

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNAMİK KOMPAKSİYON SONUCU OLUŞAN
TİTREŞİM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer GÜRKAYNAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNAMİK KOMPAKSİYON SONUCU OLUŞAN
TİTREŞİM VERİLERİNİN İŞLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömer GÜRKAYNAK
(501091327)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Musaffa Ayşen LAV

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091327 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ömer GÜRKAYNAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DİNAMİK KOMPAKSİYON SONUCU OLUŞAN TİTREŞİM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Musaffa Ayşen LAV**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atilla ANSAL
Özyeğin Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **08 Haziran 2012**

Bilim dünyasına,

ÖNSÖZ

Dinamik kompaksiyon, bir zemin iyileştirme yöntemi olarak giderek önem kazandığı günümüzde iyileştirme sonucu meydana gelen titreşimlerin karakteristiğinin bilinmesi ve çevreye etkisi geoteknik mühendisliğinde önemli bir yere sahiptir. İTÜ İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı kapsamında tarafımca hazırlanan bu tez çalışmasında, Kocaeli Derince Limanında AYTAÇ firması tarafından gerçekleştirilen dinamik kompaksiyonla zemin iyileştirmesi çalışması sırasında meydana gelen ve İTÜ İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı tarafından sahanın çevresinde kayıt altına alınan titreşimlerin ZETAŞ firması tarafından belirlenen zemin koşulları da göz önünde bulundurularak karakteri incelenmiştir. Bu çalışmanın dinamik kompaksiyon sonucu oluşacak titreşimlerin çalışma öncesinde daha iyi tahmin edilmesi doğrultusunda yapılması planlanan araştırmalarda yarar sağlamasını temenni eder, başta hiçbir yardımını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Musaffa Ayşen LAV ve Doç Dr. Ercan YÜKSEL'e, zemin araştırma raporunu verdiği için ZETAŞ firmasına, tezimin hazırlanması esnasında büyük hoşgörü gösteren Sayın Mimar Zeynep Uygun ve Dr. Rıfat Yoldaş'a, bana araştırma alışkanlığı kazandıran Sayın Prof. Dr. Ergin Arıoğlu'na ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Haziran 2012

Ömer GÜRKAYNAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. DİNAMİK KOMPAKSİYON	3
2.1 Avantajları (SCDOT, 2010).....	7
2.2 Dezavantajları (SCDOT, 2010).....	8
2.3 Çevresel Kısıtlamalar	8
3. BÖLGENİN TANITILMASI	11
3.1 Çevre Binalar	11
3.2 Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi	12
3.3 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	13
3.4 Elek Analizi	14
3.5 Atterberg Limitleri	14
3.6 Koni Penetrasyon Deneyi (CPT).....	15
3.6.1 Kullanılan CPT ekipmanı ve deneyin yapılışı	15
3.7 Sonuçların Değerlendirilmesi	16
3.7.1 SPT ve CPT deneylerinden V_s (kayma dalgası hızı) tayini	22
3.8 İdealize Zemin Parametreleri	31
4. DALGA ANALİZİ	33
4.1 Yarı Sonsuz Ortamdaki Dalgalar	33
4.1.1 Rayleigh dalgaları	33
4.1.1.1 Rayleigh dalgası hızı.....	36
4.1.1.2 Rayleigh dalgası yer değiştirme genliği.....	38
4.1.2 Love Dalgaları.....	39
4.2 Genlik Parametreleri.....	42
4.2.1 En büyük ivme	42
4.2.2 En büyük hız	43
4.2.3 En Büyük yer değiştirme	43
4.3 Frekans İçeriği Parametreleri	43
4.3.1 Zemin hareketi spektrumları.....	44
4.3.1.1 Fourier spektrumu.....	44
4.3.1.2 Güç spektrumu	45
4.3.1.3 Davranış spektrumu:	47
4.3.2 Spektrum parametreleri	47
4.3.2.1 Baskın (hakim) periyot	48
4.3.2.2 Bant genişliği:.....	48

5. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR	49
5.1 Hwang ve Tu (2006)	49
5.1.1 Tipik titreşim dalgası formu	49
5.1.2 Fourier ve davranış spektrumları	52
5.1.3 Pik zemin hızın (PGV) ve pik zemin ivmesinin (PGA) sönümlenmesi....	53
5.1.4 Farklı sıkıştırma enerjileri	56
5.2 Paul V. Mayne (1985)	58
5.2.1 Zemin titreşimi verileri.....	58
5.2.2 Ölçeklendirilmiş mesafe verileri.....	60
6. TİTREŞİM KAYITLARI ve KAYITLARIN ANALİZİ.....	65
6.1 Mikrotremor Ölçümlerinin Yerleşimi	65
6.2 Mikrotremor Kayıtlarının İşlenmesi	66
6.3 Titreşim Verilerinin Karakteri	66
6.4 Fourier ve Davranış Spektrumları.....	70
6.5 Pik Zemin Hızın (PGV) ve Pik Zemin İvmesinin (PGA) Sönümlenmesi	73
6.6 Farklı Sıkıştırma Enerjileri.....	77
6.7 Nakamura Methodu ile Büyütme ve Periyot Tayini	79
7. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

ASCII	: Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi
ASTM	: Deneyler ve Malzemeler İçin Amerikan Standartları
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
CI	: Kıvam İndisi
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
CPT	: Konik Penetrasyon Deneyi
GC	: Killi Çakıl
GM	: Siltli Çakıl
GP	: Kötü Derecelenmiş Çakıl
GW	: İyi Derecelenmiş Çakıl
LI	: Likidite İndisi
LL	: Likit Limit
MH	: Yüksek Plastisiteli Silt
ML	: Düşük Plastisiteli Silt
NP	: Plastik Özellik Göstermeyen
PGA	: Pik Zemin İvmesi
PGV	: Pik Zemin Hızı
PHA	: En Büyük Yatay İvme
PHV	: En Büyük Yatay Hız
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit
PVA	: En Büyük Düşey İvme
RL	: Rötire Limiti
SC	: Killi Kum
SM	: Siltli Kum
SP	: Kötü Derecelenmiş Kum
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SPT-N	: Standart Penetrasyon Deneyi Vuruş Sayısı
SW	: İyi Derecelenmiş Kum
TMO	: Toprak Mahsulleri Ofisi
TVS	: Doğrusal Vektörel Toplam
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi
WH	: Dinamik Kompaksiyon Enerjisi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı durumlar için k değerleri (Impe, 1989).....	6
Çizelge 3.1 : Araştırma loglarından ulaşılan sonuçlar. (ZETAŞ, 2001)	16
Çizelge 3.2 : SPT numunelerine yapılan bütün laboratuvar deneylerinin sonuçları....	19
Çizelge 3.4 : SK-1 sondajından elde edilen SPT-N ₆₀ sayılarından V _s hesabı.	24
Çizelge 3.5 : DSK-1 sondajından elde edilen SPT-N ₆₀ sayılarından V _s hesabı.....	25
Çizelge 3.6 : DSK-2 sondajından elde edilen SPT-N ₆₀ sayılarından V _s hesabı.....	26
Çizelge 3.7 : DSK-3 sondajından elde edilen SPT-N ₆₀ sayılarından V _s hesabı.....	27
Çizelge 3.8 : DSK-4 sondajından elde edilen SPT-N ₆₀ sayılarından V _s hesabı.....	28
Çizelge 3.9 : DSK-5 sondajından elde edilen SPT-N ₆₀ sayılarından V _s hesabı.....	29
Çizelge 3.11 : CPT-001 deneyinden elde edilen q _c değerlerinden V _s hesabı.	30
Çizelge 3.12 : CPT-002 deneyinden elde edilen q _c değerlerinden V _s hesabı.	30
Çizelge 6.1 : Ölçümlerin kaynaktan uzaklıkları.....	65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Menard dinamik kompaktör (Impe, 1989).....	3
Şekil 2.2 : Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan dalgalar (Impe, 1989).....	4
Şekil 2.3 : Enine dalgalar sonucu değişen kesme gerilmeleri (Impe, 1989).....	5
Şekil 2.4 : Dinamik kompaksiyon sonucu su muhtevastaki değişim (Impe, 1989). 5	
Şekil 2.5 : Dinamik kompaksiyonun zeminin elastisite modülüne etkisi (Impe, 1989).	6
Şekil 2.6 : Konutlar için titreşimlerin güvenlik sınırı (Elias, 2006).....	9
Şekil 3.1 : Saha çevresindeki yapılar (Google, 2012).	11
Şekil 3.2 : Yapılan arazi araştırmalarının planı.....	13
Şekil 3.3 : SPT-N ₆₀ sayılarının derinlikle değişimi.....	18
Şekil 3.4 : SK-1 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.	20
Şekil 3.5 : DSK-1 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.	20
Şekil 3.6 : DSK-2 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.	21
Şekil 3.7 : DSK-3 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.	21
Şekil 3.8 : DSK-4 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.	21
Şekil 3.9 : DSK-5 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.	22
Şekil 3.10 : Zemin profili.....	23
Şekil 3.11 : Tabakaların ortalama granülmetri eğrileri.	31
Şekil 3.12 : İdealize zemin profili.	32
Şekil 4.1 : Raleigh Dalgalarının tanımı (Kramer, 1996).	34
Şekil 4.2 : Rayleigh ve cisim dalgası hızlarının Poisson ile değişimi (Kramer, 1996).	38
Şekil 4.3 : Genliklerin farklı Poisson oranları için aldığı değerler (Kramer, 1996)....	39
Şekil 4.4 : Raleigh dalgalarının genel doğal hareketi (Kramer, 1996).....	39
Şekil 4.5 : Love Dalgasının hız genliğinin derinlikle değişimi (Kramer, 1996).....	41
Şekil 4.6 : Zemin hareketinin Fourier Spektrumunun logaritmik eksenlerde gösterilmesi (Kramer, 1996).	45
Şekil 4.7 : Farklı frekans içeriğine sahip zemin hareketlerinin baskın periyotlarının karşılaştırılması (Kramer, 1996).....	48
Şekil 5.1 : Farklı mesafelerde hız zamansal geçmişleri (Hwang ve Tu, 2006).	49
Şekil 5.2 : 10 m mesafedeki titreşimlerin karşılaştırması (Hwang ve Tu, 2006).....	50
Şekil 5.3 : Farklı mesafelerde hız zamansal geçmişleri (Hwang ve Tu, 2006).	50
Şekil 5.4 : Lamb'ın analitik çözümle bulunduğu dalga formu (Lamb, 1904).	51
Şekil 5.5 : 10 m mesafedeki partikül hareketinin izlediği yol (Hwang ve Tu, 2006).	51
Şekil 5.6 : Titreşimlerin farklı yönlerdeki Fourier Spektrumları(Hwang ve Tu,2006).	52
Şekil 5.7 : Üç yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması(Hwang ve Tu,2006)	53
Şekil 5.8 : Üç yöndeki normalize ivme davranış spektrumları (Hwang ve Tu, 2006).	54

Şekil 5.9 : Üç yönde PGV ve PGA'nın sönümlenmesi (Hwang ve Tu, 2006).....	55
Şekil 5.10 : Üç yönde PGV ve PGA'nın sönümlenme ortalamalarının karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).....	55
Şekil 5.11 : Dizel kazık çakma makinesi ile dinamik kompaksiyonun karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).....	56
Şekil 5.12 : Farklı sıkıştırma enerjilerinde PGV'nin sönümlenmesinin karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).....	56
Şekil 5.13 : Farklı sıkıştırma enerjilerinde 10 m mesafedeki Fourier Spektrumlarını karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).....	57
Şekil 5.14 : Farklı sıkıştırma enerjilerinde 10 m mesafedeki davranış spektrumlarının karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).....	58
Şekil 5.15 : 12 dinamik kompaksiyon sahasından alınan PGV'lerin mesafe ile sönümlenmelerinin karşılaştırılması (Mayne, 1985).....	59
Şekil 5.16 : PGV'nin ölçeklendirilmiş mesafeye göre sönümlenme ilişkisi (Mayne, 1985).....	61
Şekil 5.17 : PGV'nin farklı mesafelerde WH'ye göre değişimi (Mayne, 1985).....	61
Şekil 5.18 : Normalize titreşim seviyesinin mesafenin ağırlık çapına göre normalize edilmiş hali (d/r_0) ile ilişkisi (Mayne, 1985).....	62
Şekil 6.1 : Sıkıştırma noktaları ve ölçüm yerlerinin yereşimi.	65
Şekil 6.2 : Yatay ve düşey yöndeki hız zamansal geçmişlerin mesafe ile değişimi. .	67
Şekil 6.3 : Kaynaktan 66,30 m mesafede meydana gelen titreşimlerin yatay ve düşey yöndeki hız zamansal geçmişlerinin karşılaştırılması	68
Şekil 6.4 : Kaynaktan 66,30 m uzaklıktaki partikül hareketinin izlediği yol.	69
Şekil 6.5 : Kaynaktan 85,08 m uzaklıktaki partikül hareketinin izlediği yol	69
Şekil 6.6 : Kaynaktan 124,00 m uzaklıktaki partikül hareketinin izlediği yol	70
Şekil 6.7 : Yatay yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması.	71
Şekil 6.8 : Düşey yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması.....	71
Şekil 6.9 : Yatay ve düşey yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması.....	72
Şekil 6.10 : Yatay yöndeki ivme davranış spektrumlarının karşılaştırılması.....	72
Şekil 6.11 : Düşey yöndeki ivme davranış spektrumlarının karşılaştırılması.	73
Şekil 6.12 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin yatay yönde PGV'sinin mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.	73
Şekil 6.13 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin düşey yönde PGV 'sinin mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.	74
Şekil 6.14 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin yatay yönde PGA'sının mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.	74
Şekil 6.15 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin düşey yönde PGA'sının mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.	75
Şekil 6.16 : Her iki yöndeki ortalama PGV 'nin sönümlenme ilişkilerinin karşılaştırılması.	75
Şekil 6.17 : Her iki yöndeki ortalama PGA'nın sönümlenme ilişkilerinin karşılaştırılması.	76
Şekil 6.18 : Dikey yöndeki dalga hızı sönümlenmesinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışma sahasında yapmış olduğu dizel kazık çakma makinesinin sebep olduğu titreşimlerin sönümlenmesiyle karşılaştırılmasını.....	76

Şekil 6.19 : Mayne'nin (1985) sönümlenme ilişkisinin bu çalışma ile karşılaştırılması	77
Şekil 6.20 : Hwang ve Tu'nun (2006) kullandığı farklı sıkıştırma enerjilerinin ve çalışmada kullanılan sıkıştırma enerjisinin sebep olduğu yatay yöndeki PGV'nin sönümlenmesinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 6.21 : Hwang ve Tu'nun (2006) kullandığı farklı sıkıştırma enerjilerinin ve çalışmada kullanılan sıkıştırma enerjisinin sebep olduğu düşey yöndeki PGV'nin sönümlenmesinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 6.22 : Mayne'nin (1985) PGV'nin farklı mesafelerde WH'ye göre değişimi çalışmasının bu çalışma ile karşılaştırılması	79
Şekil 6.23 : Kaynaktan 66,30m uzakta alınan kayıda dair büyütme spektrumu.....	80
Şekil 6.24 : Kaynaktan 85,08m uzakta alınan kayıda dair büyütme spektrumu.....	81
Şekil 6.25 : Kaynaktan 124,00m uzakta alınan kayıda dair büyütme spektrumu.....	81
Şekil A.1 : SK-1 sondajının logu (Zetaş, 2001).	88
Şekil A.2 : DSK-1 sondajının logu (Zetaş, 2001).	89
Şekil A.3 : DSK-2 sondajının logu (Zetaş, 2001).	90
Şekil A.4 : DSK-3 sondajının logu (Zetaş, 2001).	91
Şekil A.5 : DSK-4 sondajının logu (Zetaş, 2001).	92
Şekil A.6 : DSK-5 sondajının logu (Zetaş, 2001).	93

DİNAMİK KOMPAKSİYON SONUCU OLUŞAN TİTREŞİM VERİLERİNİN İŞLENMESİ

ÖZET

Kocaeli Derince Liman'ında yapılan dinamik kompaksiyon çalışması sonucu oluşan titreşimler, titreşimlerin 17.08.1999 Kocaeli, Gölcük depreminden etkilenmiş çevredeki binalara hasar verebilecek veya mevcut hasarlarını etkileyebilecek kadar büyük olup olmadığının saptanması amacı ile ölçülmüştür.

Dinamik kompaksiyon, önceden hesaplanmış bir yükseklikten ağır bir kütlenin zemine düşürülmesi sonucu problemlili gevsek zemin tabakalarının sıkıştırılmasını sağlayan bir zemin iyileştirme metodudur. Öte yandan meydana gelen zemin titreşimleri potansiyel olarak yakın çevrede bulunan yapılara, boru hatlarına ve hassas ekipmanlara zarar verebileceği gibi insanları da rahatsız edecek eşik seviyelerini aşabilir. Amerika'nın Colorado eyaletinin Rock Spring bölgesinde terk edilmiş bir madenin yıkılması amacı ile dinamik kompaksiyon uygulaması esnasında çevrede bulunan binaların hasar aldığı görülmüştür. Bu çalışmada bir dinamik kompaksiyon projesinde çevreye yayılan titreşimlerin, depremde sonra zaten hasar görmüş yapılardaki hasar düzeyini artırıp arttırmadığını kontrol etmek için alınmış titreşim kayıtları değerlendirilmektedir.

ZETAŞ firması tarafından hazırlanan zemin etüd raporuna göre Derince Limanında altı adet sondaj ve iki adet CPT deneyi yapılmıştır. Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre zemin profili yapısı çakıllı kum ve siltli kil olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır.

Dinamik kompaksiyon sonucu zeminde basınç dalgaları ve yüzey dalgası olan Rayleigh dalgaları oluşur ve enerjisinin yaklaşık %70'ini Rayleigh dalgaları olarak etrafa yayar. Oluşan dalgaların analizinde Fourier ve Davranış Spektrumları kullanılmıştır. Kuvvetli bir zemin hareketinin Fourier Genlik Spektrumu hareketin genliğinin frekansa veya perioda göre nasıl dağıldığını gösterir. Davranış Spektrumu tek serbestlik dereceli sistemlerin belirli bir hareketin doğal frekansı veya periodu ve sönümlenme oranı fonksiyonlarına karşı nasıl tepki gösterdiğini açıklar.

Çalışmada bulunan sonuçların karşılaştırılması amacı ile Hwang ve Tu'nun 2006'da ve Mayne'in 1986'da yaptığı çalışmalar kullanılmıştır. Hwang ve Tu 2006 yılında Tayvan'da Taichung Limanında dinamak kompaksiyo sonucu oluşan titreşimlerin daha iyi anlaşılması amacıyla özel olarak bir çalışma yapmış ve en kapsamlısı araştırma olarak görülmektedir. Bu çalışma sonucunda oluşan titreşimlerin 0,1 ile 0,3 saniye arasında sürdüğü, kaynaktan farklı mesafelerdeki titreşimlerin Fourier Spektrumlarının şekillerinin benzer olduğu, dikey ve yatay yöndeki titreşimlerin teğet yöndekilerden daha büyük en büyük değerlere sahip olduğu, kompaksiyon enerjisi arttıkça oluşan titreşimlerin büyüdüğü ve izolasyon hendeğinin titreşimlerin yayılmasında önleyici bir etken olmadığı sonuçlarına varılmıştır. Mayne'in 1986 yılında yaptığı çalışma on iki farklı dinamik kompaksiyon sahasından alınmış olan titreşim kayıtlarının derlenmesiyle meydana getirilmiştir. Bu çalışmada meydana gelen zemin titreşimlerinin genlikleri kaynaktan uzaklaştıkça sönümlendiği, titreşim seviyelerinin sıkıştırılan bölge sıkıştıkça arttığı ve normalize titreşim seviyesinin (partikül hızının teorik çarpma hızına oranı) mesafenin ağırlık çapına göre normalize edilmiş hali (d/r_0) ile ilişkisinin ampirik yaklaşımla doğrusal olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Çalışmada kullanılan titreşim kayıtlarının analizi sonucunda yatay ve düşey yönlerde titreşimlerin kaynaktan uzaklaştıkça sönümlendiği, zamansal geçmişlerde ön kısımlarda bulunan yüksek frekanslı piklerin devamındaki düşük frekanslı piklerden daha hızlı sönümlendiği, titreşim sürelerinin 0,5 ile 1,0 saniye arasında olduğu, yatay ve düşey doğrultularda titreşim genliklerinin oldukça yakındı olduğu, partikül hareketinin saatin ters yönünde gerçekleştiği ve tekrarlanan kompaksiyon işlemleriyle karşılaştırıldığında hareketin karakterinde bir değişiklik olmadığı, aynı yönde farklı uzaklıklarda bulunan Fourier Spektrumlarının şekillerinin benzer olduğu ve neredeyse frekans içeriklerinin aynı olduğu, yatay ve düşey yönlerdeki Davranış Spektrumlarının şekillerinin benzer olduğu ve spektral değerlerin kaynağa yakın olanlarda uzak olanlara nazaran kısa periyot aralıklarında daha büyük olmasına karşın uzun periyot aralıklarında daha küçük olduğu, tekrarlı sıkıştırma işlemlerinde sönümlenme ilişkilerinin nerdeyse aynı olduğu, farklı zemin koşullarında sönümlenme oranının neredeyse aynı olduğu ve titreşimlerin genliklerinin zemin koşullarına sıkıştırma enerjisinden daha çok bağlı olduğu sonuçlarına varılmıştır.

PROCESSING OF VIBRATION RECORDS FROM DYNAMIC COMPACTION

SUMMARY

Ground vibrations due to dynamic compaction at a harbor site were measured to investigate whether the magnitude of vibrations were unacceptably strong to cause any damage or increase existing damage on the surrounding structures experienced August 17, 1999 Kocaeli, Golcuk earthquake.

Purposes of that study is analyzing and understanding the behavior of ground vibrations that induced during a dynamic compaction and help to determine the vibration characteristic and estimate probable problems before application. In addition, it proofs and expands previous studies and guides for fewer studies.

Dynamic compaction is one of the deep soil improvement method that where a heavy predetermined weight is dropped onto ground from a great predetermined height to densify loose underlying soils. On the other hand, ground vibrations due to dynamic compaction potentially affect or damage nearby structures, pipelines and sensitive equipments, moreover it can reach the threshold level of people's disturbtion.

In America state of Colorado Rock Spring region during destruction of a abounded mine dynamic compaction is used and observed that some of surrounding structures are damaged. In this study ground vibration records that taken from due to a dynamic compaction to investigate the effect to the structures that recently damaged from an earthquake are evaluated.

According to soil investigation report that prepared by ZETAS Company six borings and two CPT tests are executed in Derince Port in the scope of soil investigation. According to result of geotechnical studies site is two layered as gravelly sand and silty sand.

Due to dynamic compaction, body waves and Rayleigh waves that is a surface wave become exist and 70% of ground vibration energy propagates as Rayleigh waves. Fourier spectrums and response spectrums are used to analyze those waves. The

Fourier amplitude spectrum of a strong ground motion shows how the amplitude of the motion is distributed with respect of frequency or period. The response spectrum describes the maximum response of a single degree of freedom system to a particular input motion as a function of the natural frequency or period and damping ratio.

In the purpose of comparing the result that find from that study the studies of Hwang and Tu in 2006 and Mayne in 1986 are used.

Hwang and Tu made a special experiment for dynamic compactions ground vibration analyze in Taiwan Taichung Port at 2006 and seems the best and most accurate study until now. According to that study duration of vibrations are between 0,1s and 0,3s, the shape of Fourier spectrums are similar in different source distances, vertical and horizontal components of the vibrations have greater peak values than tangential component, as the compaction energy increases also vibrations amplitude increases and isolation trench does not effects to the propagation of the vibrations that induced.

