5
31	373,8	781,3
32	360,4	714,3
33	370,4	806,5
34	416,7	793,7

Derinlik (m)	Vs	Vp
35	412,4	909,1
36	404	847,5
37	439,6	833,3
38	434,8	819,7
39	476,2	943,4
40	454,5	806,5
41	476,2	952,4
42	571,4	1250
43	519,5	877,2
44	506,3	833,3
45	512,8	847,5
46	526,3	819,7
47	439,6	980,4
48	421,1	961,5
49	540,5	980,4
50	360,4	925,9
51	634,9	2173,9
52	465,1	1515,2
53	512,8	1538,5
54	625	2000
55	833,3	2381
56	888,9	2381
57	1052,6	2500
58	1111,1	2500
59	1333,3	3333,3
59,5	1428,6	3333,3



Şekil C7. BH 126 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

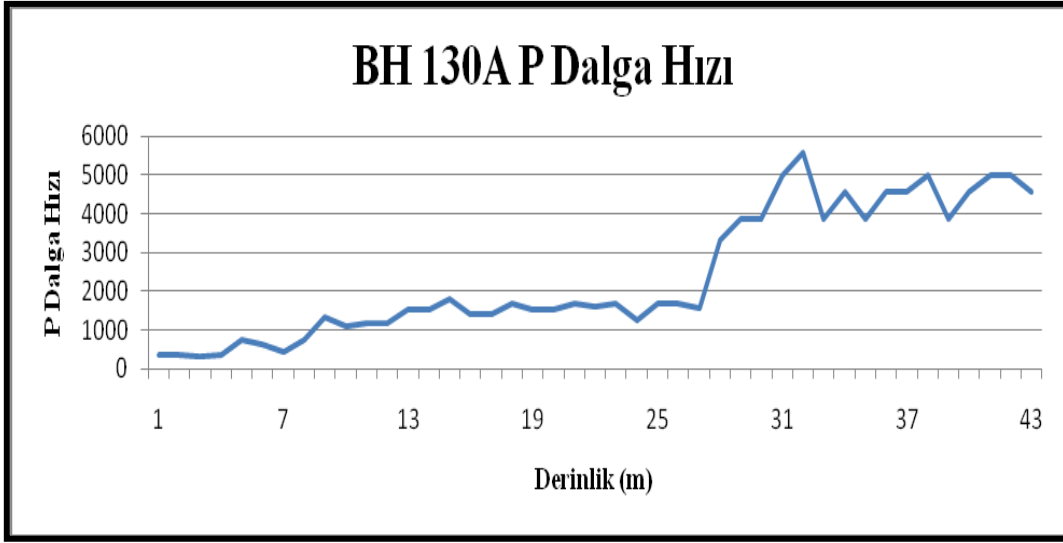


Şekil C8. BH 126 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

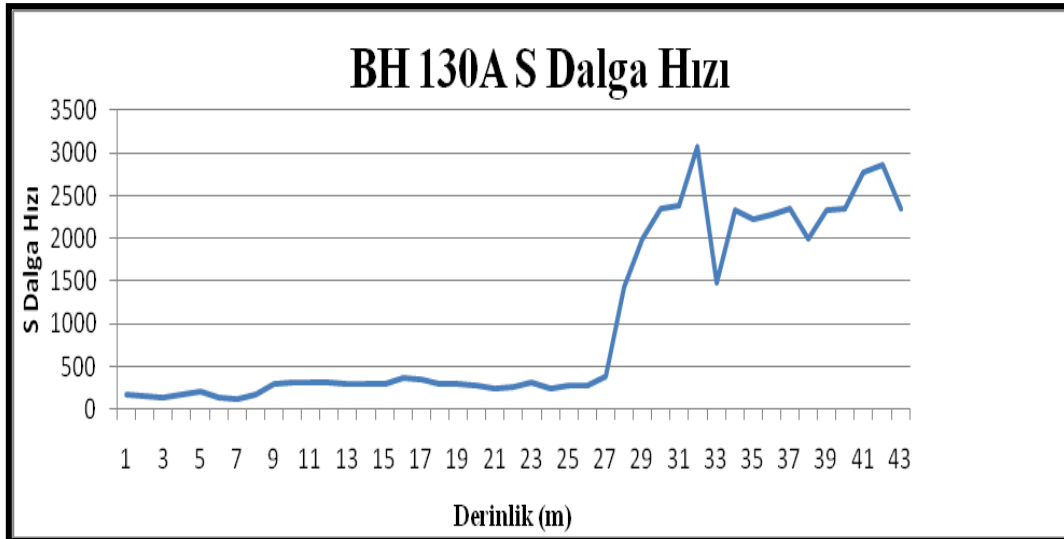
5. BH 130A P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp
1	172,4	344,8
2	143,9	370,4
3	137,9	307,7
4	178,6	370,4
5	212,8	740,7
6	137	645,2
7	124,2	434,8
8	178,6	769,2
9	298,5	1333,3
10	303	1111,1
11	312,5	1176,5
12	317,5	1176,5
13	285,7	1538,5
14	294,1	1538,5
15	285,7	1818,2
16	357,1	1428,6
17	339	1428,6
18	298,5	1666,7
19	294,1	1538,5
20	275,9	1515,2
21	243,9	1666,7
22	256,4	1612,9
23	303	1666,7
24	246,9	1250
25	268,5	1666,7
26	270,3	1666,7
27	388,4	1562,5
28	1428,6	3333,3
29	2000	3846,2
30	2352,9	3846,2
31	2381	5000
32	3076	5555,5
33	1481,5	3846,2