In the study by Mayne in 1986 twenty two different dynamic compaction vibration records have been compiled and compared. According to that study amplitudes of the induced vibrations are damping with the distance, vibration amplitudes are increasing according to compaction rate of the soil and normalized vibration level (ratio of particle speed to the speed of weight in impact) has an epically linear relationship with distance that normalized depending to radius of weight (d/r_0).

As a result of analysis of vibration records used in the study horizontal and vertical components of the vibrations are damping with the distance, peak values that with high frequencies in the front part of time histories are damping faster than peak values with low frequencies in other parts, durations of vibrations are between 0,5s and 1,0s, amplitudes of horizontal and vertical components of the vibrations are very similar, the direction of particle motion during the vibration is counterclockwise and motion characteristics don't change in consecutive impacts, the shape of Fourier spectrums are similar in different directions and frequency content is nearly equal, damping relationships are nearly similar in consecutive compaction impacts, shape of the vertical and horizontal vibration components response spectrum similar and spectral values in the range of shorter period at near distance is greater than at far distance but the spectral values of longer period at near distance is lower than that at

far distance, damping ratio is similar in different soil types and vibration amplitudes are more depended to the soil type than the compaction energy.

1. GİRİŞ

Dinamik kompaksiyon, önceden hesaplanmış bir yükseklikten ağır bir kütlenin zemine düşürülmesi sonucu problemlili gevsek zemin tabakalarının sıkıştırılmasını sağlayan bir zemin iyileştirme metodudur. Ağırlık ve düşürme yüksekliği birbirinden bağımsız değişkenler olmayıp aralarında lineer bir bağıntı vardır. Bu metot literatürde kayıtlı olarak ilk kez Menard ve Broise (1975) tarafından gerçekleştirilmiş olup doygun veya neredeyse doygun zeminlerin ani bir darbe ile sıkıştırılmasını sağlayıp kesme deformasyonu, geçici yüksek boşluk suyu basıncı ve müteakip konsolidasyonu sağlamaktır. Doygun, gevsek, iri daneli zeminlerin sıkıştırılması taşıma gücünü arttırdığı ve bu metot ile sıkıştırılması kumlu zeminlerin sıvılaşmaya karşı daha dayanıklı olduğu depremler esnasında gözlemlenmiştir. (Mayne, 1984)

Öte yandan zemin titreşimleri potansiyel olarak yakın çevrede bulunan yapılara, boru hatlarına ve hassas ekipmanlara zarar verebileceği gibi insanları da rahatsız edecek eşik seviyelerini aşabilir. Dinamik kompaksiyon sonucu bu tür önemli zemin titreşimleri meydana geleceğinden yapılan çalışmaya pek çok kısıtlamaları getirilebilir. Uygulama sonucu oluşan zemin titreşimi kazık imalatı, patlatma ve trafik gibi pek çok inşaat aktivitesi sonucu oluşan titreşimlerden farklıdır. (Hwang ve diğ.,2005)

Amerika'nın Colorado eyaletinin Rock Spring bölgesinde terk edilmiş bir madenin yıkılması amacı ile dinamik kompaksiyon uygulaması esnasında çevrede bulunan binaların hasar aldığı görülmüştür. Bu dinamik kompaksiyon çalışması 25 ve 35 tonluk ağırlıkların eski maden ocağının üzerine düşürülmesi ile uygulanmış ve çalışmanın 3. haftasında çevredeki sakinlerin şikâyetleri üzerine çalışma durdurulmuştur. Colorado'daki bir mühendislik firması olan J.A. Cesare & Associates'in konu hakkında ki raporunda hasar sebebinin dinamik kompaksiyon olduğunu ve bu tip titreşim kaynaklı oturmaların ve hidromekanik kaynaklı deplasmanların oluşabileceğini belirtmiştir. Firmanın raporunda ayrıca alınan sismik kayıtlar doğrultusunda hasar gören 19 binanın 7'sinin yapısal olarak doğrudan

etkilendiğini ve diğer 12'sinin zeminde oluşan deplasmanlar ve oturmalar sebebiyle hasar gördüğü belirtilmiştir (Gearino, 2010).

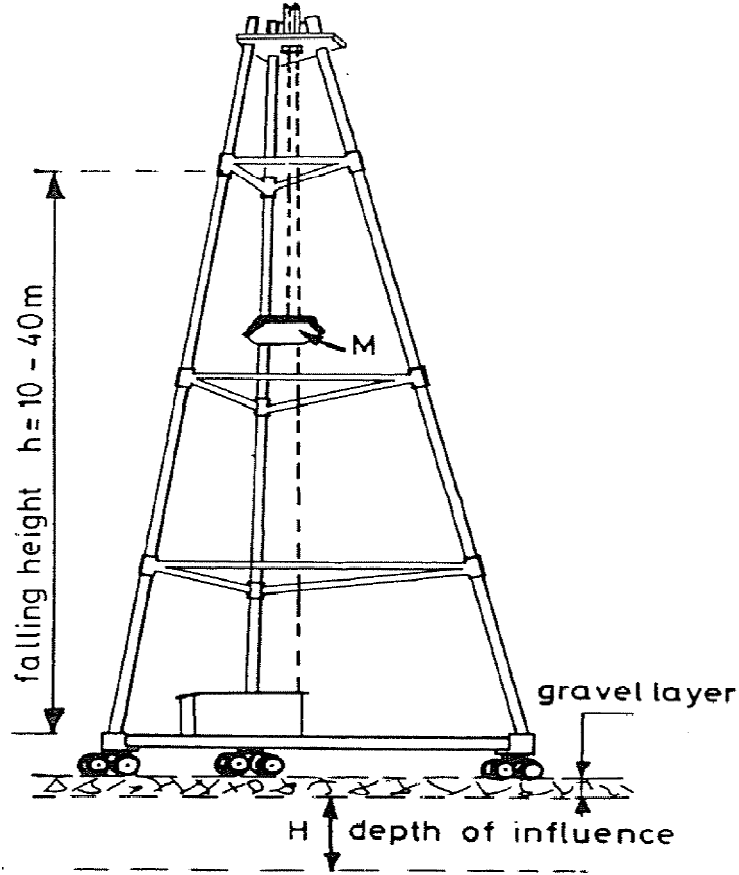
Bu çalışmada bir dinamik kompaksiyon projesinde çevreye yayılan titreşimlerin, depremde sonra zaten hasar görmüş yapılardaki hasar düzeyini arttırıp arttırmadığını kontrol etmek için alınmış titreşim kayıtları değerlendirilmektedir. Amaç, konu ve bölge ile ilgili tüm bilgileri değerlendirmek, bir araya getirmek, literatürdeki bazı çalışmalarla karşılaştırmak ve daha ileri araştırmaların yapılabilmesi için bir zemin hazırlamaktır.

Bu amaçla çalışmanın Dinamik Kompaksiyon bölümünde dinamik kompaksiyonun genel tanımı, Bölgenin Tanıtılması bölümünde çevre binalar ve zemin koşullarının ayrıntılı incelemesi, Dalga Analizi bölümünde titreşimlerin analizi esnasında kullanılacak bazı analiz yöntemleri ve terimler, Literatürdeki Benzer Çalışmalar bölümünde çalışmanın karşılaştırılması amacı ile kullanılan konu ile ilgili diğer çalışmalar ve Titreşim Kayıtları ve Kayıtların Analizi bölümünde kayıtların işlenmesi ve diğer çalışmalarla karşılaştırılmasını konularına değinilmiştir.

2. DİNAMİK KOMPAKSİYON

Dinamik kompaksiyon bilindiği gibi en eski derin sıkıştırma metotlarından bir tanesidir. Proctor'un ilk 77 sene önce öne sürdüğü zeminlerin sıkıştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu derin sıkıştırma tekniği modern literatürde ilk olarak 1957 yılında İngiltere'deki Road Araştırma Laboratuvarında analiz edilmiştir. Ancak modern literatüre göre yetmişlerin başlarında Menard tarafından dinamik derin kompaksiyon tam anlamıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Metot ağır bir kütlenin yüksekten serbest olarak zemine düşürülmesini içermektedir (Şekil 2.1). Bu düşürmeler yerel zemin koşullarına bağlı olarak belirli sayı, zaman aralıkları ve uygulama alanında gerçekleştirilir.

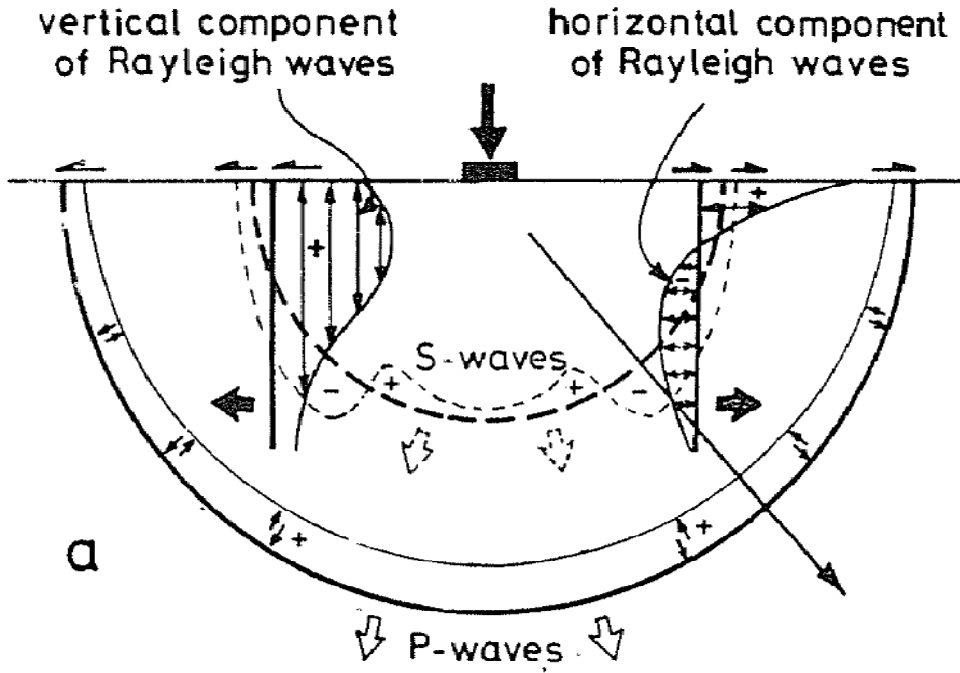


Şekil 2.1 : Menard dinamik kompaktör (Impe, 1989).

İlk olarak gevşek kum, çakıl ya da uç direnci 10 MN/m^2 'den küçük olan taşlı tabakaların sıkıştırılmasında kullanılmıştır.

Bu teknik kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılmasında da kullanılabilir olarak görülmektedir (Impe, 1989). Bu açıkça görülen sıra dışı sonuç pek çok kohezyonlu alüvyon zeminlerde bulunan organik maddelerin mikro düzeyde hava kabarcıklarına sebep olması ile açıklanabilir. Bu mikro düzeydeki hava kabarcıkları toplam zemin hacminin %1-4'ü kadardır ve bir sıkıştırma işleminde tabakanın sıkışmasına olanak sağlamaktadır. Tekrarlı düşürmeler altında boşluk suyu basıncı sıkıştırılan tabakanın ağırlığına kadar yükselir ve zemin kaynayan kum davranışı gösterir (sıvılaşma). Bu dengesiz durum sonucu zeminde fissürler oluşur ve permeabilitesi yükselir.

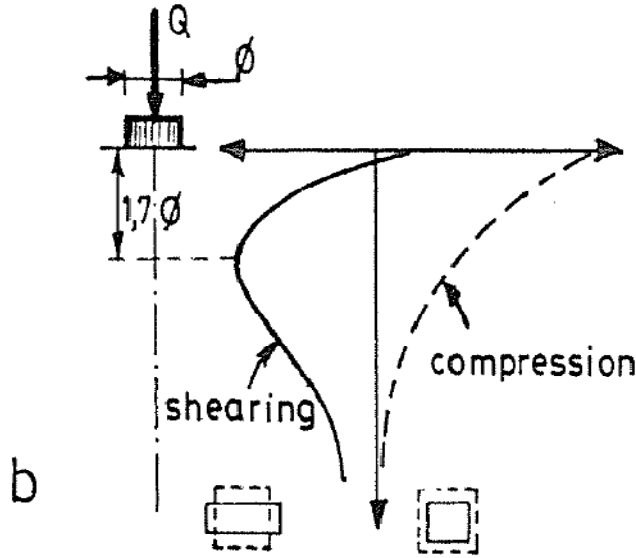
Dinamik kompaksiyon sonucu zemin içerisinde yayılma hızı 3 km/s olan boylamsal dalgaların yanı sıra yüzey dalgaları ve enine dalgalar oluşur (Şekil 2.2).



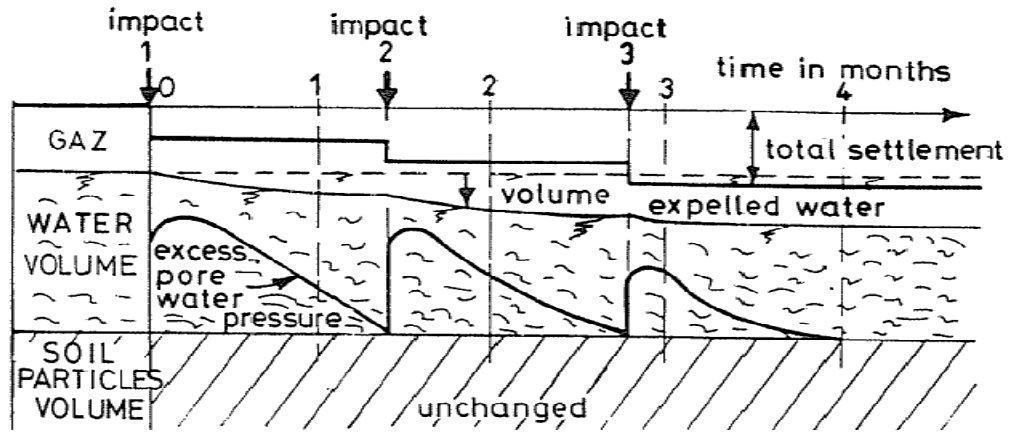
Şekil 2.2 : Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan dalgalar (Impe, 1989).

Boylamsal dalgalar prensip olarak mevcut iskelet yapısını yırtar ve zemin yüzeyinde kırılmaya uğrarken enine dalgalar ise derinde bulunan tabakaların sıkıştırılmasında kolaylık sağlar. Enine dalgalar sonucu değişen kesme gerilmeleri (Şekil 2.3) sayesinde dane iskeletinin yeniden oturması esnasında tabakanın üst tarafında bulunan sıkıştırılmış zeminin permabilitesi büyük ölçüde iyileşir ve boşluk suyunun

çıkışını kolaylaştırır. Böylece dane, boşluk suyu ve havadan oluşan toplam hacim azaltılmış olur ve bunun sonucunda zemin iyileştiği söylenebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 : Enine dalgalar sonucu değişen kesme gerilmeleri (Impe, 1989).



Şekil 2.4 : Dinamik kompaksiyon sonucu su muhtevastaki değişim (Impe, 1989).

Dinamik kompaksiyonun tesir derinliği olan H darbe enerjisine ($E_d = M \times h$), zeminin sönümleme özelliklerine, düşürülen kütlenin şekline, dane iskeletinde bulunan boşluklarındaki su ve havaya ve boşluk suyunun drenaj imkanına bağlıdır. Genel olarak dinamik kompaksiyonun tesir derinliği;

$$H = k\sqrt{Mh} \quad (2.1)$$

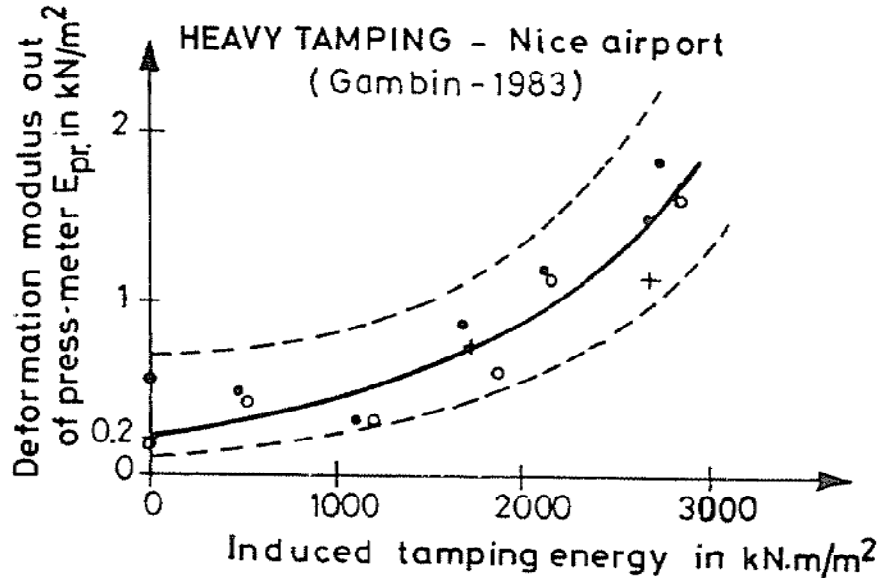
Şeklinde ifade edilir. Burada M (düşürülen cismin ağırlığı) ton, H (tesir derinliği) ve h (düşürme yüksekliği) metre cinsindendir. k ise azaltma kat sayısıdır ve 1'den

büyüktür. Zeminin kil içeriği, heterojenliği ve su muhtevası artıka kat sayı azalmaktadır. Bazı durumlar için k değeri Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Farklı durumlar için k değeri (Impe, 1989).

Zemin Tipi	Yazar	Önerilen k değeri
Genel	Ménard (1972)	$1/\sqrt{10}$
Katı Killer	Léonards ve diğ. (1975)	$0,5/\sqrt{10}$
Yumuşak Kil	Charles ve diğ. (1978)	0,35 - 0,40
Kaya Dolgular	Bjolgrund & Hang (1983)	1

Dinamik kompaksiyon enerjisinin zeminin elastisite modülüne etkisi Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Görülüyor ki elastisite modülü 2 ile 10 kat arasında artmaktadır fakat oturmalar bekleneneğinden 4 ile 5 katı kadar azaltılmalıdır. Ayrıca drenajsız kayma mukavemetinin de 2 kat azaltılmasında fayda vardır.



Şekil 2.5 : Dinamik kompaksiyonun zeminin elastisite modülüne etkisi (Impe, 1989).

Açıkça görülür ki darbeler altında zemin yüzeyinde kraterler oluşur krater tabanından daha yukarıda kalan kısım örselenir ve bu kısımlara iyileştirme uygulanmış olunmaz. Bu nedenle kraterlerin çok derin oluşmaması için yeterli kalınlıkta (1,50 – 2,00 m) kaya dolgu yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda bu üst tabaka çalışmayı yapan makine için bir taşıma zemini oluşturur ve fazla basınç altında zeminde bulunan artık boşluk suyunun yüzeye çıkışını hızlandırır. Çalışma vuruş noktalarının uygun bir şekilde dağıtılması ile alt tabakadan yüzeye doğru kademeli olarak sıkıştırılma amaçlanır. Sıkıştırma işlemi, kenarları 5 ile 20 m arasında değişen üçgen ya da kare

şeklinde ayrılan bölgelerin köşelerinde uygulanır. Başta büyük mesafelerin kullanılması derin sıkıştırma etkisini arttırılabilir. Mesafelerin yakın olması ise yüzeye yakın tabakaların daha iyi sıkıştırılmasını sağlar.

Kalsiyum karbonatın bol olduğu tabakalarda iyileştirme işlemi daha iyi sonuç verir iken montmorillonit gibi kil mineralleri içeren tabakalarda aksine sonuçların olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır.

Dinamik kompaksiyonun kullanışlılığı konusunda bir tek soru kalır. Örneğin aşırı konsolide bir tabakanın sıkıştırılması sırasında daneler açıkça süspansiyon haline dönüşür. Bunun sonucunda aşırı konsolide tabakanın başlangıçtaki efektif basıncı yok olur ve bu da tabakanın sıkıştırma özelliklerini olumsuz etkiler.

Dinamik kompaksiyon esnasında çevredeki yapıların hasar görmemesine ayrıca dikkat edilmesi lazımdır. Depremlerde olduğu gibi tehlikenin nedeni çalışma sırasında meydana gelen dalgaların frekansı, genliği ve hızı olarak görülür.

Meydana gelen titreşimlerin frekansı genelde 5 Hz olup pek çoğu 12 Hz'den küçüktür ve çevre binalara zarar verir nitelikte değildirler. En çok dikkat edilmesi gereken özellikle büyük kütleler ile çalışılıyorsa meydana gelen titreşimlerin genlikleridir. Büyük kütlelerin meydana gelen titreşimlerin genliklerini büyük ölçüde etkilediği görülmüştür.

Örneğin Norveç'te bahsi geçen bu üç parametreden hız parametresi yapılan inşaat çalışmaları için sınırlandırılmıştır. Bu yasaya göre normal bir inşaat esnasında meydana gelecek titreşimlerin hızı 50 mm/s olarak sınırlandırılmıştır. Ayrıca çevrede nükleer santral gibi önemli yapıların bulunması durumunda limit daha da düşüktür.

2.1 Avantajları (SCDOT, 2010)

- İşlem bir sondalama ve düzeltme aracı olarak da kullanılabilir. Düşürülen ağırlıkla gevşek zeminlerin ve mağaraların varlığı saptanabilir ve bunların yaratabileceği olası problemler önceden saptanır.
- Zemin sıkışması çalışma esnasında gözlemlenebilir. Birkaç düşürme işlemin ardından sıkışan kraterler zeminin sıkıştırdığı gösterir.
- Dinamik kompaksiyon heterojen yataklarda (aşınmış kaya parçacıkları, gevşek dolgular, inşaat hafriyatları ve katı atıklar) kullanılabilir.

- Sıkıştırma işlemi su seviyesinin altındaki tabakalara etki edebildiğinden pahalı drenaj işlenmelerine gerek kalmaz.
- Taşıyıcı tabakayı eşit olarak sıkıştırması nedeni ile farklı oturmaları minimuma indirir.
- Standart inşaat ekipmanları çok büyük ağırlıklar ve yüksekliklerle çalışılmadığı sürece dinamik kompaksiyonda kullanılabilir. Çok büyük ağırlıklar ve yükseklikler için bu konuda uzmanlaşmış yüklenicilerle çalışılmalıdır.
- Dinamik kompaksiyon oluşan kraterlerin su dolması önlendiği takdirde kötü hava koşullarında da gerçekleştirilebilir.