Derinlik (m)	Vs	Vp
34	2325,6	4545,4
35	2222,2	3846,2
36	2272,7	4545,4
37	2352,9	4545,4
38	2000	5000
39	2325,6	3846,2
40	2352,9	4545,5
41	2777,8	5000
42	2857,1	5000
43	2352,9	4545,4



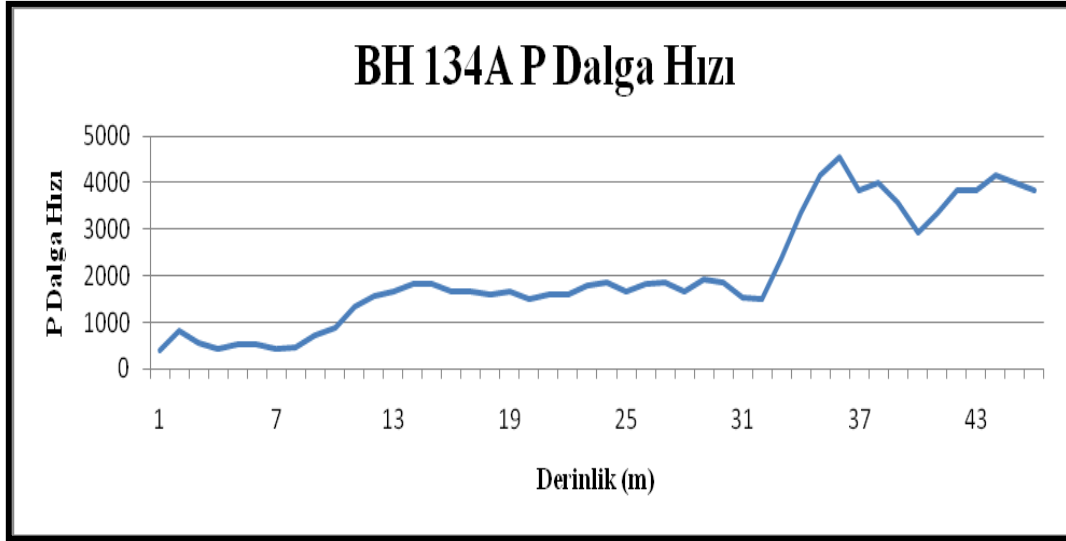
Şekil C9. BH 130A sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.