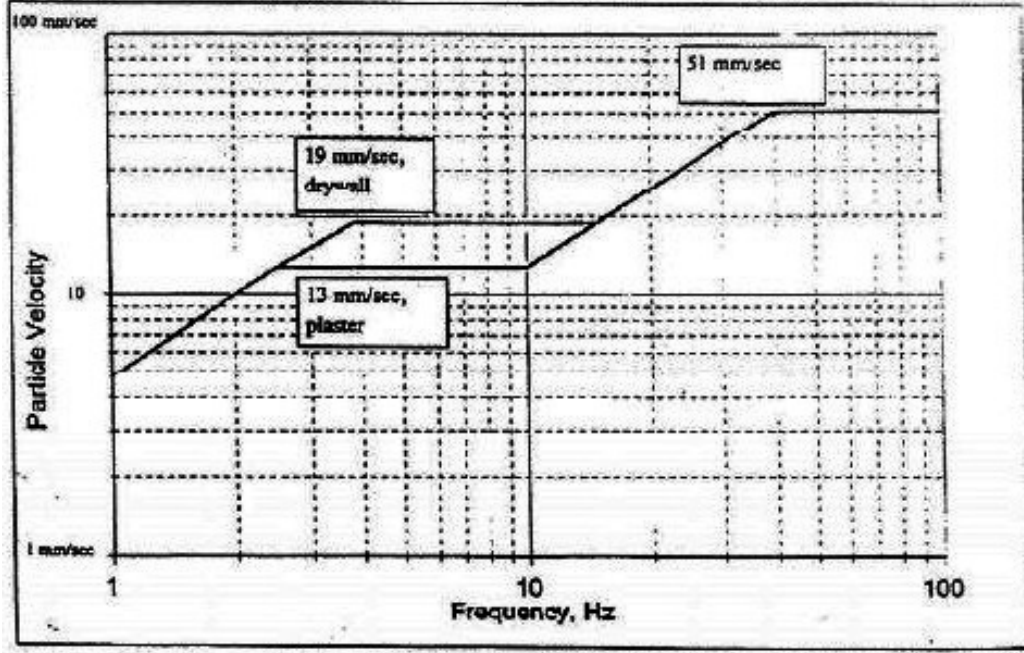
2.2 Dezavantajları (SCDOT, 2010)

- Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan titreşimler darbe noktasından çok uzak mesafelere ulaşabilir ki bu titreşimler nedeni ile yerleşim bölgelerine yakın yapılan çalışmalarda daha hafif kütleler ve alçak yükseklikler kullanılmasına sebep olabilir.
- Yer altı su seviyesinin yüzeye 2 m'den yakın olduğu bölgelerde yüzeydeki bölgenin yumuşamasına sebep olabileceği gibi ağırlık zemine yapışabilir.
- Çok gevşek bölgelerde çalışma platformu kullanılması gerekebilir. Bu platform düşürülen kütlenin zemine penetrasyonunu azaltmak için kullanılır ve projeye büyük maliyetler ekleyebilir.
- 146 kN ile 292 kN arası sıkıştırma enerjilerinde kaynaktan 7 m mesafede büyük yatay deplasmanlar (3 – 8 cm) kaydedilmiştir. Bu durum yakında bulunan gömülü yapı ve altyapılarda hasar ve deplasmanlara sebep olabilir.

2.3 Çevresel Kısıtlamalar

Daha önce de belirtildiği gibi dinamik kompaksiyonun çevreye bazı olumsuz etkileri bulunmaktadır. Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun çalışmalarına göre çevre binaların zarar görmesi titreşimin partikül hızına bağlıdır (Elias, 2006). Şekil 2.6 bu büro tarafından patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin ve bunlara bağlı olarak çevrede bulunan konutların aldıkları hasarlar doğrultusunda hazırlanmıştır.

Görüldüğü gibi titreşimlerin frekansına bağlı olarak partikül hızlarının limitleri belirlenmiştir. Normal koşullarda dinamik kompaksiyon 5 ile 12 Hz arası frekanslı titreşimler oluşturur. Şekil...’da bu frekanslara denk gelen limit partikül hızlarının sıva kullanılan eski binalar için 13 mm/sn ve alçıpan kullanılan daha modern konutlar için 19 mm/sn olduğu görülmektedir. Bu limitler yıkıcılık limiti olmasa da sıva ve alçıpanlarda çatlaklara sebep olurlar.



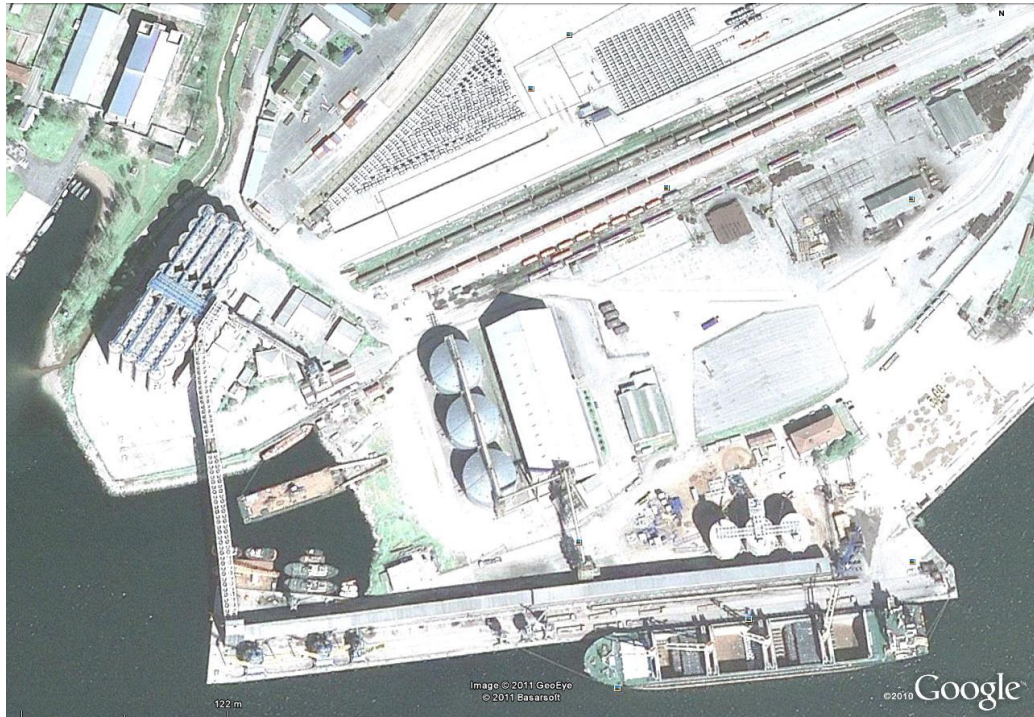
Şekil 2.6 : Konutlar için titreşimlerin güvenlik sınırı (Elias, 2006).

Birleşik Devletler Maden Bürosu tarafından elde edilen bu verilen gösteriyor ki partikül hızının 51 mm/s olduğu durumlarda küçük hasarlar ve 190 mm/s’yi geçtiği durumlarda ise büyük hasarlar oluşmaktadır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda partikül hızı 13 ile 19 mm/s arasında tutulması hasarın minimum seviyede tutulmasını sağlayacaktır. Eğer hesaplanan tahmini partikül hızı bu limitleri aşacak seviyelerde bulunursa ağırlık veya yükseklik azaltılmalıdır.

3. BÖLGENİN TANITILMASI

3.1 Çevre Binalar

Dinamik kompaksiyon sahası çevresindeki binalar Şekil 3.1 da gösterilmiştir. Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) siloları ve yönetim binaları sahanın kuzey-batısında yer almaktadır. Silolar sürtünme kazıkları üzerine silindirik kesitte betonarmeden inşa edilmiş olup yüksekliği 42,50 m 'dir. Silolar deniz, kara ve orta kısım olmak üzere üç ayrı grup halinde bulunmalarına karşın aynı kazıklı temel üzerine oturmaktadır. Silolarda titreşim ölçümleri orta kısımdaki grubun dibinde ve çatısında alınmıştır. Yönetim binalarında ise hem temel seviyesinde hem de zemin yüzeyinde alınmıştır.



Şekil 3.1 : Saha çevresindeki yapılar (Google, 2012).

Binalar betonarme olup kazıklı temel üzerine oturmaktadır. Her iki yapının da tasarımı yüksek kalite standartlarındadır. Sahanın güneyinde kazıklı temele oturan liman konveyör hattı bulunmaktadır. Yapı iki katlı çelik yapı olarak inşa edilmiş olup sadece ikinci katı gevrek duvarlarla çevrilmiştir. Titreşim ölçümleri konveyörün ortalarından bir ayağın dibinden alınmıştır. Çevredeki bütün yapılar 1999 Kocaeli –

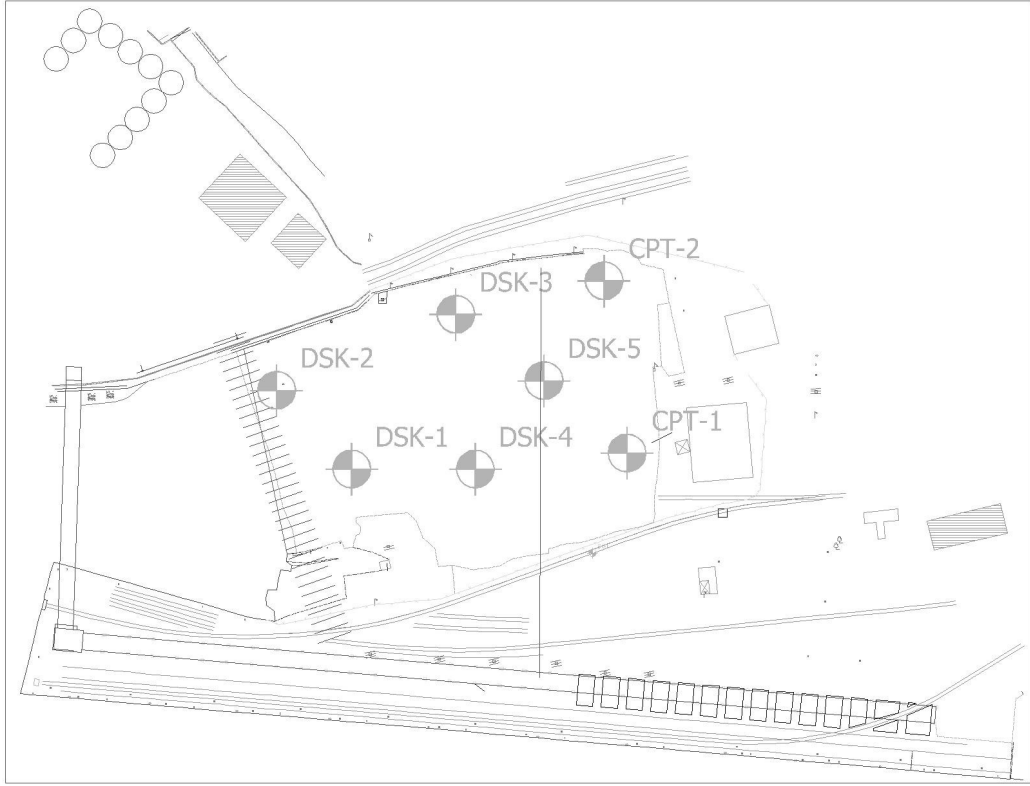
Gölcük depreminden az hasarlı olarak kurtulmuştur. Ancak sahanın doğusunda bulunan yarı bodrum, bir zemin kat ve iki normal katı bulunan gümrük binası orta derece hasar görmüş olup sonradan güçlendirme uygulanmıştır. (Lav ve diğ, 2010)

3.2 Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Bilindiği gibi, bir bölgenin dinamik zemin koşullarının elde edilmesi için bölgede bazı arazi çalışmaları yapılması gerekmektedir. Dinamik zemin parametreleri ve tabakalaşma yapısı yapılan titreşim ölçümlerinin karakterize edilmesinde büyük rol oynamaktadır (Güllü, 2001). Derince Limanında zemin araştırmaları Zetaş firması tarafından gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu sahada inşası tasarlanan yapıların yerleşimi ve deniz içerisinde dolgu yapılacak kesim dikkate alınarak, zemin ve temel mühendisliği değerlendirmelerinin yapılmasına yönelik kara ve deniz sondajları ile elektrikli CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) deneylerinden oluşan arazi etütleri 28.12.2001 – 16.01.2002 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu tarihler arasında gerçekleştirilen zemin etütleri kapsamında karada bir noktada 36,5 m uzunluğunda, denizde ise derinlikleri 35,0 m olan beş farklı noktada toplam 175,0 m uzunluğunda dikey sondaj gerçekleştirilmiştir. Sondajlar SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) ile ilerlemişlerdir. Sondaj verileri ile korelasyon sağlamak amacı ile kara ve denizde gerçekleştirilen sondajlara ilave olarak, denizde iki adet farklı noktada toplam 40,08 m uzunluğunda elektrikli CPT deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmaların planı Şekil 3.2 de görülmektedir.

Bütün sondaj noktalarında SPT deneylerinden elde edilen SPT-N sayıları ve karada yapılan CPT deneylerinden elde edilen koni uç mukavemeti ve sürtünme oranlarının bölgedeki değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Bölgedeki tabakalaşmayı daha iyi belirlemek için SPT numuneleri üzerinde Zetaş zemin laboratuvarında yapılan elek analizi ve Atterberg limitleri deney sonuçları kullanılmıştır. Yapılan penetrasyon deneylerinden zemin rijitliklerinin belirlenmesi için tabaka kalınlıklarına göre ağırlıklı ortalamaları göz önünde bulundurularak eşdeğer SPT-N sayısı ve konik uç mukavemeti bulunmuştur. Daha sonra ise dinamik zemin parametrelerinin belirlenmesi için literatürde bulunan pek çok farklı yöntemler karşılaştırılarak SPT-N sayısından ve koni uç direncinden tabakaların kayma dalgası hızları bulunmuştur.



Şekil 3.2 : Yapılan arazi araştırmalarının planı

3.3 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Yerel zemin özelliklerinin ve geoteknik parametrelerinin belirlenmesi amacı ile açılan sondaj kuyularında karşılaşılan kaba daneli zeminlerin sıklığını, ince daneli zeminlerin ise kıvamının belirlenmesinde ve örselenmiş numune edinilmesi için ideal olarak her 1,5 m ilerlemede SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) yapılır. SPT drenajsız bir deney olup, zemin özelliklerinin yerinde belirlenmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Deney esnasında elde edilen SPT-N sayıları bazı korelasyon ve yaklaşımlarla zeminin statik ve dinamik parametrelerine dönüştürülebildiği gibi direk olarak zemin rijitliğinin bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir.

SPT deneyi ASTM D-1586 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu standarda göre dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın tijin kılavuzluğunda eksensel bir çarpma gerçekleştirecek şekilde düşürülmesi ile numune alıcının zemine 15 cm lik kademeler halinde toplam 45 cm çakılması için gereken vuruş sayıları tespit edilmiştir. Bunlardan ilk 15 cm için gerekli olan vuruş sayısı

hesaba katılmayıp diğer son 30 cm lik ilerleme için gerekli olan vuruş sayısı SPT-N olarak belirlenir. Şahmerdan bir ip yardımı ile el ile çekilip düşürülür.

3.4 Elek Analizi

Zeminler farklı boyutlarda partikül ve daneler içerirler. Dane boyutu danelerin kare gözeneklere sahip farklı eleklerden geçmeleri ya da kalmaları ile tanımlanır. Zemin içinde bulunan danelerin ağırlıkları farklı olduğundan dolayı dane çapı yüzdeleri ağırlık olarak hesaplanır ve bir derecelenme eğrisi halinde gösterilir. Derecelenme eğrisinde dane boyutunu ve bu boyuttan küçük danelerin ağırlıkça yüzdesini gösteren noktalar bulunur.

Elek analizinin gerçekleştirilmesi için numune kurutulur ve bir dizi elekten geçirilir. Öncelikle aralığı en geniş olan elekten geçirilir ve en sonda ince daneli malzemeler toplanır ve ince daneli olarak tabir ettiğimiz kil ve silt, kalın taneli olarak bilinen kum ve çakıldan ayrılmış olur.

3.5 Atterberg Limitleri

Kıvam limitleri olarak bilinen Atterberg limitleri; zeminin danecikleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumunun tanımlanmasını sağlarlar.

Zemine fazla su verilirse zemin likit (sıvı) hale gelmektedir. Bu durumda zemin akıcıdır ve kesme direnci yoktur. Kurumaya bırakılırsa belirli bir kesme direnci kazanır. Bu geçiş durumundaki su içeriğine likit limit denir ve LL ile gösterilir. Likit limitin belirlenmesi likit limit aleti kullanılarak standartlaştırılmıştır. Eğer su kaybı daha fazla olursa zemin yavaş yavaş plastik özelliğini kaybeder ve düz bir satıhta yuvarlanırsa ufalanır. Bu durumdaki su içeriğine plastik limit denir ve PL ile gösterilir. Plastik limitin tayini de standartlaştırılmıştır. Daha da su kaybetmesi halinde artık hacim küçülmesi olmayacaktır. Bu haldeki su içeriğine ise büzülme veya rötre limit denir ve RL ile gösterilir. Likit limit zeminin sıvı halden plastik hale, plastik limit zeminin plastik halden yarı katı hale, büzülme limiti ise yan katı halden katı hale geçtiği sınır değerlerdir ve tayinleri standartlaştırılmıştır.

Atterberg limitleri ayrıca, dane boyutu dağılımı özellikleri ile birlikte zeminlerin sınıflandırılmasında da kullanılır. Likit limit, plastik limit, doğal su içeriği

(muhtevası) ve ince daneli zemin yüzdesinden faydalanılarak zeminin plastisite indisi (PI), likitlik indisi (LI), kıvam indisi (CI) ve aktivite (A_c) değerleri hesaplanır, zeminlere ait çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir. (Duygun, 2008)

Çalışmada tüm numuneleri Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine göre sınıflama yapabilmek ve kıvamlarını belirlemek için Atterberg limitleri testi yapılmıştır.

3.6 Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)

Penetrometre; belli bir ortama itilen sert bir cismin karşılaştığı direnci ölçen ekipmanlar olarak tanımlanır. 1940’larda 60 derecelik konik ucu ve 10 cm^2 kesit alanlı çelikten yapılmış olan penetrometre Hollanda’da geliştirilmiştir. Konik sondanın hidrolik olarak sürekli itilmesiyle elde edilen uç direnci q_c ile zeminin taşıma gücünü ölçmeye ve zemin parametrelerine ulaşmamıza olanak sağlamaktadır.

Bu sistemin geliştirilmesi sonucu elde edilen modelde, penetrometre zemine itilirken uç direnci yanında arttırılmış gövde yüzey alanı boyunca sürtünme de toplam direnç olarak ölçülmektedir. Bu sayede çevre sürtünmesi de elde edilebilmiştir. Bu yöntemle numune alınamadığından dolayı karşılaşılan zemin türü uç direncinin çevre sürtünmesine oranından elde edilmektedir. 1970’lerde teknolojinin ilerlemesiyle yapılan çalışmalar pratik ve hızlı bir hale gelmiştir.

1980’lerde gerçekleşen penetrometrenin arkasına bir piyezometre yerleştirilmesi bu alandaki çok önemli bir gelişme olmuştur. Bu sayede mevcut özelliklerine ek olarak aşırı konsolidasyon oranı, sıvılaşma potansiyeli ve sükunette toprak basıncı katsayısı da ölçülür duruma gelmiştir. Piyezokoni denilen bu alet üzerindeki çalışmalar hala sürmekte olup, sismik ölçüm yapmasına da olanak sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu deneyin zemin parametrelerini en iyi yansıtan deney olduğu konusunda fikir birliği bulunmaktadır. SPT’nin çok kısıtlı (1,50 – 2,00 m’de bir) bir bölgeyi temsil etmesine karşın CPT’de ölçümler kesit boyunca süreklidir. Öte yandan özellikle operatör nedeniyle meydana gelebilecek hatalardan en az etkilenebilecek yöntemdir.

3.6.1 Kullanılan CPT ekipmanı ve deneyin yapılışı

Zemin etüdlerinde kullanılan CPT ekipmanı orijinal Hollanda (A.P. vd BERG) yapımı olup elektronik veri toplama sistemine sahiptir. CPT deneyi, 36 mm çapında bir elektronik cihazın (CPT konisi) zeminde hidrolik basınç yoluyla 2 cm/sn hızla

istenilen derinliğe indirilmesi sırasında zeminin koni üzerinde oluşturduğu uç ve çevre basınçlarının çok hassas bir şekilde ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Elektronik yolla (her 2 cm’de) elde edilen zemin verileri arazide doğrudan bir bilgisayara kaydedilmiş ve derinliğe göre değişimi grafiksel olarak görülmüştür. Bu zemin verileri numune alınmasına gerek bırakmaksızın zemin sınıflaması, taşıma kapasitesi ve oturma özellikleri hakkında doğrudan, hassas ve sürekli hesaplar yapılmasını sağlamıştır.

CPT deneyi sırasında iri çakıllı ve bloklu ya da sağlam zemine ulaşıldığında kısa bir ilerleme yapılabilmekte ve delgi sona ermektedir. Bu türden zeminlerde taşıyıcı sağlam tabaka olan çakıllı/bloklu ya da sağlam seviye sondajlarla korele etmek suretiyle hassas olarak tespit edilebilmektedir. Oturma hesaplarında esas alınan oturma tabaka kalınlığının belirlenmesi bakımından sağlam seviyeye ulaşılan kadar CPT deneyine devam edilmiştir. (ZETAŞ, 2001)

3.7 Sonuçların Değerlendirilmesi

Zemin etüd raporuna göre Derince Limanında altı adet sondaj ve iki adet CPT deneyi yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen ve Zetaş firması tarafından hazırlanan loglar Ek A’da verilmiştir. Bu loglardan ulaşılan sonuçlar Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 : Araştırma loglarından ulaşılan sonuçlar. (ZETAŞ, 2001)

Araştırma Tipi	Araştırma Numarası	Ağız Kotu (m)	Çakıllı Kum Derinliği (m)	Siltli Kil Derinliği (m)	Çakıllı Kum Tabakası Kalınlığı (m)
Sondaj	SK-1	2,20	4,00	16,00	12,00
Sondaj	DSK-1	0,00	6,00	17,00	11,00
Sondaj	DSK-2	0,00	3,00	16,50	13,50
Sondaj	DSK-3	0,00	3,00	13,50	10,50
Sondaj	DSK-4	0,00	5,00	14,50	9,50
Sondaj	DSK-5	0,00	2,50	14,00	11,50
CPT	CPT-1	0,00	1,50	15,00	13,50
CPT	CPT-2	0,00	2,00	12,00	10,00

Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre zemin profili yapısı çakıllı kum ve siltli kil olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır. Deniz yüzeyinin hemen altında bulunan çakıllı kum tabakası deniz seviyesine göre 12-17 m derinlikte olup tabaka kalınlığı 9,50 ile 13,50 m arasında değişmektedir. Çakıllı kum tabakası altında bulunan siltli

kil tabakası etüt edilen derinliğe (35 m) kadar devam etmektedir. Çakıllı kum tabakası ortalama 11,44 m kalınlıkta olup standart sapması 1,50 m olarak hesaplanmıştır ve tabakanın çok değişken olmadığını göstermektedir.

Yapılan SPT deneylerinden elde edilen SPT-N sayılarının %60'lık enerji düzeltmeleri Zetaş firması tarafından yapılmıştır. SPT-N₆₀ sayılarının derinlikle değişimi Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Tabakaların SPT-N₆₀ ortalamaları çakıllı kum tabakası için 34 olup standart sapması 14,71 ve siltli kil tabakası için ise 23 olup standart sapması 8'dir. Bu değerlere göre tabakaların kıvamlarını çakıllı kum için sıkı, silt kil tabakasını ise çok katı olarak değerlendirebiliriz.

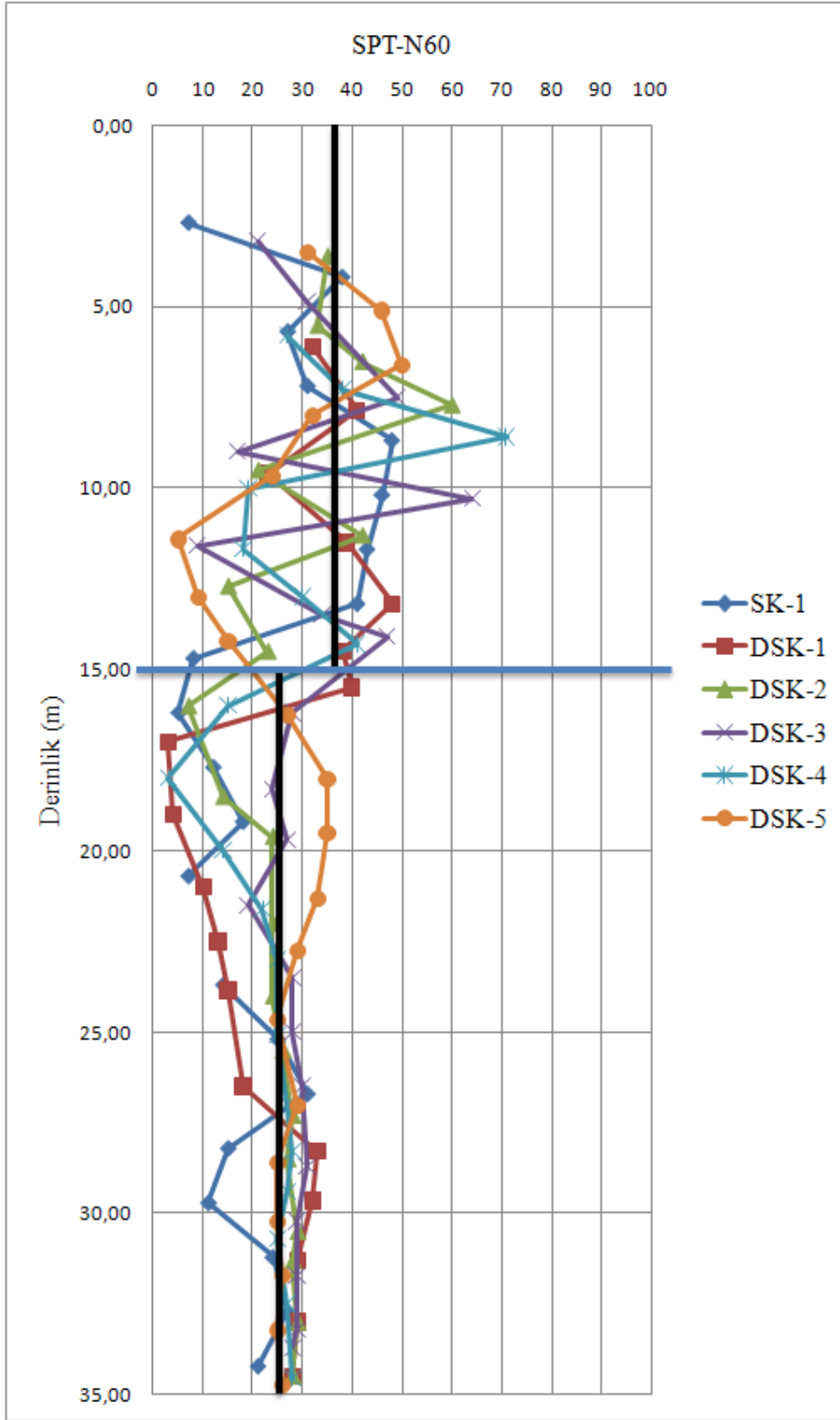
SPT numuneleri üzerinde yapılan bütün laboratuvar deneylerinin sonuçları ve birleştirilmiş zemin sınıflamaları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bazı numuneler plastik olmadıklarından (NP) dolayı Atteberg limitleri deneyi uygulanamamıştır ve silt olarak kabul edilmişlerdir.

SPT numuneleri üzerinde yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen dane çapı dağılımı eğrileri Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.

Elek analizi sonuçlarına göre çakıllı kum tabakasının genel anlamda homojenlik gösterdiğini söyleyebiliriz. Ancak DSK-1 sondajında SPT1 ve SPT4; DSK-3 sondajında SPT5 ve SPT6 numunelerinde aykırı durumlar gözlemlenmiştir. DSK-1 sondajında aykırı durum içeren numuneler tabakanın %30'unu ifade etmektedir. DSK-3 sondajında ise SPT5 numunesinin %20'sinin dane çapının 38,1 mm'den büyük olduğu görünmektedir. Fakat kullanılan numune alıcının çapının 35 mm olduğu göz önüne alındığında analiz sırasında yapılan bir hatanın bu aykırılığa sebep olduğunu söyleyebiliriz. SPT6 numunesi ise tabakanın %25'ini ifade etmektedir.

CPT deneylerinde de çakıllı kum tabaksında aykırılıklar gözlemlenmektedir. Bu aykırı durumlar sürtünme oranında (fr) meydana gelen yerel ani artışlar nedeni ile meydana gelmektedir. Nitekim aykırı durumlar tabakanın CPT-001 deneyinde %23 ve CPT-002 deneyinde ise %20'sini ifade etmektedir.

Eğer matematiksel bir modelleme için ortam idealize edilecek olursa tabaka çoğunlukta bulunan zemin özellikleri ile ifade edilebilir



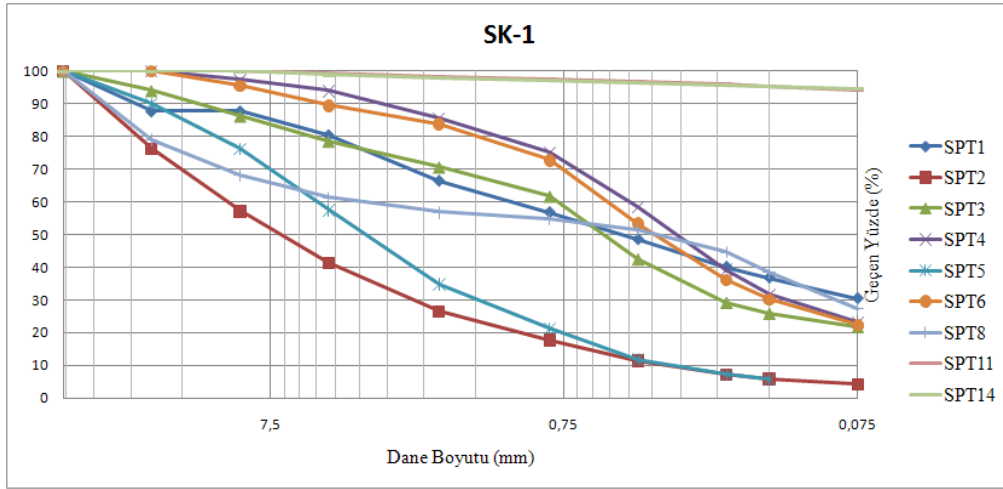
Şekil 3.3 : SPT-N₆₀ sayılarının derinlikle değişimi.

Çizelge 3.2 : SPT numunelerine yapılan bütün laboratuvar deneylerinin sonuçları.

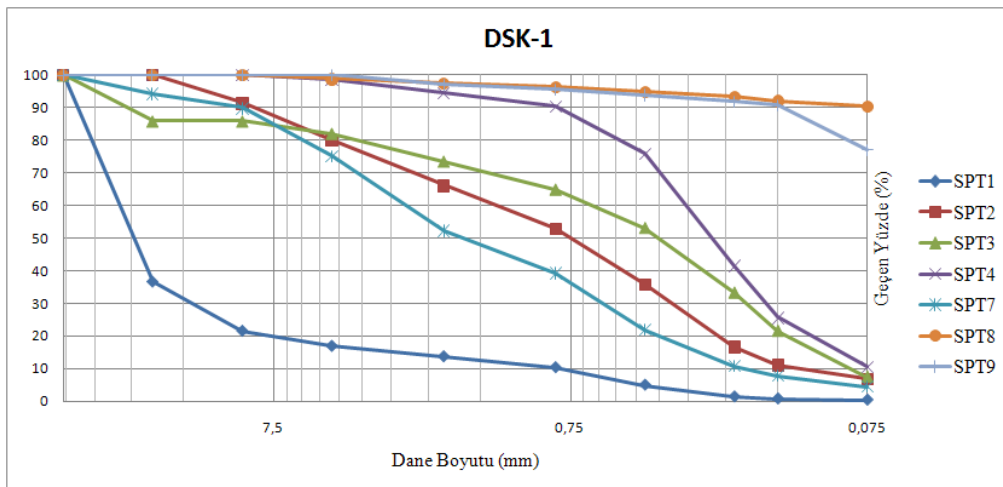
Sondaj Numarası	Numune Numarası	W _n	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt + Kil (%)	USCS
SK-1	SPT1	21	35	20	15	19,6	50,0	30,4	SC
SK-1	SPT2	5	NP	NP	NP	58,6	37,0	4,4	GW
SK-1	SPT3	9	NP	NP	NP	21,5	56,7	21,8	SM
SK-1	SPT4	12	NP	NP	NP	6,0	70,8	23,2	SM
SK-1	SPT5	6	NP	NP	NP	42,4	53,4	4,2	SP
SK-1	SPT6	12	NP	NP	NP	10,5	66,9	22,6	SM
SK-1	SPT8	19	27	14	13	38,8	34,0	27,2	GC
SK-1	SPT11	34	90	22	68	0,8	4,8	94,4	CH
SK-1	SPT14	36	78	24	54	1,1	4,5	94,4	CH
DSK-1	SPT1	6	NP	NP	NP	83,1	16,5	0,4	GP
DSK-1	SPT2	12	NP	NP	NP	20,0	73,1	6,9	SP-SM
DSK-1	SPT3	16	NP	NP	NP	18,0	74,6	7,4	SP-SM
DSK-1	SPT4	18	NP	NP	NP	1,4	88,0	10,5	SP-SM
DSK-1	SPT7	14	NP	NP	NP	24,8	70,8	4,5	SP
DSK-1	SPT8	31	43	19	24	1,2	8,4	90,4	CL
DSK-1	SPT9	33	35	18	17	0,0	22,9	77,1	CL
DSK-2	SPT1	11	NP	NP	NP	10,4	87,5	2,2	SP
DSK-2	SPT2	15	NP	NP	NP	45,4	48,5	6,1	SP-SM
DSK-2	SPT3	17	NP	NP	NP	12,1	80,7	7,2	SW-SM
DSK-2	SPT4	15	NP	NP	NP	0,3	95,6	4,1	SP
DSK-2	SPT5	17	NP	NP	NP	4,9	81,4	13,7	SM
DSK-2	SPT7	20	NP	NP	NP	0,6	82,6	16,8	SM
DSK-2	SPT9	31	30	14	16				CL
DSK-2	SPT10	20	44	20	24	6,6	25,4	68,0	CL
DSK-3	SPT1	16	NP	NP	NP	18,3	69,7	12,0	SM
DSK-3	SPT2	12	NP	NP	NP	25,9	66,3	7,8	SW-SM
DSK-3	SPT3	15	NP	NP	NP	4,1	78,7	17,2	SM
DSK-3	SPT4	21	NP	NP	NP	1,4	90,1	8,4	SP-SM
DSK-3	SPT5	4	NP	NP	NP	90,1	9,6	0,3	GW
DSK-3	SPT6	20	NP	NP	NP	4,9	60,3	34,8	SM
DSK-3	SPT9	14	32	14	18	19,1	44,3	36,6	SC
DSK-4	SPT1	19	NP	NP	NP	14,5	82,5	3,1	SP
DSK-4	SPT2	17	NP	NP	NP	5,1	84,5	10,4	SW-SM
DSK-4	SPT3	17	NP	NP	NP	8,2	78,2	13,7	SM
DSK-4	SPT4	18	NP	NP	NP	4,2	81,6	14,2	SM
DSK-4	SPT5	12	NP	NP	NP	18,4	73,7	7,9	SP-SM
DSK-4	SPT7	15	NP	NP	NP	17,6	68,1	14,3	SM

Çizelge 3.2 (Devam): SPT numunelerine yapılan bütün laboratuvar deneylerinin sonuçları.

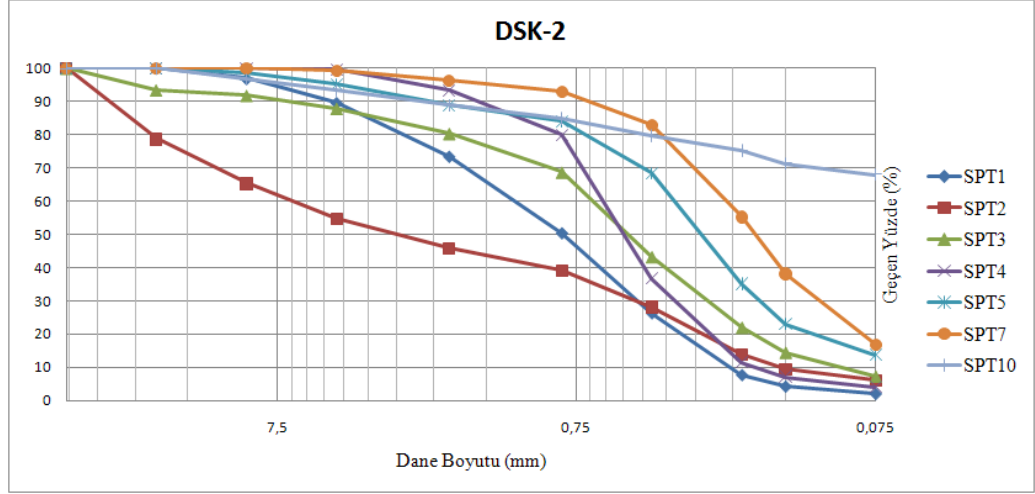
Sondaj Numarası	Numune Numarası	W _n	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt + Kil (%)	USCS
DSK-5	SPT1	10	NP	NP	NP	48,4	45,0	6,7	GP-GM
DSK-5	SPT2	10	NP	NP	NP	52,0	43,7	4,3	GP-GM
DSK-5	SPT3	12	NP	NP	NP	16,4	72,6	11,0	SW-SM
DSK-5	SPT4	13	NP	NP	NP	25,3	65,2	9,5	SW-SM
DSK-5	SPT7	22	NP	NP	NP	16,8	63,6	19,6	SM
DSK-5	SPT8	34	91	29	62	0,0	15,0	85,0	CH
DSK-5	SPT11	37	93	27	66	0,0	30,0	70,0	CH



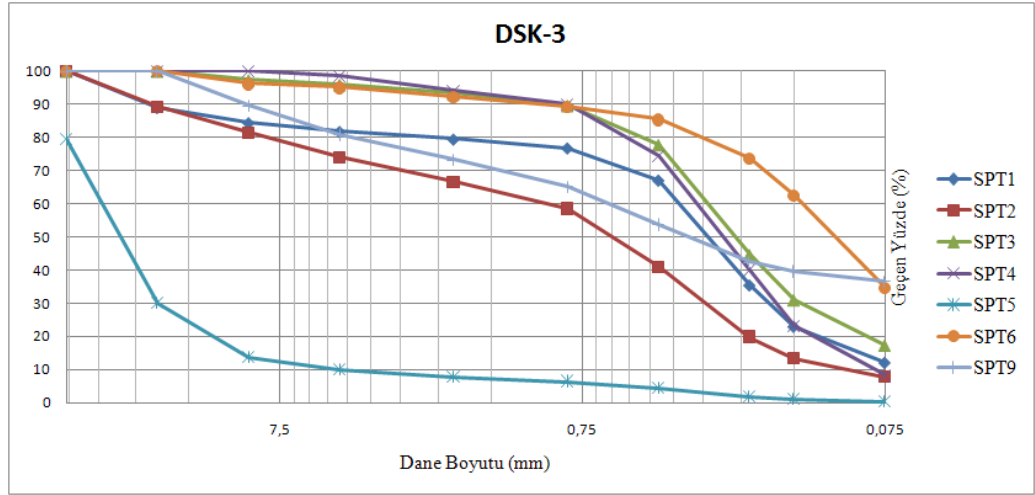
Şekil 3.4 : SK-1 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.



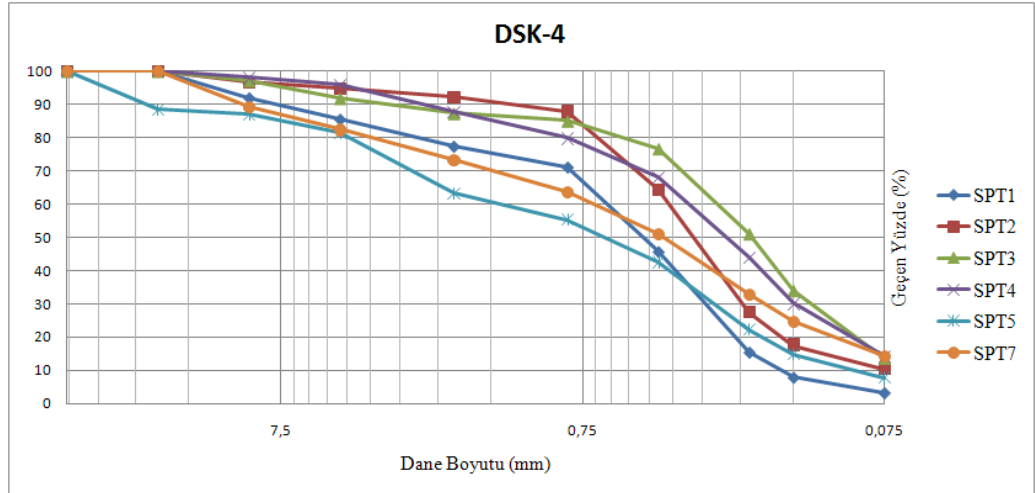
Şekil 3.5 : DSK-1 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.



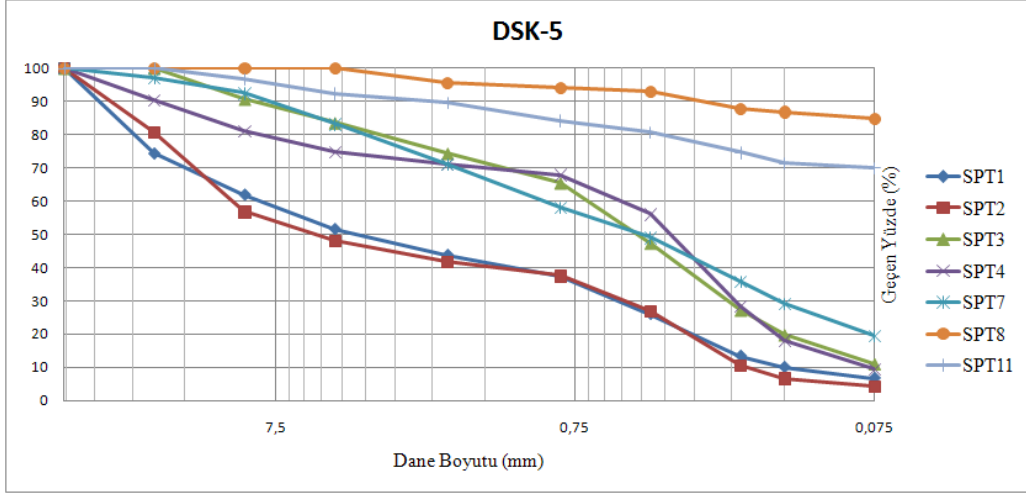
Şekil 3.6 : DSK-2 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.



Şekil 3.7 : DSK-3 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.



Şekil 3.8 : DSK-4 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülmetrisi.



Şekil 3.9 : DSK-5 sondajından elde edilen SPT numunelerinin granülometrisi.

Bütün zemin araştırma çalışmaları sonucunda oluşturulan sahanın zemin profili Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi çakıl kum ile siltli kil tabakaları arasındaki sınır -15 m kotu civarında gezmektedir.

3.7.1 SPT ve CPT deneylerinden V_s (kayma dalgası hızı) tayini

Yüzeğe yakın tabakaların kayma dalgası hızı (V_s), inşaat ve deprem mühendisliğinde önemli zemin özelliklerinden biri kabul edilmektedir. Zeminlerin dinamik özelliklerinden olan V_s , sıvılaşma potansiyelinin tahmininde, zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde ve mikrobölgelemede kullanılmaktadır (Sivrikaya ve diğ., 2009).

Kayma dalgası hızı ile SPT-N değeri arasındaki çeşitli araştırmacıların geliştirdiği korelasyonlar Tablo 3.3'de verimiştir. Yapılan SPT deneylerinden bu korelasyonlar ile elde edilen kayma dalgası hızları ve ortalamaları Tablo 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

Kayma dalgası hızı ile CPT konik uç direnci (q_c (MPa)) arasındaki çeşitli araştırmacıların geliştirdiği korelasyonlar Tablo 3.10'da verilmiştir. Yapılan CPT deneylerinden bu korelasyonlar ile elde edilen kayma dalgası hızları ve ortalamaları Tablo 3.11 ve 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : SK-1 sondajından elde edilen SPT-N₆₀ sayılarından V_s hesabı.

Derinlik (m)	N ₆₀	Kanai (1966)	Shibata (1970)	Iyisan (1996)	Lee (1990)	Lee (1990)	Sykora (1983)	Seed (1981)	Ohta (1978)	Imai (1977)	Imai (1977)	Imai (1977)	Yoshimura (1975)	Iwasaka (1973)	Ohta (1970)	Ortalama
2,70	7	61	91	141	149		177	149	168	175		153	175	174	176	149
4,20	38	169	226	336	341		289	348	303	310		269	304	336	323	296
5,70	27	137	188	282	289		261	293	269	276		240	272	294	286	257
7,20	31	149	202	303	309		272	314	282	289		251	285	311	300	272
8,70	48	194	256	380	383		309	391	328	335		290	329	368	351	326
10,20	46	189	251	371	375		305	383	323	331		286	324	362	346	321
11,70	43	181	242	359	363		299	370	316	323		280	317	353	338	312
13,20	41	176	235	350	354		295	361	311	318		276	312	346	332	306
14,70	8	66		151		218		160	176	183	187		182	183		167
16,20	5	50		118		188		126	149	157	163		156	152		140
17,70	12	84		186		247		195	203	210	211		208	215		195
19,20	18	108		229		280		239	233	241	237		238	251		229
20,70	7	61		141		209		149	168	175	180		175	174		159
23,70	14	93		201		259		211	214	221	220		219	228		207
25,20	25	131		271		310		282	262	269	261		265	286		260
26,70	31	149		303		332		314	282	289	278		285	311		283
28,20	15	96		208		265		218	219	227	225		224	234		213
29,70	11	80		177		241		187	197	204	205		202	207		189
31,20	24	128		265		306		276	258	266	258		262	281		256
32,70	27	137		282		318		293	269	276	267		272	294		268
34,20	21	118		248		294		258	246	254	248		250	267		243

Çizelge 3.5 : DSK-1 sondajından elde edilen SPT-N₆₀ sayılarından V_s hesabı.

Derinlik N ₆₀	Kanai Shibata (1966) (1970)	Iyisan (1996)	Lee (1990)	Lee (1990)	Sykora (1983)	Seed (1981)	Ohta (1978)	Imai (1977)	Imai (1977)	Imai (1977)	Yoshimura (1975)	Iwasaka (1973)	Ohta (1970)	Ortalama
6,10	32	152	206	308	314	275	319	285	293	254	288	315	304	276
7,85	41	176	235	350	354	295	361	311	318	276	312	346	332	306
9,60	23	125	172	260	267	249	270	254	262	228	258	277	270	241
11,50	39	171	229	341	346	291	352	305	313	271	307	340	326	299
13,20	48	194	256	380	383	309	391	328	335	290	329	368	351	326
14,50	38	169	226	336	341	289	348	303	310	269	304	336	323	296
15,50	40	174	232	346	350	293	357	308	315	273	310	343	329	302
17,00	3	37		91		161	98	125	132	141	132	125		116
19,00	4	44		105		176	113	138	145	153	145	140		129
21,00	10	76		169		234	178	190	198	200	196	200		182
22,50	13	89		193		253	203	208	216	216	214	221		202
23,85	15	96		208		265	218	219	227	225	224	234		213
26,50	18	108		229		280	239	233	241	237	238	251		229
28,30	33	155		313		338	324	288	296	283	291	318		290
29,65	32	152		308		335	319	285	293	281	288	315		286
31,30	29	143		293		325	304	275	283	273	279	303		275
33,00	29	143		293		325	304	275	283	273	279	303		275
34,50	28	140		287		321	298	272	280	270	275	299		271

Çizelge 3.6 : DSK-2 sondajından elde edilen SPT- N_{60} sayılarından V_s hesabı.