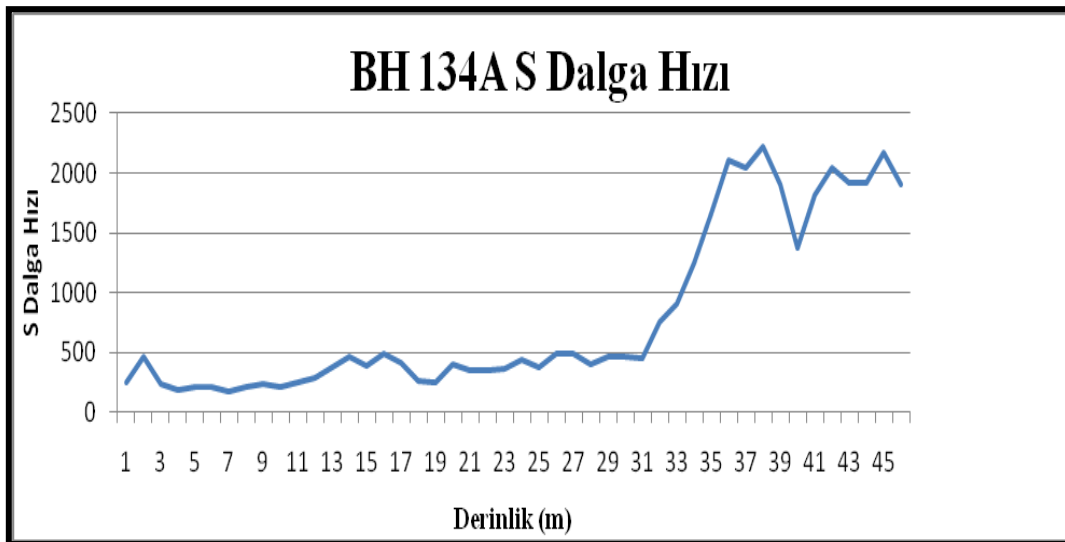
Şekil C10. BH 130A sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

6. BH 134A P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp	Derinlik (m)	Vs	Vp
1	253,2	408,2	34	1250	3333,3
2	465,1	833,3	35	1666,7	4166,7
3	238,1	555,6	36	2105,3	4545,5
4	180,2	434,8	37	2040,8	3846,2
5	212,8	512,8	38	2222,2	4000
6	210,5	526,3	39	1904,8	3571,4
7	170,9	434,8	40	1379,3	2941,2
8	204,1	465,1	41	1818,2	3333,3
9	229,9	714,3	42	2040,8	3846,2
10	204,1	869,6	43	1923,1	3846,2
11	243,9	1333,3	44	1923,1	4166,7
12	281,7	1568,5	45	2173,9	4000
13	377,4	1666,7	46	1904,8	3846,2
14	465,1	1818,2			
15	384,6	1818,2			
16	487,8	1666,7			
17	416,7	1666,7			
18	264,9	1612,9			
19	250	1666,7			
20	396	1515,2			
21	347,8	1612,9			
22	354	1612,9			
23	357,1	1785,7			
24	434,8	1851,9			
25	370,4	1666,7			
26	487,8	1818,2			
27	487,8	1851,9			
28	400	1666,7			
29	459,8	1923,1			
30	465,1	1851,9			
31	454,5	1538,5			
32	754,7	1515,2			
33	909,1	2381			



Şekil C11. BH 134A sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

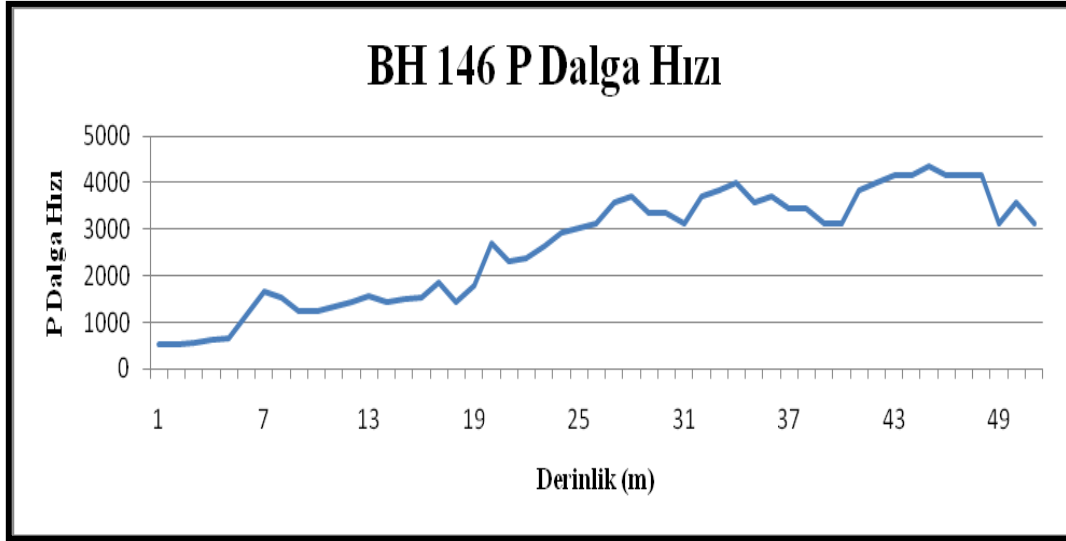


Şekil C12. BH 134A sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.