Derinlik N_{60}	Kanai (1966)	Shibata (1970)	Iyisan (1996)	Lee (1990)	Sykora (1983)	Seed (1981)	Ohta (1978)	Imai (1977)	Imai (1977)	Imai (1977)	Yoshimura (1975)	Iwasaka (1973)	Ohta (1970)	Ortalama
3,60	35	160	216	323	328	282	334	294	302	261	296	326	314	286
5,50	33	155	209	313	318	277	324	288	296	256	291	318	307	279
6,50	42	179	239	354	358	297	366	313	321	278	315	350	335	309
7,70	60	222	289	426	427	329	437	355	362	313	354	402	381	358
9,50	21	118	164	248	255	243	258	246	254	221	250	267	261	232
11,30	42	179	239	354	358	297	366	313	321	278	315	350	335	309
12,70	15	96	137	208	216	220	218	219	227	198	224	234	231	202
14,50	23	125	172	260	267	249	270	254	262	228	258	277	270	241
16,00	7	61		141		209	149	168	175	180	175	174		159
18,50	14	93		201		259	211	214	221	220	219	228		207
19,60	24	128		265		306	276	258	266	258	262	281		256
22,00	24	128		265		306	276	258	266	258	262	281		256
24,00	24	128		265		306	276	258	266	258	262	281		256
25,50	26	134		277		314	288	265	273	264	269	290		264
27,30	28	140		287		321	298	272	280	270	275	299		271
28,50	27	137		282		318	293	269	276	267	272	294		268
30,50	29	143		293		325	304	275	283	273	279	303		275
31,30	28	140		287		321	298	272	280	270	275	299		271
33,00	29	143		293		325	304	275	283	273	279	303		275
34,50	28	140		287		321	298	272	280	270	275	299		271

Çizelge 3.7 : DSK-3 sondajından elde edilen SPT-N₆₀ sayılarından V_s hesabı.

Derinlik N ₆₀	Kanai (1966)	Shibata (1970)	Iyisan (1996)	Lee (1990)	Lee (1990)	Sykora (1983)	Seed (1981)	Ohta (1978)	Imai (1977)	Imai (1977)	Imai (1977)	Yoshimura (1975)	Iwasaka (1973)	Ohta (1970)	Ortalama
3,20	21	118	164	248	255	243	258	246	254		221	250	267	261	232
4,85	31	149	202	303	309	272	314	282	289		251	285	311	300	272
7,50	49	196	259	384	386	311	395	331	338		292	331	371	354	329
9,00	17	104	146	222	230	229	233	229	236		206	234	246	242	213
10,30	64	230	299	440	440	336	451	363	370		319	361	412	390	368
11,60	9	71	104	160	168	190	169	183	191		167	190	192	192	165
13,50	34	158	213	318	323	279	329	291	299		259	294	322	310	283
14,10	47	191	254	375	379	307	387	326	333		288	327	365	349	323
16,20	28	140		287		321	298	272	280	270		275	299		271
18,30	24	128		265		306	276	258	266	258		262	281		256
19,70	27	137		282		318	293	269	276	267		272	294		268
21,50	19	111		235		285	246	238	245	241		242	257		233
23,50	28	140		287		321	298	272	280	270		275	299		271
25,00	28	140		287		321	298	272	280	270		275	299		271
26,50	30	146		298		328	309	279	286	275		282	307		279
28,70	31	149		303		332	314	282	289	278		285	311		283
30,20	29	143		293		325	304	275	283	273		279	303		275
31,70	29	143		293		325	304	275	283	273		279	303		275
33,20	29	143		293		325	304	275	283	273		279	303		275
33,70	28	140		287		321	298	272	280	270		275	299		271

Çizelge 3.8 : DSK-4 sondajından elde edilen SPT- N_{60} sayılarından V_s hesabı.

Derinlik N_{60}	Kanai (1966)	Shibata (1970)	Iyisan (1996)	Lee (1990)	Lee (1990)	Sykora (1983)	Seed (1981)	Ohta (1978)	Imai (1977)	Imai (1977)	Imai (1977)	Yoshimura (1975)	Iwasaka (1973)	Ohta (1970)	Ortalama
5,80	27	137	188	282	289	261	293	269	276		240	272	294	286	257
7,30	38	169	226	336	341	289	348	303	310		269	304	336	323	296
8,60	71	245	317	465	463	346	475	376	383		330	374	429	405	384
10,00	19	111	155	235	243	236	246	238	245		214	242	257	252	223
11,70	18	108	151	229	237	232	239	233	241		210	238	251	247	218
13,00	30	146	199	298	304	269	309	279	286		248	282	307	297	269
14,30	41	176	235	350	354	295	361	311	318		276	312	346	332	306
16,00	15	96		208		265	218	219	227	225		224	234		213
18,00	3	37		91		161	98	125	132	141		132	125		116
20,00	14	93		201		259	211	214	221	220		219	228		207
21,60	22	121		254		298	265	250	258	252		254	272		247
23,00	25	131		271		310	282	262	269	261		265	286		260
25,10	25	131		271		310	282	262	269	261		265	286		260
27,00	27	137		282		318	293	269	276	267		272	294		268
28,30	28	140		287		321	298	272	280	270		275	299		271
29,40	27	137		282		318	293	269	276	267		272	294		268
30,70	25	131		271		310	282	262	269	261		265	286		260
32,50	27	137		282		318	293	269	276	267		272	294		268
34,55	28	140		287		321	298	272	280	270		275	299		271

Çizelge 3.9 : DSK-5 sondajından elde edilen SPT-N₆₀ sayılarından V_s hesabı.

Derinlik N ₆₀	Kanai (1966)	Shibata (1970)	Iyisan (1996)	Lee (1990)	Lee (1990)	Sykora (1983)	Seed (1981)	Ohta (1978)	Imai (1977)	Imai (1977)	Imai (1977)	Yoshimura (1975)	Iwasaka (1973)	Ohta (1970)	Ortalama
3,50	31	149	202	303	309	272	314	282	289		251	285	311	300	272
5,10	46	189	251	371	375	305	383	323	331		286	324	362	346	321
6,60	50	199	262	388	390	313	399	333	340		294	333	374	357	332
8,00	32	152	206	308	314	275	319	285	293		254	288	315	304	276
9,65	24	128	176	265	272	253	276	258	266		231	262	281	274	245
11,40	5	50	76	118	126	160	126	149	157		137	156	152	156	130
13,00	9	71	104	160	168	190	169	183	191		167	190	192	192	165
14,20	15	96		208			218	219	227	225		224	234		213
16,25	27	137		282			293	269	276	267		272	294		268
18,00	35	160		323			334	294	302	288		296	326		296
19,50	35	160		323			334	294	302	288		296	326		296
21,30	33	155		313			324	288	296	283		291	318		290
22,75	29	143		293			304	275	283	273		279	303		275
24,65	25	131		271			282	262	269	261		265	286		260
27,00	29	143		293			304	275	283	273		279	303		275
28,60	25	131		271			282	262	269	261		265	286		260
30,20	25	131		271			282	262	269	261		265	286		260
31,70	26	134		277			288	265	273	264		269	290		264
33,20	25	131		271			282	262	269	261		265	286		260
34,70	26	134		277			288	265	273	264		269	290		264

Çizelge 3.11 : CPT-001 deneyinden elde edilen q_c değerlerinden V_s hesabı.

Derinlik Aralığı (m)		q_c (MPa)	İyisan (1996)	Sykora (1983)	Barrow (1983)	Ortalama
0,00	1,36	0,16	66	134	154	118
1,36	2,76	2,28	180	135	155	157
2,76	3,34	0,52	103	134	154	131
3,34	4,26	1,55	155	135	155	148
4,26	4,82	0,66	113	134	154	134
4,82	5,24	1,9	168	135	155	153
5,24	6,60	17,94	391	143	165	233
6,60	7,16	34,16	499	152	176	275
7,16	7,68	21,02	415	145	167	243
7,68	8,14	21,52	419	145	168	244
8,14	8,54	19,54	404	144	167	238
8,54	9,42	28,38	465	149	172	262
9,42	10,64	13,8	354	141	163	219
10,64	11,06	5,61	252	137	158	182
11,06	11,96	23,92	436	146	169	251
11,96	12,72	13,4	350	141	163	218
12,72	13,28	7,77	285	138	159	194
13,28	13,58	17,64	389	143	165	232
13,58	15,20	6,02	259	137	158	185
15,20	15,64	6,77	271		158	215
15,64	16,26	2,5	186		156	171
16,26	16,56	3,31	207		156	181
16,56	18,08	4,37	230		157	193
18,08	19,14	3,95	221		157	189
19,14	19,80	5,38	248		157	203
19,80	20,34	5,08	243		157	200
20,34	20,70	4,28	228		157	192

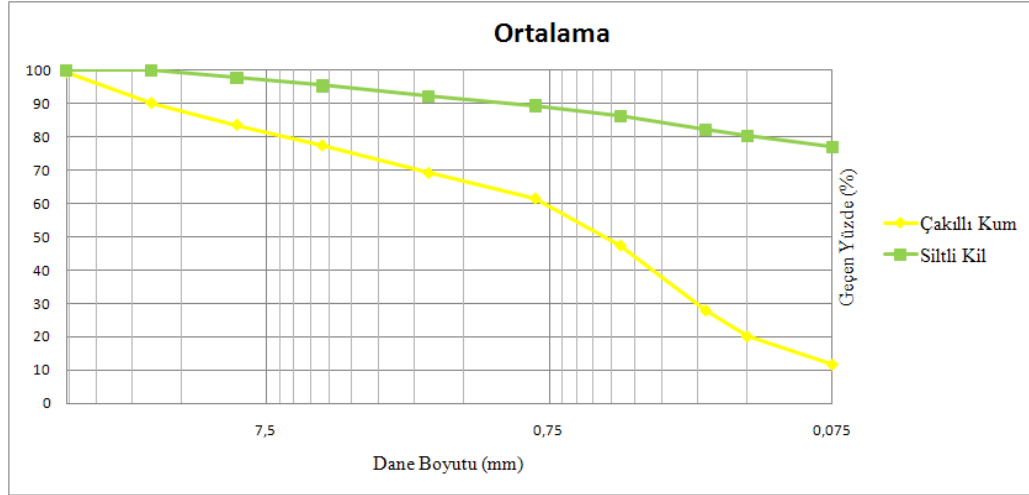
Çizelge 3.12 : CPT-002 deneyinden elde edilen q_c değerlerinden V_s hesabı.

Derinlik Aralığı (m)		q_c (MPa)	İyisan (1996)	Sykora (1983)	Barrow (1983)	Ortalama
0,00	1,94	0,45	97	134	154	129
1,94	3,70	3,21	204	136	156	165
3,70	7,98	15,15	367	142	164	224
7,98	10,12	26,2	451	148	171	257
10,12	12,04	13,57	352	141	163	219
12,04	16,74	2,63	190		156	173
16,74	18,20	3,01	200		156	178
18,20	19,38	3,92	220		157	189

3.8 İdealize Zemin Parametreleri

Bölgede yapılan zemin araştırmaları sonucu elde edilen ölçümlerden ve zeminin farklı noktalarda büyük farklıklar göstermemesi nedeni ile idealize edilmiş bir zemin profili oluşturmak mümkündür. Bu kapsamda sahada yapılan ölçümlerin her iki tabaka için de ortalamaları bulunmuş ve bazı ampirik formüller kullanılarak mühendislik parametrelerine dönüştürülmüşlerdir.

Yapılan elek analizi deneylerinin ortalaması alınması sonucu elde edilen çakıllı kum ve siltli kil tabakalarının granülometri eğrileri Şekil 3.11’de görülmektedir. Bu eğrilere göre çakıllı kum tabakası %24 çakıl, %61 kum, %15 ince daneli malzeme, siltli kil tabakası ise %4 çakıl, %19 kum, %77 ince daneli malzeme içermektedir.



Şekil 3.11 : Tabakaların ortalama granülometri eğrileri.

Rayleigh dalgası hızı (V_r), kesme dalgası hızı kullanılarak;

$$V_r = 0,92V_s \quad (3.1)$$

denklemi ile hesaplanabilmektedir (Kramer, 1996). Konuya Dalga Analizi bölümünde daha değinilmiştir.

Rölatif sıkılığın hesaplanmasında Skempton (1986) tarafından bulunan ve SPT N_{60} değeri kullanılan Denklem 3.2 kullanılmıştır.

$$D_r = \left(\frac{N_{60}}{30 + 0,3\sigma_v} \right)^{0,5} \quad (3.2)$$

Tabakaların suya doygun olduğu göz önünde bulundurduğumuzda Poisson Oranını (μ) 0,5 almamız mümkündür (Aykaç, 2003).

Kayma modülü (G) zeminin birim hacim ağırlığı ve kesme dalgası hızı kullanılarak Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$G = (\gamma / g) V_s^2 \quad (3.3)$$

Buradan bulduğumuz kayma dalgası hızını ve Poisson Oranını kullanarak zemin elastisite modülünü (E) Denklem 3.4 ile hesaplanmıştır.

$$E = 2G(1 + \mu) \quad (3.4)$$

Son olarak zemin hakim periyodu (T) kayma dalgası hızı ve tabaka kalınlığı kullanılarak Denklem 3.5 ile hesaplanmıştır.

$$T = 4H / V_s^2 \quad (3.4)$$

Yapılan çalışmalar sonucu idealize zemin profili Şekil.3.12’de olduğu gibi oluşturulmuştur.

<u>Çakıllı Kum Tabakası</u>	
11,50 m	Çakıl = %24
	Kum = %61
	Silt + Kil = %15
	LL = NP
	PL = NP
	PI = NP
	USCS = SM
	$N_{60} = 34$
	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
	$\phi = 30$
	$Dr = \%83$
	$V_s = 237 \text{ m/s}$
	$V_r = 218 \text{ m/s}$
	$G = 101 \text{ Mpa}$
	$E = 303 \text{ MPa}$
	$\mu = 0,5$
	$T = 0,2 \text{ s}$
<u>Siltli Kil Tabakası</u>	
> 20,00 m	Çakıl = %4
	Kum = %19
	Silt + Kil = %77
	LL = 60
	PL = 21
	PI = 39
	USCS = CH
	$N_{60} = 23$
	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
	$V_s = 215 \text{ m/s}$
	$V_r = 198 \text{ m/s}$
	$G = 83 \text{ Mpa}$
	$E = 249 \text{ MPa}$
	$\mu = 0,5$
	$T > 0,3 \text{ s}$

Şekil 3.12 : İdealize zemin profili.

4. DALGA ANALİZİ

Çalışmanın bu kısmı Kramer'ın 1996 senesinde yapmış olduğu çalışmaya değinilerek hazırlanmıştır.

4.1 Yari Sonsuz Ortamdaki Dalgalar

Dünyanın sonsuz bir ortam olmadığı bir gerçektir. Çok büyük bir küre olup yüzeyinin dışında gerilme oluşmaz. Mühendislik kullanımlarında genelde dünya yarı sonuz ve düzlemsel (dünyanın küresel eğikliği yok sayılması) kabul edilir. Sınır koşulları ile serbest yüzeyin ilişkilendirilmesi bize elde edilen hareket denklemlerinin çözülebilmesi sağlar. Bu sonuçlar hareketi yüzeyde yoğunlaşmış olan dalgaların tanımlanmasında kullanılabilir. Deprem mühendisliği depremlerin dünya yüzeyindeki insanlara ve çevrelerine etkilerini inceledikleri için ve cisim dalgalarından daha yavaş sönümlendikleri için yüzey dalgaları çok önemlidir.

Mühendislik açısından iki adet önemli yüzey dalgası tipi vardır. Bunlardan biri homojen elastik yarı-uzayda meydana geldiği gösterilebilen Rayleigh Dalgalarıdır. Diğer yüzey dalgası olan Love Dalgalarının oluşması için yüzey tabakasının s-dalga hızı altta tabakanınkinden daha küçük olduğu bir yarı-uzay gerekmektedir. Bunların dışındaki yüzey dalgası tipleri de vardır fakat bunların önemi çok daha azdır.

4.1.1 Rayleigh dalgaları

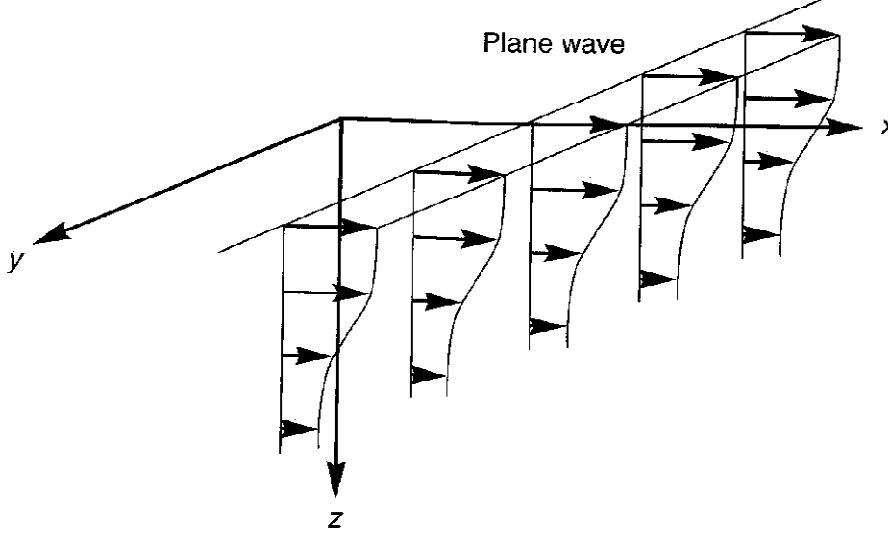
Dinamik kompaksiyon sonucu zeminde basınç dalgaları ve Rayleigh dalgaları oluşur ve enerjisinin büyük bir kısmını (%70'e yakını) Rayleigh dalgaları olarak etrafa yayılır. Rayleigh dalgaları dinamik kompaksiyonun numerik analizi için çok önemli olduğundan burada özellikleri incellenmiştir.

Homojen elastik yarı-uzay yüzeyine yakın oluşan dalgalar ilk defa Rayliegh (1885) tarafından araştırılmış ve Rayleigh Dalgaları olarak adlandırılmışlardır. Rayleigh Dalgalarını tanımlamak bir düzlem dalgasının x-yönünde ilerlediğini ve y-yönünde partikül hareketine sebep olmadığını kabul edelim (Şekil 4.1). Z-yönünün aşağı tarafını pozitif alarak bütün partikül hareketinin x-z düzleminde meydana geldiğini

söylenbilir. X- ve z- yönlerindeki yer değiştirmeleri Φ ve Ψ potansiyel fonksiyonları ile tanımlayabiliriz:

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (4.1)$$

$$w = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) \quad (4.2)$$



Şekil 4.1 : Raleigh Dalgalarının tanımı (Kramer, 1996).

Dalganın hacimsel deformasyonu, yada dilasyonu, $\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz}$ şeklinde yada;

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \nabla^2 \Phi \quad (4.3)$$

olarak ifade edilebilir. X-z düzlemindeki dönme;

$$2\Omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \nabla^2 \Psi \quad (4.4)$$

olarak ifade edilebilir. Potansiyel fonksiyonların kullanılması dilatasyon ve dönmenin etkilerini ayırmamıza yarar. Bu nedenle Rayleigh Dalgaları sınır koşullarını sağlayan p- ve s-dalgalarının birleşimi olarak düşünülebilir. Hareket denklemlerinde u ve w için kullanılan ifadeleri yer değiştirirsek ve $\partial^2 \Phi / \partial t^2$ ile $\partial^2 \Psi / \partial t^2$ ifadelerini çekersek;

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \nabla^2 \Phi = v_p^2 \nabla^2 \Phi \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \Psi = v_p^2 \nabla^2 \Psi \quad (4.6)$$

şekline gelir. Eğer titreşim frekansı (ω) ve dalga sayısı (k_R) ile harmonik ise Rayleigh Dalgası hızı $v_R = \omega / k_R$ ile yayılır. Potansiyel fonksiyonlar,

$$\Phi = F(z) e^{i(\omega t - k_R x)} \quad (4.7)$$

$$\Psi = A_2 e^{-sz + i(\omega t - k_R x)} \quad (4.8)$$

ile ifade edilir. F ve G fonksiyonları Rayleigh Dalgasının dilatasyon ve dönme bileşenlerinin genliklerinin derinlikle nasıl değiştiğini gösterir. Bu ifadeleri denklem 4.7 ve 4.8'e koyduğumuz zaman;

$$-\frac{\omega^2}{v_p^2} F(z) = -k_R^2 F(z) + \frac{d^2 F(z)}{dz^2} \quad (4.9)$$

$$-\frac{\omega^2}{v_s^2} G(z) = -k_R^2 G(z) + \frac{d^2 G(z)}{dz^2} \quad (4.10)$$

haline gelir. İfadeyi ikinci dereceden diferansiyel denklem haline getirmek için tekrardan düzenlendiği zaman;

$$\frac{d^2 F}{dz^2} - \left(k_R^2 - \frac{\omega^2}{v_p^2} \right) F = 0 \quad (4.11)$$

$$\frac{d^2 G}{dz^2} - \left(k_R^2 - \frac{\omega^2}{v_s^2} \right) G = 0 \quad (4.12)$$

haline gelir. Bu denklemlerin genel çözümleri;

$$F(z) = A_1 e^{-qz} + B_1 e^{qz} \quad (4.13)$$

$$G(z) = A_2 e^{-sz} + B_2 e^{sz} \quad (4.14)$$

formunda yazılabilir. Burada;

$$q^2 = k_p^2 - \frac{\omega^2}{v_p^2} \quad (4.15)$$

$$s^2 = k_p^2 - \frac{\omega^2}{v_s^2} \quad (4.16)$$

dir. Denklem 4.13 ve 4.14 yer değiştirme genliğinin artan derinlikle sonsuza yaklaştığı konusunda bir örselenmeye karşılık gelmektedir. Bu tip bir davranışın gerçekçi olmadığını düşünerek B_1 ve B_2 sıfır olması gerekmektedir. Potansiyel fonksiyonlar en son olarak;

$$\Phi = A_1 e^{-qz + i(\omega t - k_R x)} \quad (4.17)$$

$$\Psi = A_2 e^{-sz + i(\omega t - k_R x)} \quad (4.18)$$

şeklinde yazılır. Yarı-uzayın serbest yüzeyinde kesme ve normal gerilme oluşamayacağı için $z = 0$ olduğundan $\sigma_{xz} = 0$ ve $\sigma_{zz} = 0$ olmaktadır. Bu nedenle;

$$\sigma_{zz} = \lambda \bar{\epsilon} + 2\mu \epsilon_{zz} = \lambda \bar{\epsilon} + 2\mu \frac{dw}{dz} = 0 \quad (4.19)$$

$$\sigma_{xz} = \mu \epsilon_{xz} = \mu \left(\frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz} \right) = 0 \quad (4.20)$$

diyebiliriz. u ve w 'in potansiyel fonksiyon tanımlarını ve potansiyel fonksiyonların çözümlerini kullanarak serbest yüzey için sınır koşulları;

$$\sigma_{zz}(z=0) = A_1[(\lambda + 2\mu)q^2 - \lambda k_R^2] - 2iA_2\mu k_R s = 0 \quad (4.21)$$

$$\sigma_{xz}(z=0) = 2iA_1 k_R q + A_2(s^2 + k_R^2) = 0 \quad (4.22)$$

şeklinde ifade edilebilip tekrardan düzenlenirse;

$$\frac{A_1}{A_2} \frac{(\lambda + 2\mu)q^2 - \lambda k_R^2}{2i\mu k_R^2} - 1 = 0 \quad (4.23)$$

$$\frac{A_1}{A_2} \frac{2iqk_R}{s^2 + k_R^2} + 1 = 0 \quad (4.24)$$

haline gelir. Bu sonuçlar sayesinde Rayleigh Dalgalarının hız ve yer değiştirme kalıpları tanımlana bilir.

4.1.1.1 Rayleigh dalgası hızı

Rayleigh Dalgalarının ilerleme hızı Geoteknik Deprem Mühendisliğinin ilgisi değildir. Rayleigh Dlagaları genelde mekanik olarak oluşur ve hızları yüzeye yakın

zeminlerinin kıvamının belirlenmesi amacı ile sahada ölçülür. Denklem 4.23 ve 2.24 deki eşitlikleri toplayıp sadeleştirirsek;

$$4q\mu s k_R^2 = (s^2 + k_R^2)[(\lambda + 2\mu)q^2 - \lambda k_R^2] \quad (4.25)$$

Haline gelir ve burada q ve s 'nin tanımlarını kullanırsak;

$$16 \left(1 - \frac{\omega^2}{v_p^2 k_R^2} \right) \left(1 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k_R^2} \right) = \left(2 - \frac{\lambda + 2\mu}{\mu} \frac{\omega^2}{v_p^2 k_R^2} \right)^2 \left(2 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k_R^2} \right)^2 \quad (4.26)$$

olur. K_{Rs} 'yi Rayleigh Dalgası hızının s-dalgası hızına oranı olarak tanımlarsak;

$$K_{Rs} = \frac{v_R}{v_s} = \frac{\omega}{v_s k_R} \quad (4.27)$$

ve $\alpha = \sqrt{\mu / (\lambda + 2\mu)} = \sqrt{(1 - 2\nu) / (2 - 2\nu)}$ alınırsa;

$$\frac{v_R}{v_p} = \frac{\omega}{v_p k_R} = \frac{\omega}{v_s k_R \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \mu}} = \alpha K_{Rs} \quad (4.28)$$

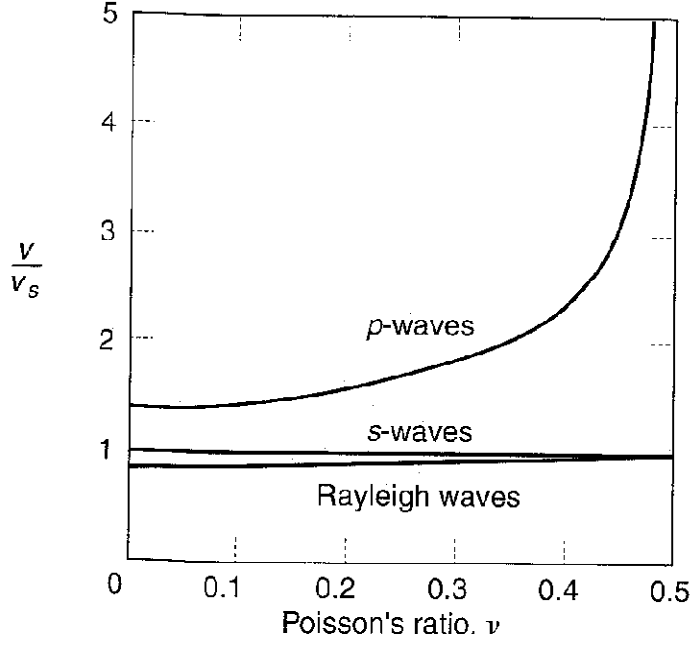
haline gelir. Böylece Denklem 4.26'yi;

$$16(1 - \alpha K_{Rs}^2)(1 - K_{Rs}^2) = \left(2 - \frac{1}{\alpha^2} \alpha^2 K_{Rs}^2 \right)^2 (2 - K_{Rs}^2)^2 \quad (4.29)$$

şeklinde yazılıp tekrardan düzenlendiğinde;

$$K_{Rs}^6 - 8K_{Rs}^4 + (24 - 16\alpha^2)K_{Rs}^2 + 16(\alpha^2 - 1) = 0 \quad (4.30)$$

şeklinde bir eşitlik elde ederiz. Bu eşitlik K_{Rs}^2 ile kübiktir ve K_{Rs} için gerçek çözümü Poisson Oranının farklı değerleri için elde edilebilir. Böylece Rayleigh Dalga hızının s- ve p-dalga hızlarına oranı ν 'nin fonksiyonu şeklinde elde edilebilir. Çözüm grafik olarak Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi Rayleigh Dalgası Poisson oranının 0,5'den küçük değerleri için s-dalgasından daha yavaştır.



Şekil 4.2 : Rayleigh ve cisim dalgası hızlarının Poisson ile değişimi (Kramer, 1996).

4.1.1.2 Rayleigh dalgası yer değiştirme genliği

Bir önceki bölümde Rayleigh Dalgası hızları incelenmiştir. Buradan çıkarılan sonuçlardan bazıları Rayleigh Dalgalarının sebep olduğu partikül hareketlerinin açıklanmasında yardımcı olacaktır. u ve w 'nin ifadelerinde Φ ve Ψ potansiyel fonksiyonlarının çözümlerini yerine koyarsak;

$$u = -A_1 i k_R e^{-qz+i(\omega t - k_R x)} - A_2 s e^{-sz+i(\omega t - k_R x)} \quad (4.31)$$

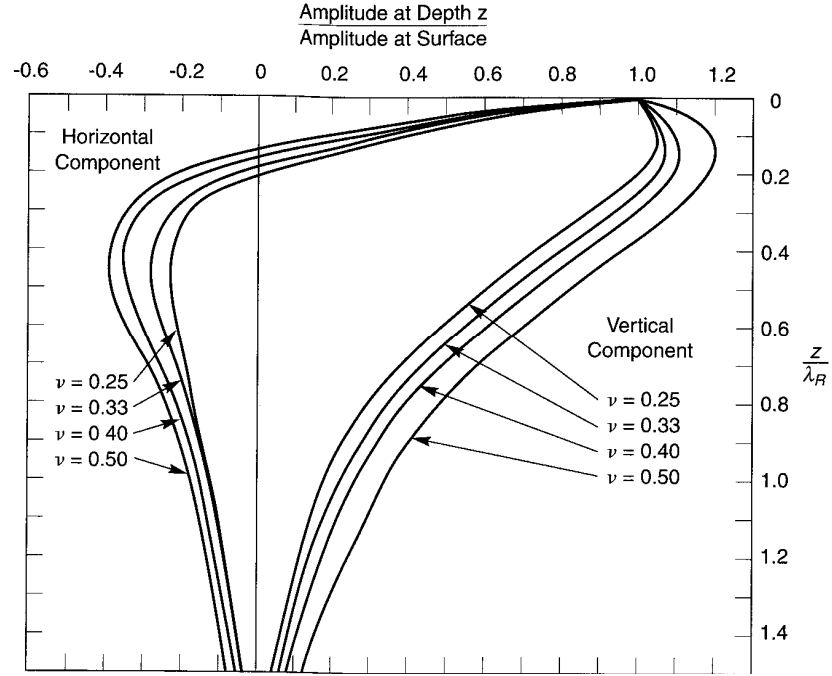
$$w = -A_1 i k_R e^{-qz+i(\omega t - k_R x)} + A_2 i k_R e^{-sz+i(\omega t - k_R x)} \quad (4.32)$$

ve önceden elde ettiğimiz $A_2 = -(2q i k_R) A_1 / (s^2 + k_R^2)$ ifadesini kullanarak;

$$u = A_1 \left(-i k_R e^{-qz} + \frac{2 i q s k_R}{s^2 + k_R^2} e^{-sz} \right) e^{i(\omega t - k_R x)} \quad (4.33)$$

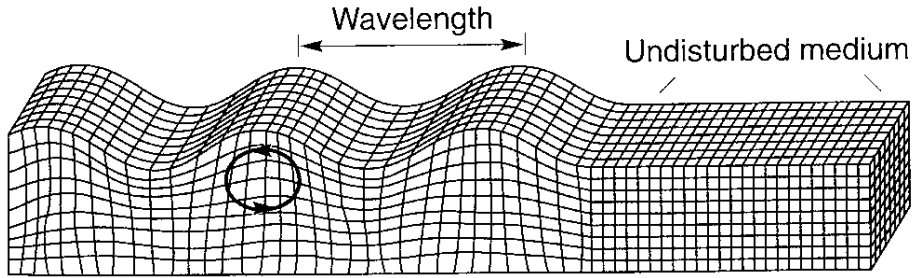
$$w = A_1 \left(-\frac{2 q k_R^2}{s^2 + k_R^2} e^{-sz} - q e^{-qz} \right) e^{i(\omega t - k_R x)} \quad (4.34)$$

elde edilir. Bu denklemlerde parantez içinde kalan kısımlar u ve w 'nin genliklerinin derinlikle nasıl değiştiğini göstermektedir. Yatay ve düşey yer değiştirme genliklerinin farklı Poisson oranları için aldığı değerler Şekil 4.3'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Genliklerin farklı Poisson oranları için aldığı değerler (Kramer, 1996).

İncelediğimiz zaman yatay ve düşey yer değiştirmelerin fazı 90° açıyla terk ettiğini görmekteyiz. Bunun nedeni dikey yer değiştirme maksimum olduğu anda yatayın sıfır olması ve tersinin de aynı şekilde olmasıdır. Yarı-uzayın yüzeye yakın kısmında partikül hareketi retrograd elips formundadır. Rayleigh dalgalarının genel doğal hareketi Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Raleigh dalgalarının genel doğal hareketi (Kramer, 1996).

4.1.2 Love Dalgaları

Homojen elastik bir yarı-uzayda sadece s-dalgaları, p-dalgaları ve Rayleigh Dalgaları mevcut olabilir. Eğer ki yarı-uzay cisim dalgası hızı daha küçük olan bir tabaka ile kaplı ise bu ortamda Love Dalgaları oluşabilir. Love Dalgaları esasen yüzey tabakası içerisinde birçok yansıma sonucu hapis olan SH-dalgalarından oluşur. Homojen bir yarı-uzayın üst kısmını kaplayan homojen ve kalınlığı H olan bir tabaka olduğunu

düşünelim. X-yönünde ilerleyen bir Love Dalgası sadece y-yönünde bir yer değiştirmeye sahiptir ve şu şekilde tanımlanabilir;

$$v(x, z, t) = V(z)e^{i(k_L x - \omega t)} \quad (4.35)$$

Bu eşitlikte v y-yönündeki partikül yer değiştirmesinin, $V(z)$ v 'nin derinlikle değişimini ve k_L Love Dalgasının dalga sayısıdır. Love Dalgaları yüzey tabakasının ve yarı-uzayın s-dalgası denklemlerini sağlamalıdır.

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \begin{cases} \frac{G_1}{\rho_1} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \Rightarrow 0 \leq z \leq H \\ \frac{G_2}{\rho_2} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \Rightarrow z \geq H \end{cases} \quad (4.36)$$

Genliğin derinlikle değişimide;

$$V(z) = \begin{cases} A_1 e^{-v_1 z} + B_1 e^{v_1 z} \Rightarrow 0 \leq z \leq H \\ A_2 e^{-v_2 z} + B_2 e^{v_2 z} \Rightarrow z \geq H \end{cases} \quad (4.37)$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu eşitlikte A ve B sabitleri dalgaların aşağı ve yukarı hareketinin genlikleri ve;

$$v_1 = \sqrt{\frac{k_L^2 - \omega^2}{G_1 / \rho_1}} \quad v_2 = \sqrt{\frac{k_L^2 - \omega^2}{G_2 / \rho_2}} \quad (4.38)$$

şeklindedir. Yarı-uzayın sonsuz derinliğe sahip olduğu düşünülürse B_2 sıfır (sonsuz derinlikte yukarı hareket edebilmesi için gerekli enerji yada yansıma oluşmayacağından) olmak zorundadır. Bütün gerilmenin yüzeyde kaybolması için gerekli olan durum;

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial V(z)}{\partial z} e^{i(k_L x - \omega t)} = -A_1 v_1 e^{-v_1 z} + v_1 B_1 e^{v_1 z} = (A_1 - B_1) v_1 (e^{-v_1 z} + e^{v_1 z}) = 0 \quad (4.39)$$

olup başka bir deyişle A_1 ile B_1 birbirine eşit olmalıdır. Şimdi genlikler kalan iki bilinmeyen genlik cinsinden yazılabilir;

$$V(z) = \begin{cases} A_1 (e^{-v_1 z} + e^{v_1 z}) \Rightarrow 0 \leq z \leq H \\ A_2 e^{-v_2 z} \Rightarrow z \geq H \end{cases} \quad (4.40)$$

Gerilmelerin zemin boyunca sürekli olabilmesi için H derinlikte eşit olmaları gerekmektedir.

$$2iG_1v_1A_1 \sin(iv_1H) = G_2v_2A_2e^{-v_2H} \quad (4.41)$$

Yer değiştirmenin sürekliliği için;

$$2A_1 \cos(iv_1H) = A_2e^{-v_2H} \quad (4.42)$$

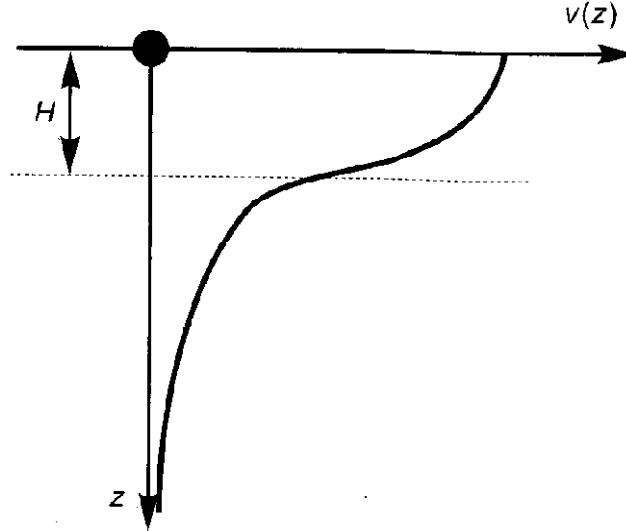
olmalıdır. Denklem 4.41 ve 4.42 kullanılarak A_2 'yi A_1 cinsinden yazabiliriz.

$$A_2 = \frac{2 \cos(iv_1H)}{e^{-v_2H}} A_1 \quad (4.43)$$

Denklem 4.40 ile 4.41'yı 4.35'de yerine koyarsak;

$$v(x,z,t) = \begin{cases} 2A_1 \left[\omega \left(\frac{1}{v_{s1}^2} - \frac{1}{v_L^2} \right)^{1/2} z \right] e^{i(k_Lx - \omega t)} & \Rightarrow 0 \leq z \leq H \\ 2A_1 \cos \left[\omega \left(\frac{1}{v_{s1}^2} - \frac{1}{v_L^2} \right)^{1/2} H \right] \exp \left[-\omega \left(\frac{1}{v_L^2} - \frac{1}{v_{s2}^2} \right)^{1/2} (z-H) \right] e^{i(k_Lx - \omega t)} & \Rightarrow z \leq H \end{cases} \quad (4.44)$$

şeklinde olmalıdır. Burada v_{s1} ve v_{s2} farklı tabakaların kayma dalgası hızı ve v_L Love Dalgası hızıdır. şekil 4.5'de Love Dalgasının hız genliğinin derinlikle değişimi st tabakada sinüsoidal ve sonrasında üssel olduğu görülmektedir. Bu nedenle Love Dalgaları st tabakada hapis olan SH-dalgaları olarak tanımlanır.



şekil 4.5 : Love Dalgasının hız genliğinin derinlikle değişimi (Kramer, 1996).

Love Dalgası hızı;

$$\tan \omega H \left(\frac{1}{v_{s1}} - \frac{1}{v_L^2} \right)^{1/2} = \frac{G_2}{G_1} \frac{\sqrt{1/v_L^2 - 1/v_{s2}^2}}{\sqrt{1/v_{s1}^2 - 1/v_L^2}} \quad (4.45)$$

denklemleri bulunabilir.

4.2 Genlik Parametreleri

Bir zemin titreşiminin zamansal geçmişi onu tanımlamanın en genel yoludur. Hareket parametresi ivme, hız veya yer değiştirme ya da her üçü de olabilir. Genelde bunlardan sadece bir tanesi doğrudan ölçülür ve diğerleri türev / integral ile hesaplanır. İvme, hız ve yer değiştirmenin zamansal geçmişlerindeki hakim frekanslarının farklı olduğuna dikkat edilmelidir. İvmenin zamansal geçmişinde nispeten yüksek frekans içeriği gözlenmektedir. İntegrasyon düzeltme ve filtreleme etkisi yapmaktadır. Bu nedenle hızın zaman geçmişi ivmenininkinden daha düşük yüksek-frekans hareketi göstermektedir. Yer değiştirme zamansal geçmişi iki kez integrasyondan geçtiği için daha düşük frekans hareketi baskın hale gelmiştir.

4.2.1 En büyük ivme

Genel olarak belirli zemin hareketlerinin genliklerinin belirlenmesinde en çok en büyük yatay ivme (PHA) kullanılır. Bir bileşenin en büyük yatay ivmesi basitçe o bileşene ait ivme kaydındaki en yüksek ivme değeridir. İki adet dikey bileşenin vektörel toplamı ile maksimum bileşke PHA elde edilebilir.

Genel olarak zemin hareketlerinin tanımlanmasında yatay ivmenin kullanılmasının nedeni atalet kuvvetleriyle doğal olarak ilişkili olmasıdır; nitekim bazı tip yapılarda görülen en büyük dinamik kuvvetlerin PHA ile yakından ilgisi vardır.

Deprem mühendisleri tarafından dikey ivme yatay ivmeye göre daha az ilgi görmektedir. Bunun başlıca nedeni yapılarda yerçekimi nedeniyle oluşan dikey yöndeki statik yüklere karşı alınan güvenlik faktörü genellikle dikey yöndeki ivmenin neden olacağı dinamik yüklere dayanması için yeterlidir. Mühendislik amaçlı kullanımlarda en büyük dikey ivme (PVA) PHA'nın üçte ikisi olarak kabul edilir. Bununla birlikte bu oranın kaynaktan uzaklaştıkça azaldığı, kaynağa yaklaştıkça arttığı gözlemlenmiştir.

Yüksek en büyük ivmeli zemin hareketleri genellikle, ama her zaman değil, düşük en büyük ivmelilere göre daha yıkıcıdır. Kısa süren çok büyük en büyük ivmeler birçok

tip yapıya az zarar verebilir. En büyük ivmesi 0,5g olan pek çok deprem kısa sürmesi ve frekansının büyük olması nedeni ile hasara neden olmamıştır. En büyük ivme çok kullanışlı bir parametre olmasına rağmen frekans içeriği ve hareketin süresi hakkında bilgi vermemektedir. Sonuç olarak zemin hareketini iyi bir şekilde karakterize etmek için ek bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2.2 En büyük hız

En büyük yatay hız (PHV) zemin hareketlerinin genliklerini karakterize etmekte kullanılan bir başka kullanışlı parametredir. Hız, zemin hareketlerinin yüksek-frekans içeriklerine daha az hassas olduğu için zemin hareketlerinin genliklerinin orta düzey frekanslarda daha doğru bir şekilde karakterize edilmesinde PHV PHA'dan daha başarılıdır. Orta-frekans aralığındaki yüklemelere hassas olan bazı yapı ve tesislerde (yüksek veya esnek binalar, köprüler ...) oluşabilecek potansiyel hasarın bulunmasında PHV, PHA'dan daha isabetli sonuç vermektedir.

4.2.3 En Büyük yer değiştirme

En büyük yer değiştirme genellikle zemin hareketlerinin düşük-frekans içerikleriyle ilişkilidir. Ancak filtreleme ve accelogramın integrasyonu esnasındaki sinyal işleme hataları ve uzun-period sesleri nedeni ile genelde isabetli bir şekilde tanımlamak çok güçtür. Sonuç olarak en büyük yer değiştirme zemin hareketlerinin ölçülmesinde en büyük ivme ve en büyük hıza göre daha nadiren kullanılır.

4.3 Frekans İçeriği Parametreleri

Bina, köprü, şev gibi yapıların dinamik davranışları dinamik yüklemenin frekans içeriğine karşı çok duyarlıdır. Depremler, hareketin frekans aralığı geniş bileşenleri ile karmaşık bir yükleme oluşturur. Frekans içeriği, bize zemin hareketinin genliklerinin farklı frekanslara nasıl dağıldığını gösterir. Deprem hareketinin frekans içeriği kesinlikle zemin hareketini etkilemesinden dolayı hareketin karakterize edilmesi frekans içeriği dikkate alınmadan tamamlanamaz.

4.3.1 Zemin hareketi spektrumları

Herhangi bir periyodik fonksiyon (sabit bir aralıkta kendini tekrarlayan fonksiyonlar) farklı frekans, genlik ve fazlarının basit harmonik koşullarının toplamı olan Fourier analizi ile ifade edilebilir. Fourier analizi ile periyodik bir fonksiyon olan $x(t)$;

$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (4.46)$$

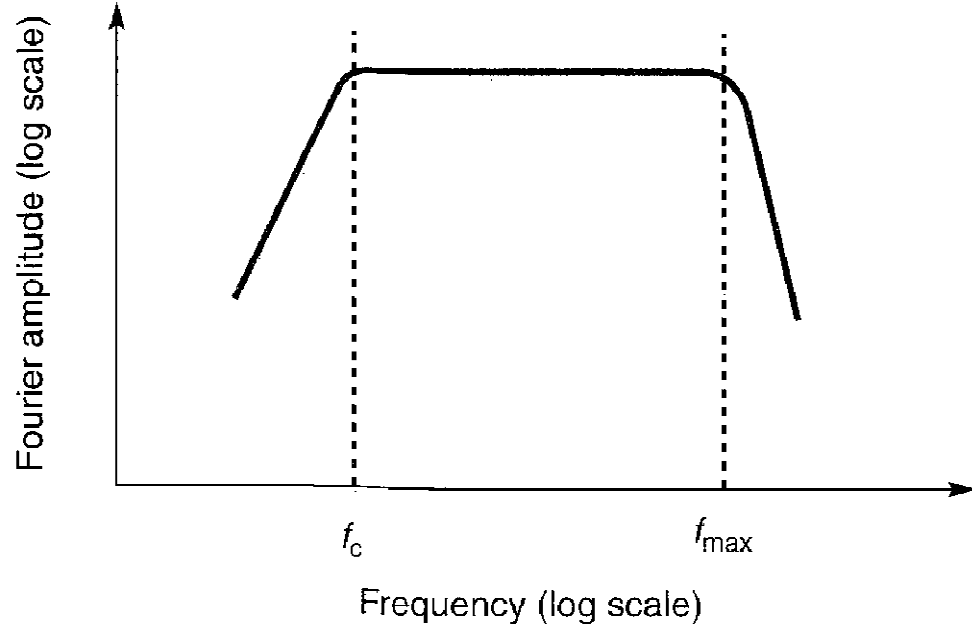
şeklinde ifade edilebilir. Bu formda c_n ve ϕ_n sırasıyla Fourier serisinin n 'inci harmoniğinin genliği ve faz açısıdır. Zemin hareketi ters Fourier dönüşümü ile tam olarak geri döndürülebildiği için Fourier serisi, hareketinin tam olarak açıklanmasını (zaman ortamından frekans ortamına veya frekans ortamından zaman ortamına tam olarak dönüşümünü) sağlar.

4.3.1.1 Fourier spektrumu

Fourier genliğinin frekansa karşı çizilmesiyle Fourier Genlik Spektrumu, faz açısına karşı çizilmesiyle Fourier Faz Spektrumu elde edilir. Kuvvetli bir zemin hareketinin Fourier Genlik Spektrumunu hareketin genliğinin frekansa veya perioda göre nasıl dağıldığını gösterir. Bu, hareketin frekans içeriğini çok açık bir şekilde ifade eder.

Fourier Genlik Spektrumu dar ya da geniş olabilir. Dar bir spektrum hareketin baskın (hakim) bir frekansının ya da periodunun olduğunu ima eder. Bu tip hareketlerde düzgün, sinüzoidale yakın bir zamansal geçmiş oluşur. Geniş bir spektrum hareketin çok farklı frekanslar içerdiğine karşılık gelir. Bu tip hareketler daha pürüzlü ve düzensiz bir zaman geçmişine sahiptirler.