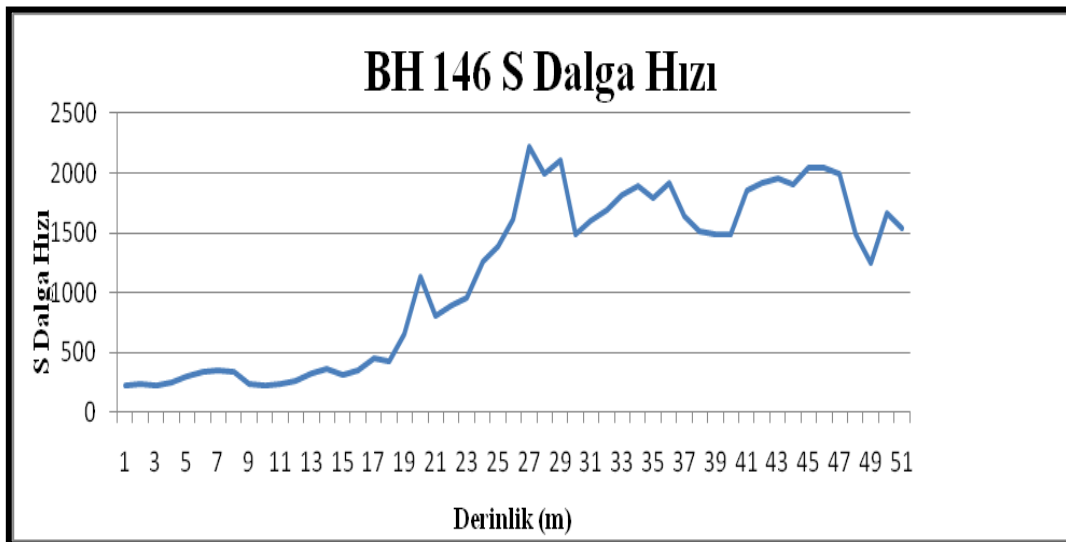
7. BH 146 P ve S Dalga Hızları

Derinlik (m)	Vs	Vp
1		
2	222,2	540,5
3	235,3	526,3
4	227,3	571,4
5	243,9	625
6	303	666,7
7	339	1176,5
8	344,8	1666,7
9	339	1538,5
10	229,9	1250
11	217,4	1250
12	238,1	1333,3
13	259,7	1428,6
14	320	1562,5
15	357,1	1428,6
16	312,5	1515,2
17	353,4	1538,5
18	454,5	1851,9
19	421,1	1428,6
20	655,7	1785,7
21	1136,4	2702,7
22	800	2325,6
23	892,9	2381
24	952,4	2631,6
25	1265,8	2941,2
26	1388,9	3030,3
27	1612,9	3135,8
28	2222,2	3571,4
29	2000	3703,7
30	2105,3	3333,3
31	1481,5	3333,3
32	1600	3125
33	1694,9	3703,7

Derinlik (m)	Vs	Vp
34	1818,2	3846,2
35	1886,8	4000
36	1785,7	3571,4
37	1923,1	3703,7
38	1639,3	3448,3
39	1515,2	3448,3
40	1481,5	3125
41	1481,5	3125
42	1851,9	3846,2
43	1923,1	4000
44	1960,8	4166,7
45	1904,8	4166,7
46	2048,8	4347,8
47	2048,8	4166,7
48	2000	4166,7
49	1481,5	4166,7
50	1250	3125
51	1666,7	3571,4
52	1538,5	3125



Şekil C13. BH 146 sondaj noktasına ait P dalga hızının derinlikle değişim grafiği.



Şekil C14. BH 146 sondaj noktasına ait S dalga hızının derinlikle değişim grafiği.