Bir zemin hareketinin Fourier Genlik Spektrumu düzeltilip logaritmik ölçekte çizilirse karakteristik şekli daha net görülebilir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Fourier genliği köşe frekans f_c ile sınır frekans $f_{\max}$ arasında en yüksek değerine ulaşmıştır. Köşe frekans teorik olarak sismik hareketin küp kökü ile ters orantılıdır. Bu sonuç gösteriyor ki büyük hareketler küçüklere göre daha büyük düşük-frekanslara sebep oluyor. Sınır frekansın ise henüz tam olarak neye bağlı olduğu tanımlanamamıştır. Kaynak etkisi (Papageorgiou ve Aki, 1983) veya belirli bir jeolojide sabit olduğu konusunda görüşler mevcuttur.



Şekil 4.6 : Zemin hareketinin Fourier Spektrumunun logaritmik eksenlerde gösterilmesi (Kramer, 1996).

Faz açısı en büyük harmonik hareketin olduğu zamanları kontrol ettiği için Fourier Faz Spektrumu zemin hareketinin zamana göre değişiminden etkilenir. Fourier Faz Spektrumu Genlik Spektrumunun aksine karakteristik bir şekil sergilemez.

4.3.1.2 Güç spektrumu

Bir zemin hareketinin frekans içeriği Güç Spektrumu ya da Güç Spektral Yoğunluğu Fonksiyonu ile de tanımlanabilir. Güç Spektral Yoğunluğu Fonksiyonu zemin hareketinin istatistiksel özelliklerinin tahmin edilmesinde ve stokastik tepkisinin rastgele titreşim teknikleri kullanılarak hesaplanmasında kullanılabilir.

T_d kadar süren bir zemin hareketinin toplam şiddeti, ivmenin karesinin zamansal geçmişi altında kalan alan zaman değişkeni olarak;

$$I_0 = \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt \quad (4.47)$$

şeklinde ifade edilebilir. Parseval Teoremi kullanılarak toplam şiddet frekans değişkeni olarak;

$$I_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_N} c_n^2 d\omega \quad (4.48)$$

şekline ifade edilebilir. Burada $\omega_N = \pi / \Delta t$ olup Fourier serisindeki en yüksek frekanstır. Ortalama şiddet, λ_0 , üstteki fonksiyonların süreye bölünmesiyle elde edilir.

$$\lambda_0 = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt = \frac{1}{\pi T_d} \int_0^{\omega_N} c_n^2 d\omega \quad (4.49)$$

Ortalama şiddetin ortalama-kare ivmeye eşit olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Güç Spektral Yoğunluğu, $G(\omega)$,

$$\lambda_0 = \int_0^{\omega_N} G(\omega) d\omega \quad (4.50)$$

şeklinde ifade edildiği zaman kolaylıkla;

$$G(\omega) = \frac{1}{\pi T_d} c_n^2 \quad (4.51)$$

olduğunu görebiliyoruz. Bu eşitlikte Güç Spektral Yoğunluğu ile Fourier Genlik Spectrumu arasındaki yakın ilişki bariz bir şekilde görülmektedir. Güç Spektral Yoğunluğu genellikle altta kalan alana bölünerek normalize edilir.

$$G^n(\omega) = \frac{1}{\lambda_0} G(\omega) \quad (4.52)$$

Burada λ_0 , daha önce belirtildiği gibi ortalama karesel ivmedir.

Güç Spektral Yoğunluğu fonksiyonu depremlerin rastgele süreçlerinin karakterize edilmesinde kullanışlıdır. Güç Spektral Yoğunluğu fonksiyonu kendi başına durağan rastgele süreç (istatistiksel parametreleri zamanla değişmeyen) olarak tanımlanabilir. Kuvvetli hareket accelogramlarının başlarında şiddet maksimuma ulaşır, bir süre sabit kaldıktan sonra hareketin sonralarına doğru düşmeye başlar. Durağan olmayan rastgele süreç davranışı genelde durağan zaman geçmişi ile belirleyici şiddetin çarpılmasıyla modellenir.

4.3.1.3 Davranış spektrumu:

Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan diğer bir spektrum tipi Davranış Spektrumudur. Davranış Spektrumu tek serbestlik dereceli sistemlerin belirli bir hareketin doğal frekansı veya periodu ve sönümlenme oranı fonksiyonlarına karşı nasıl tepki gösterdiğini açıklar.

Tipik bir Davranış Spektrumunun şekli en büyük spektral ivme, hız ve yer değiştirmenin farklı frekans veya periotlarla nasıl bir ilişkide olduğunu gösterir. Düşük frekanslarda ortalama spektral yer değiştirme neredeyse sabit; yüksek frekanslarda ortalama spektral ivmenin oldukça sabit olduğu görülür. Bu ikisi arasında kalan kısımda da spektral hız neredeyse sabittir. Bu nedenden dolayı spektrum genelde ivme kontrollü (yüksek-frekans), hız kontrollü (orta-frekans) ve yer değiştirme kontrollü (düşük-frekans) olmak üzere üçe ayrılır.

Elastik Davranış Spektrumu yapısal kuvvet – yer değiştirme davranışını doğrusal kabul eder. Ancak, zemin hareketinin olduğu durumlarda yapı inelastik davranış sergiler. İnelastik Davranış Spektrumu inelastik davranış etkilerinin hesaplanmasına kullanılır.

Tek serbestlik dereceli yapıların davranışı filtreleme yaptığı için Davranış Spektrumu zemin hareketinin karakterini dolaylı yollardan yansıtır. Zemin hareketinin genliği, frekans içeriği ve az da olsa süresi spektral değerleri etkiler. Farklı frekans içeriğine sahip zemin hareketlerinin Davranış Spektrumlarının şekillerinin farklı olduğu açık bir şekilde görülebilir.

Davranış Spektrumunun pek çok yapının sadece maksimum davranışını gösterdiğini önemle hatırlamak gerekir. Yine de Davranış Spektrumu mühendislik açısından çok önemlidir ve kuvvetli zemin hareketlerinin karakterize edilmesinde kullanışlı ve önemli bir gereç olduğu kanıtlanmıştır.

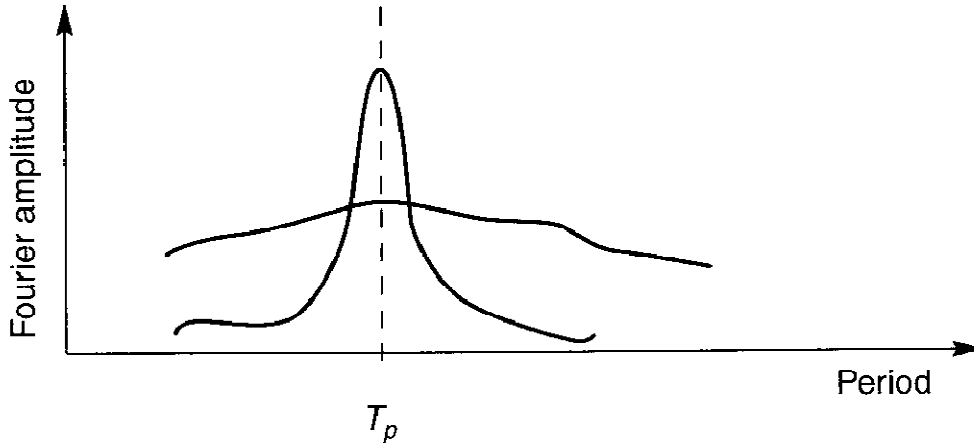
4.3.2 Spektrum parametreleri

Daha önce bahsettiğimiz üç tip spektrum kuvvetli zemin hareketlerinin karakterize edilmesinde kullanılmaktadırlar. Fourier Spektrumu ve yakın ilişkide olan Güç Spektrumu Faz Spectrumu ile birleştirildiğinde zemin hareketini tamamı ile açıklamamız mümkün hale gelir. Davranış Spektrumu mevcut zemin hareketini açıklamaz fakat yapılara gelecek potansiyel etkilerin tahmin edilebilmesinde çok

değerli ek bilgiler sağlar. Bu üç spektrum çok karmaşık fonksiyonlar olup tam olarak belirlenmeleri için pek çok veri gerekmektedir. Spektrumlardan önemli bilgilerin elde edilebilmesi için bazı spektrum parametreleri bulunmaktadır.

4.3.2.1 Baskın (hakim) periyot

Baskın periyot bir zemin hareketinin frekans içeriğinin görülmesinde kullanılan, biraz kaba da olsa kullanışlı olan bir parametredir. Baskın periyot, titreşimin Fourier Genlik Spektrumunun maksimum değerinin periyodu olarak tanımlanabilir. Fourier Genlik Spektrumunun anlık artışlarının kafa karıştırabileceğinden baskın periyot yumuşatılmış spektrumdan belirlenmelidir. Baskın periyot frekans içeriği ile ilişkin bilgi verebilmesine karşın Şekil 4.7’de görüldüğü gibi birbirinden tamamen farklı frekans içeriğine sahip zemin hareketlerinin baskın periyotları eşit olabilir.



Şekil 4.7 : Farklı frekans içeriğine sahip zemin hareketlerinin baskın periyotlarının karşılaştırılması (Kramer, 1996).

4.3.2.2 Bant genişliği:

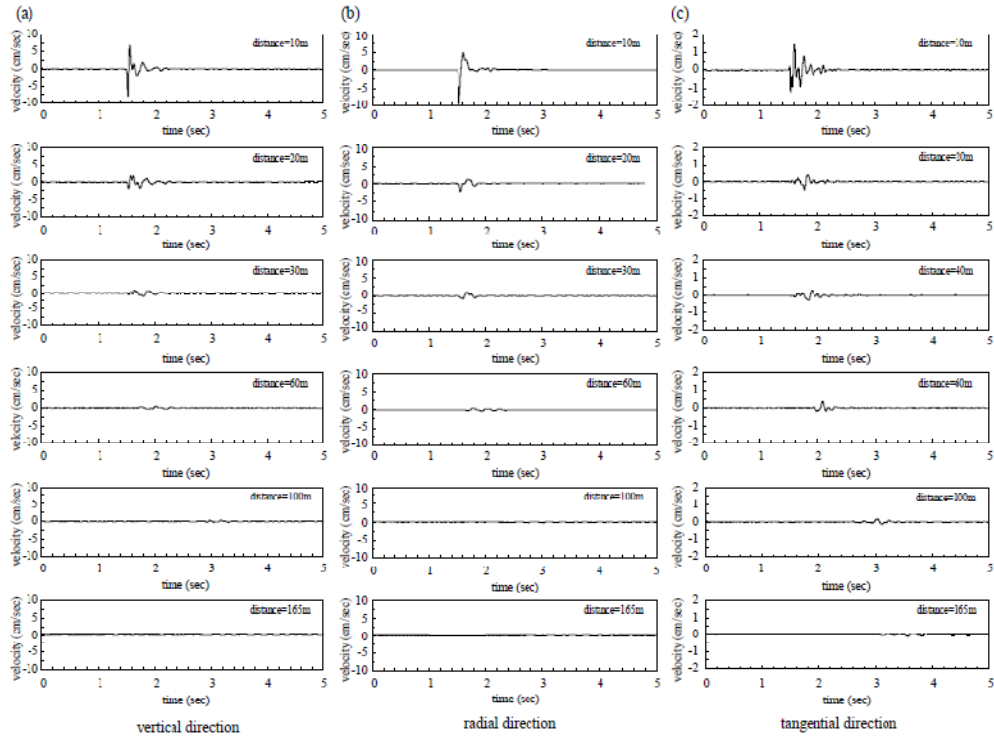
Baskın period Fourier Genlik Spektrumunun en büyük değeri aldığı noktayı tayin etmemize yarasada spektral genliklerin baskın period çevresinde nasıl dağıldığı hakkında bir bilgi vermemektedir. Bir Fourier Genlik Spektrumunun bant genişliği belirli bir Fourier genliğinin etkili olduğu frekans aralığıdır. Bant genişliği çoğunlukla Fourier Genliğinin maksimumunun değerinin $1/\sqrt{2}$ ’si olan seviye için ölçülür. Fourier Genlik Spektrumu düzensiz şekli bant genişliğinin belirlenmesinde zorluklara sebep olur. Spektrumun yumuşatılması ile daha kolay hale gelebilir.

5. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR

5.1 Hwang ve Tu (2006)

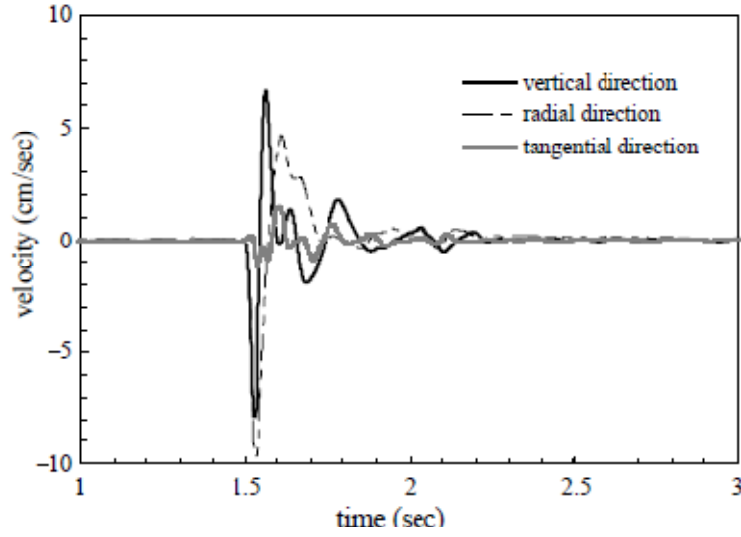
5.1.1 Tipik titreşim dalgası formu

Şekil 5.1 standart sıkıştırma enerjisi altında farklı uzaklıklarda yapılan radyal, düşey ve teğet yönlerdeki hız ölçümlerinin zamansal geçmişlerini göstermektedir. Radyal ve düşey yöndeki hızlar daha tipik bir şekle sahip olup teğet yönünde daha karışık olduğu açıkça görülmektedir. Her üç yöndeki zamansal geçmişlerde ön kısımda bulunan yüksek frekanslı pikler kaynaktan uzaklaştıkça daha hızlı sönümlenirken arka kısımda bulunan düşük frekanslı pikler daha yavaş sönümlenmektedir.



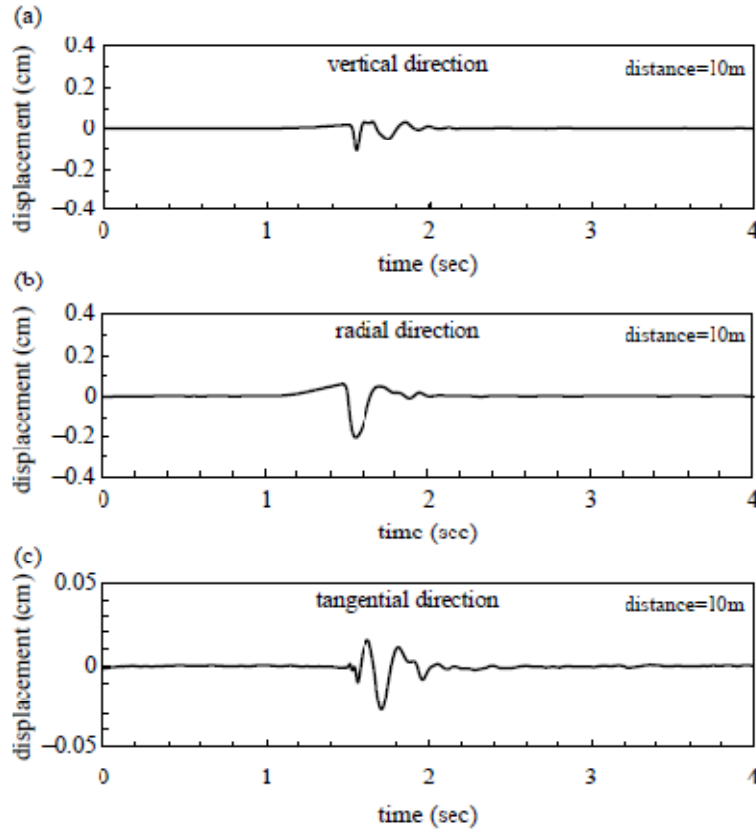
Şekil 5.1 : Farklı mesafelerde hız zamansal geçmişleri (Hwang ve Tu, 2006).

Şekil 5.2 kaynaktan 10 m uzaklıktaki titreşim dalgası formunun her üç yönde karşılaştırılması göstermektedir. Radyal ve düşey yöndeki hız genlikleri teğet yönüne göre daha büyük olduğu açıkça görülmektedir.



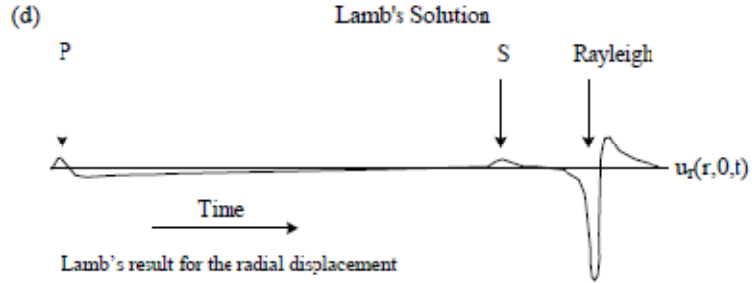
Şekil 5.2 : 10 m mesafedeki titreşimlerin karşılaştırması (Hwang ve Tu, 2006).

İntegrasyon işlemi sonucu elde edilmiş olan yer değiştirme zamansal geçmişleri Şekil 5.3 de gösterilmiştir. Radyal ve düşey yer değiştirmelerin dalga formlarının öncelikle aniden negatif yönde olup ardından pozitif tarafa sekip tekrar orijinal



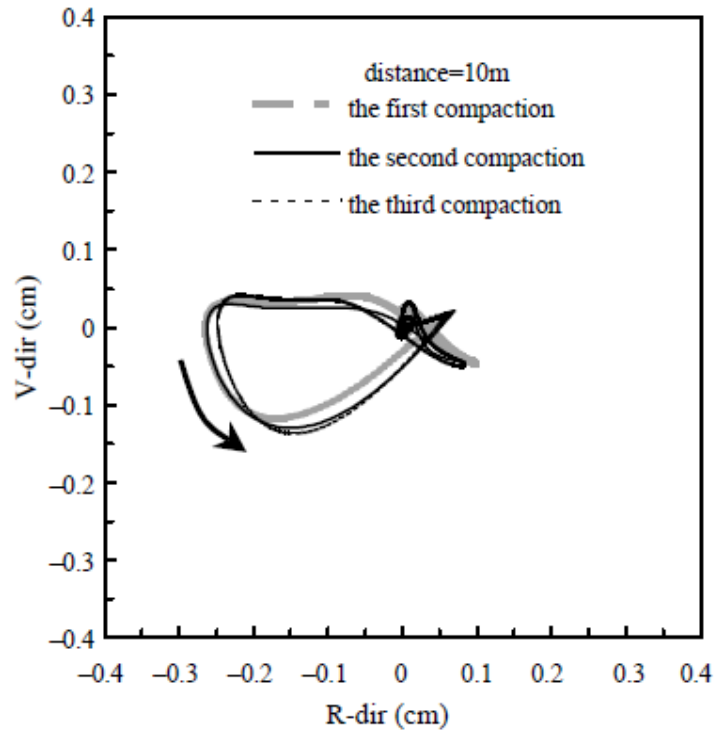
Şekil 5.3 : Farklı mesafelerde hız zamansal geçmişleri (Hwang ve Tu, 2006).

pozisyonuna geri döndüğü görülmektedir. Teğetsel yer değiştirme dalga formunun daha karmaşık olduğu görülmektedir. Lamb'ın radyal yer değiştirmenin analitik çözümüyle bulduğu dalga formu ile ölçülerek bulunan dalga formunun benzerliği Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Lamb'ın analitik çözümle bulduğu dalga formu (Lamb, 1904).

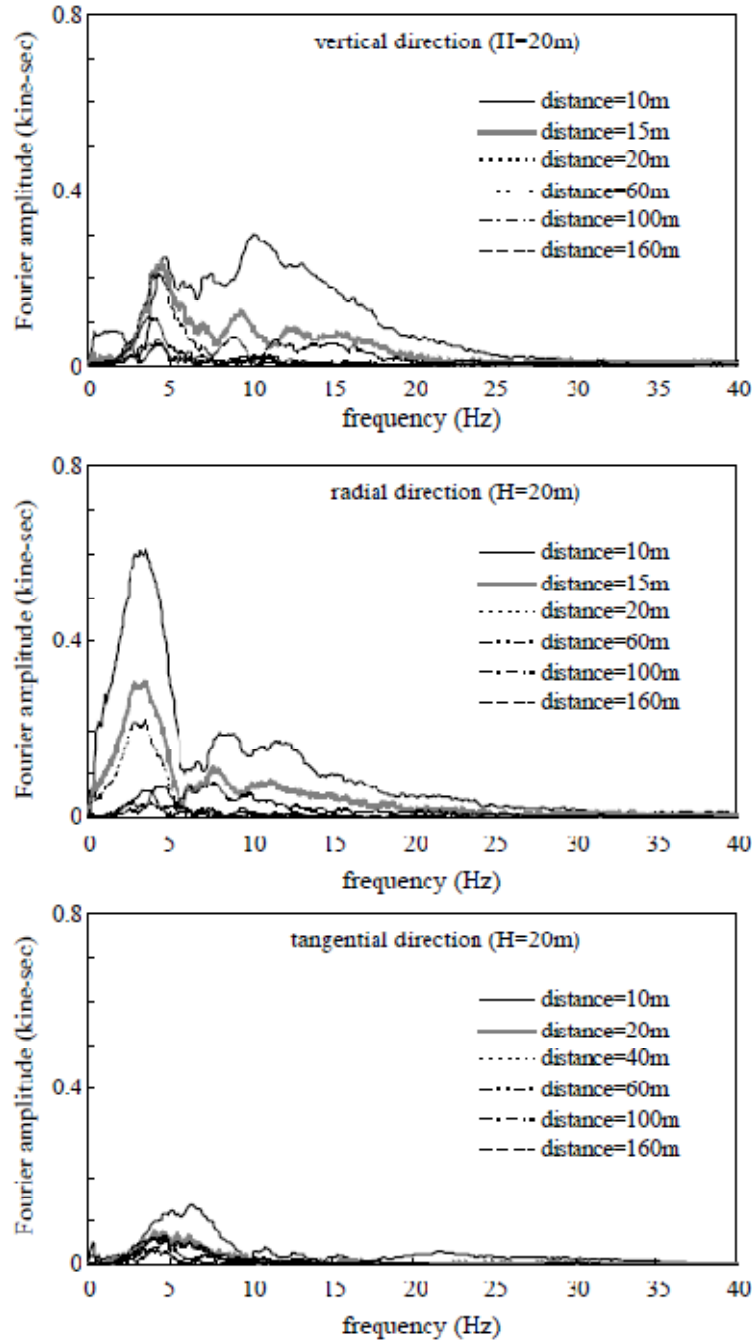
Şekil 5.5 partikül hareketinin izlediği yolun radyal ve düşey yöndeki yer değiştirme eksenlerinde gösterilmesidir. Partikül hareketini saat yönünün tersinde yarım elips olarak görülmektedir. Ayrıca partikül hareketinin karakteristiğinin tekrarlı olarak yapılan sıkıştırılmalarda değişmediği de söylenebilir.



Şekil 5.5 : 10 m mesafedeki partikül hareketinin izlediği yol (Hwang ve Tu, 2006).

5.1.2 Fourier ve davranış spektrumları

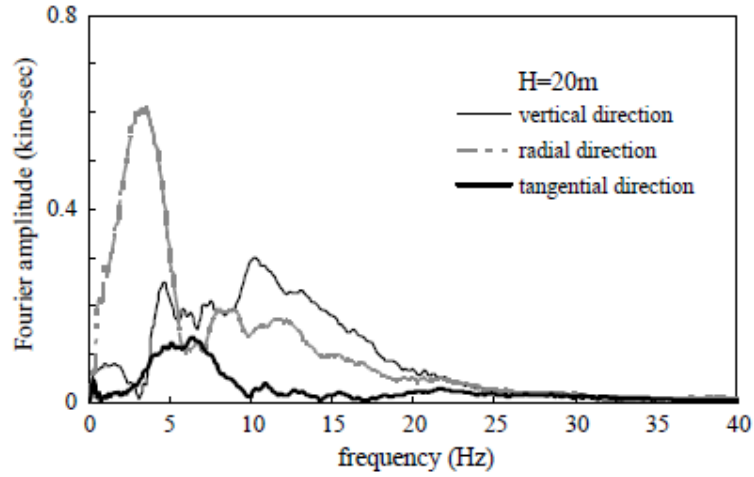
Şekil 5.6 standart sıkıştırma enerjisi altında farklı uzaklıklarda yapılan radyal, düşey ve teğet yönlerdeki hız ölçümlerinin Fourier Spektrumunu göstermektedir. Aynı yönde farklı uzaklıklarda bulunan spektrumların şekillerinin benzer olduğu görülmektedir. Kaynağa yakın olanın spektrumu uzakta olana göre daha göze çarpan



Şekil 5.6 : Titreşimlerin farklı yönlerdeki Fourier Spektrumları(Hwang ve Tu,2006).

baskın frekans aralığına ve büyük pik genliğe sahiptir. Bunun nedeni enerjinin yakın mesafede odaklanması ve titreşim dalgalarının farklı zemin tiplerindeki tabakalardan yansımasıdır. Düşey yönde 10 – 20 Hz arası ve radyal yönde 3 – 4 Hz ve 12 – 13 Hz arası olmak üzere iki tane ana frekans vardır. Her üç yönde de bütün titreşim frekans içerikleri 0 – 40 Hz arasında kalmaktadır.

Şekil 5.7 her üç yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırmasını göstermektedir. Birbirlerinden, özellikle teğet yöndekinin, çok farklı olduğu açıkça görülmektedir.

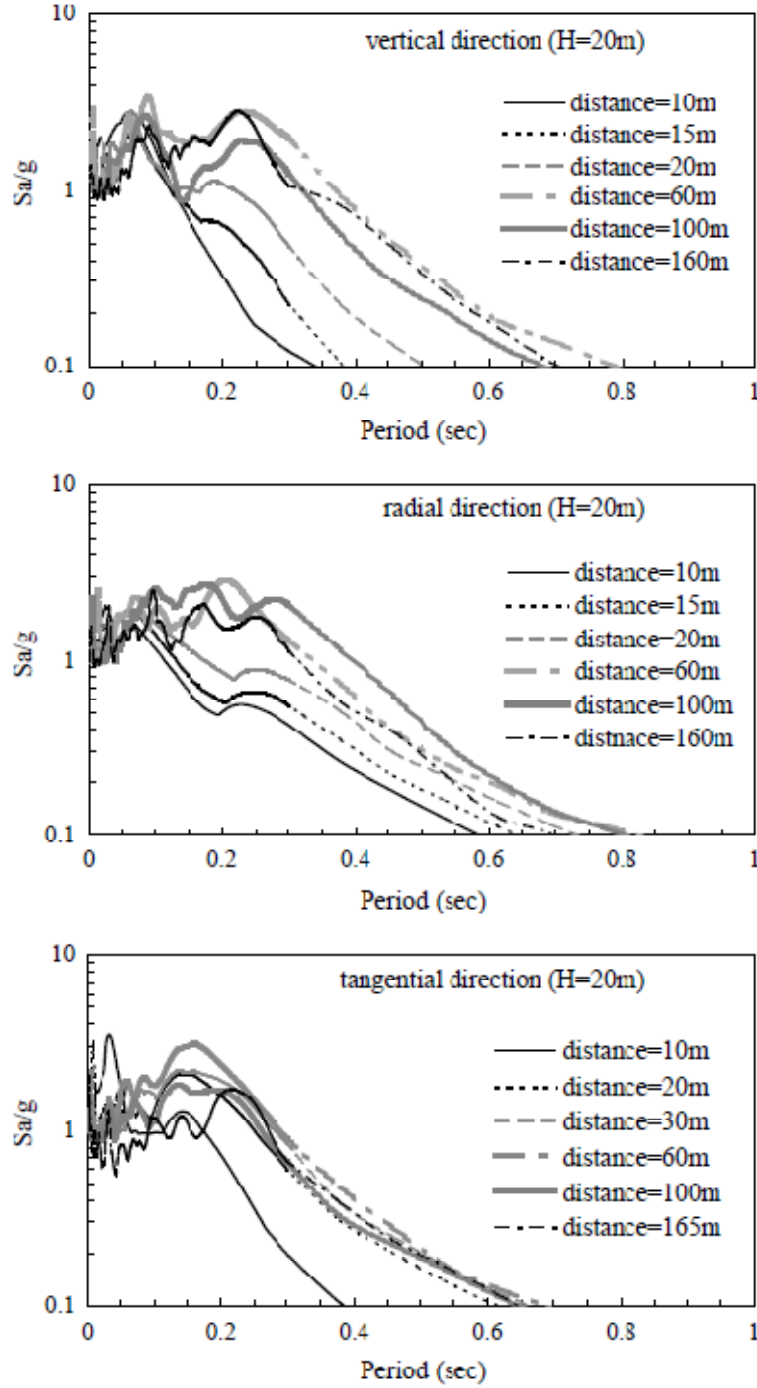


Şekil 5.7 : Üç yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması(Hwang ve Tu,2006)

Şekil 5.8 standart sıkıştırma enerjisi altında farklı uzaklıklarda yapılan radyal, düşey ve teğet yönlerdeki yönlerdeki normalize ivme davranış spektrumlarını göstermektedir. Her üç yöndeki spektrumların şekillerinin benzer olduğu görülmektedir. Spektral değerler kaynağa yakın olanlarda uzak olanlara nazaran kısa periyot aralıklarında daha büyük olmasına karşın uzun periyot aralıklarında daha küçüktür.

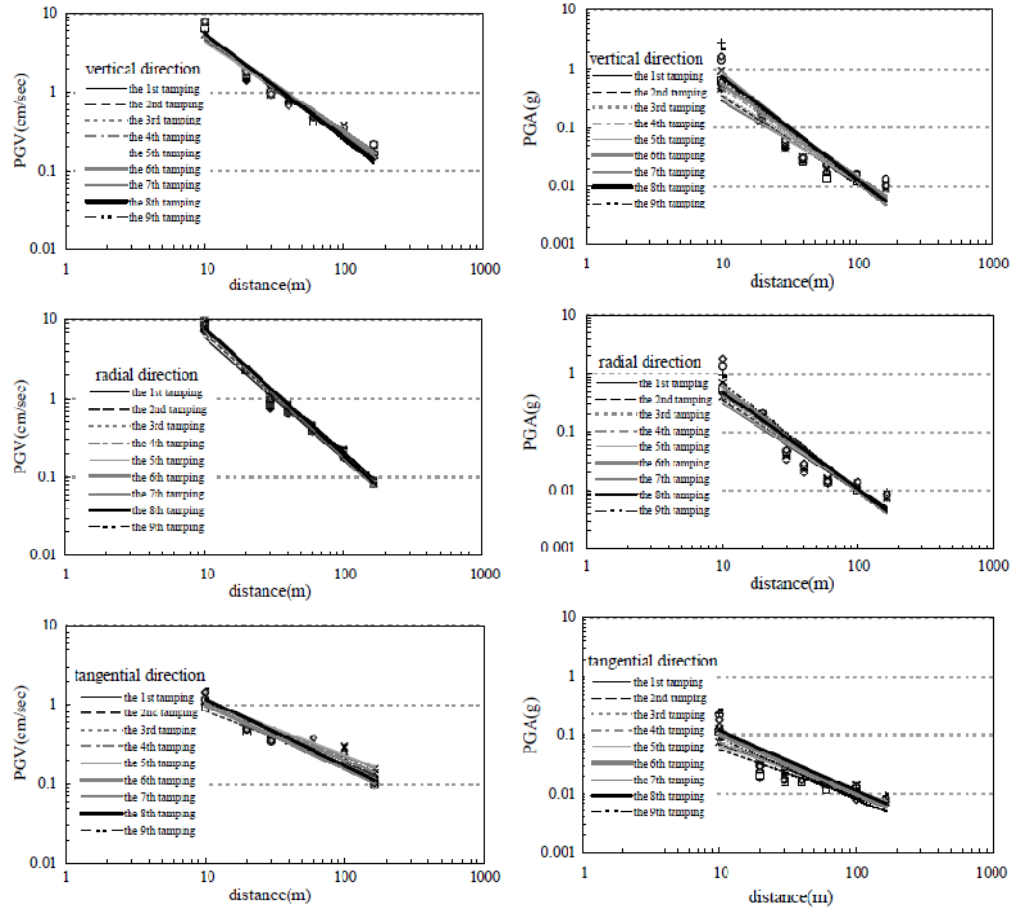
5.1.3 Pik zemin hızın (PGV) ve pik zemin ivmesinin (PGA) sönümlenmesi

Şekil 5.9 PGV ve PGA'nın ardı ardına yapılan dokuz sıkıştırma işlemi esnasında her üç yönde farklı mesafelerdeki sönümlenme ilişkisini göstermektedir. Her sıkıştırma işleminin sebep olduğu titreşimlerin sönümlenme ilişkilerinin neredeyse aynı olduğu ve dinamik kompaksiyon titreşimlerinin karakterinin güvenilir bir şekilde tekrarlanabilir olduğu görülmektedir.

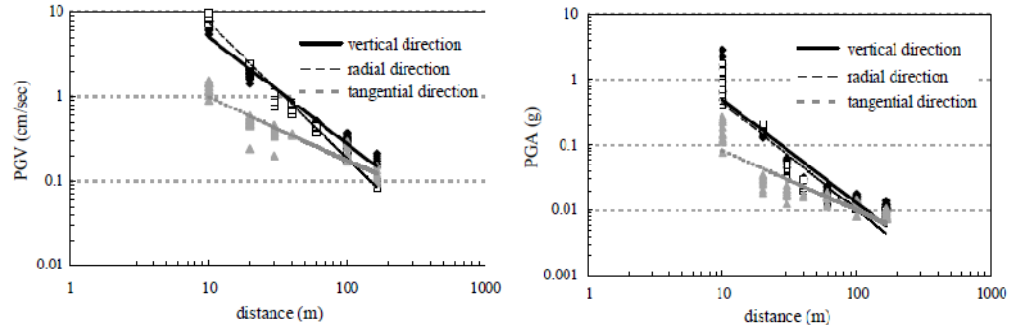


Şekil 5.8 : Üç yöndeki normalize ivme davranış spektrumları (Hwang ve Tu, 2006).

Her üç yöndeki ortalama sönümlenme ilişkilerinin ortalamaları Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Yakın mesafede düşey ve radyal yönlerdeki titreşimlerin teğete göre daha büyük olduğu görülmüştür. Mesafeye bağlı sönümlenme oranı radyal yönde en büyük, düşey yönde biraz daha az ve teğet yönde en düşüktür. 100 m'den büyük mesafede ise her üç yönün de değerleri neredeyse eşitlenmektedir. Bu sönümlenme

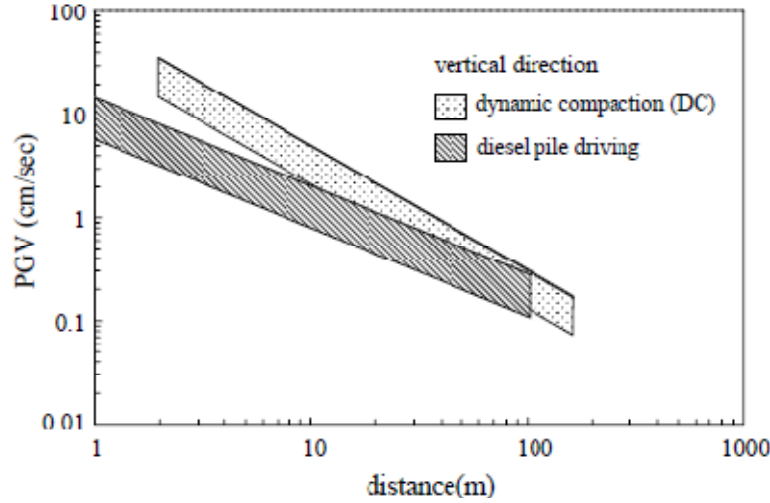


Şekil 5.9 : Üç yönde PGV ve PGA'nın sönümlenmesi (Hwang ve Tu, 2006).



Şekil 5.10 : Üç yönde PGV ve PGA'nın sönümlenme ortalamalarının karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).

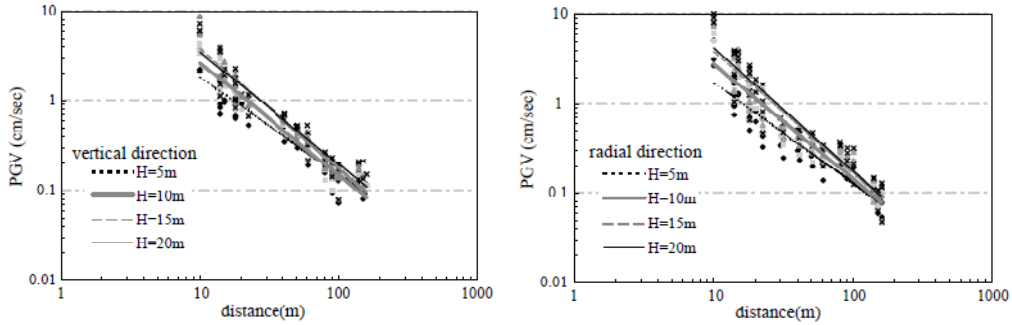
ilişkisi ile aynı sahada yapılmış olan dizel kazık çakma makinesinin sönümlenme ilişkisinin karşılaştırılması Şekil 5.11'da gösterilmiştir. Bunun sonucunda dinamik kompaksiyonun dizel kazık çakma makinesinden daha büyük titreşimlere yol açtığı fakat daha hızlı sönümlendiği bulunmuştur.



Şekil 5.11 : Dizel kazık çakma makinesi ile dinamik kompaksiyonun karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).

5.1.4 Farklı sıkıştırma enerjileri

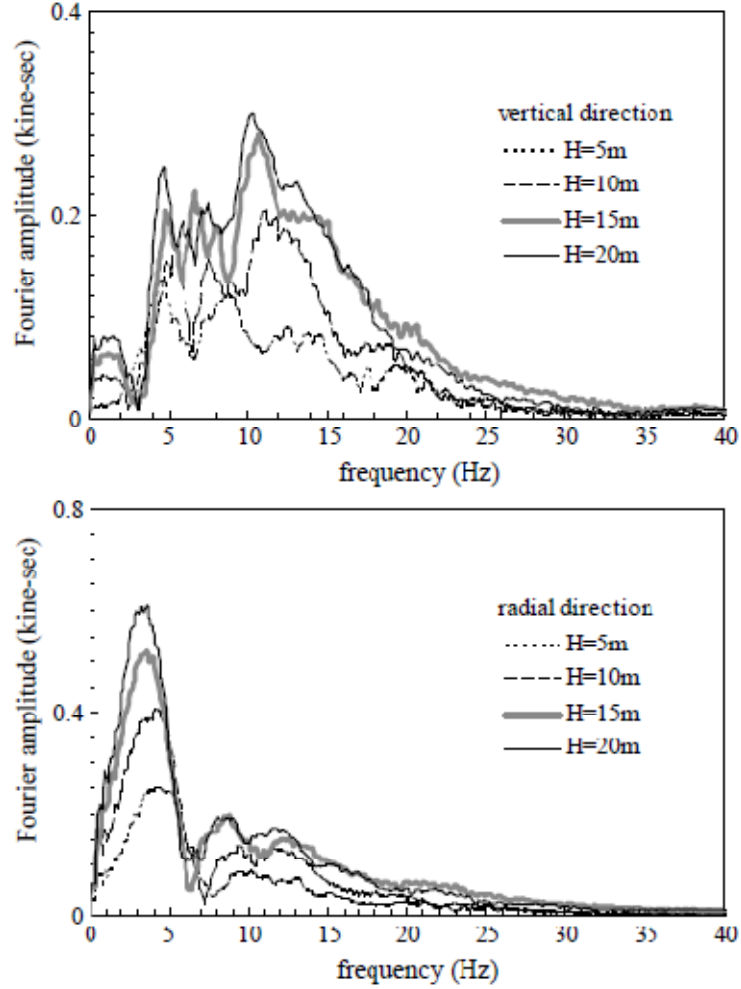
Farklı sıkıştırma enerjileri arasındaki ilişkinin gözlenmesi için 20, 15, 10 ve 5 m düşürme yüksekliği olmak üzere dört durum incelenmiştir. Şekil 5.12 farklı düşürme yüksekliklerinde meydana gelen PGV'nin mesafe ile sönümlenme ilişkilerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Yüksek sıkıştırma enerjisinin daha büyük titreşimlere yol açtığı fakat daha hızlı sönümlendiği bulunmuştur.



Şekil 5.12 : Farklı sıkıştırma enerjilerinde PGV'nin sönümlenmesinin karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).

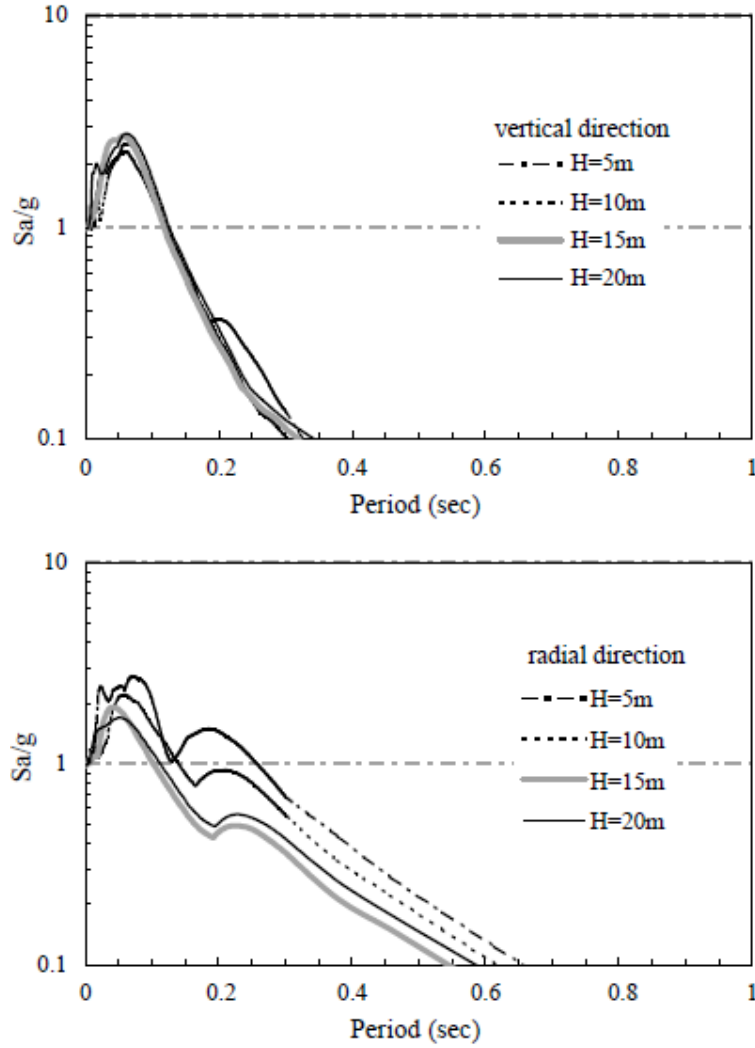
Şekil 5.13 farklı düşürme yükseklerinde meydana gelen titreşimlerin 10 m mesafedeki Fourier Spektrumlarını karşılaştırmaktadır. Spektral şekillerinin benzer olduğu ve büyük sıkıştırma enerjisinin sebep olduğu titreşimin daha büyük spektral değere sahip olup baskın frekansının daha net olduğu görülmüştür. 15 ve 20 m düşürülme yüksekliklerinin sönümlenme ilişkileri ve spektral şekilleri arasındaki fark daha azdır. Bunun nedeni zeminin titreşim enerjisini sönümlendirmesinin bir sınırı

olması olabilir. Düşürme yüksekliği belli bir limitin üstünde olduğu durumlarda meydana gelen titreşimlerin önemli bir farkı bulunmamaktadır. Bu çalışmada limit yükseklik 15 m olarak görülmektedir.



Şekil 5.13 : Farklı sıkıştırma enerjilerinde 10 m mesafedeki Fourier Spektrumlarını karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).

Şekil 5.14 farklı düşürme yüksekliklerinde meydana gelen titreşimlerin 10 m mesafede düşey yöndeki davranış spektrumlarını karşılaştırmaktadır. Farklı sıkıştırma enerjilerinde ortalama spektrum şekillerinin çok yakın olduğu ve spektral piklerin çoğunlukla yapısal periyodun 0,15 s ‘den küçük olan aralıkta meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 5.14 : Farklı sıkıştırma enerjilerinde 10 m mesafedeki davranış spektrumlarının karşılaştırılması (Hwang ve Tu, 2006).

5.2 Paul V. Mayne (1985)

5.2.1 Zemin titreşimi verileri

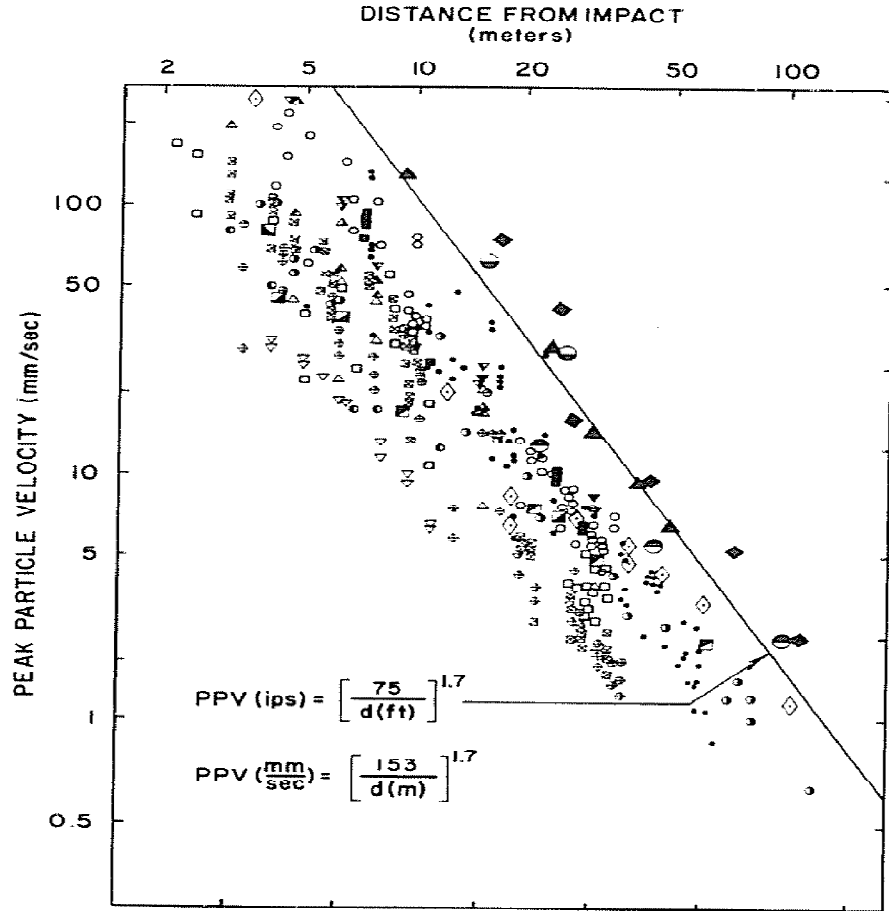
Bu çalışma on iki farklı dinamik kompaksiyon sahasından alınmış olan titreşim kayıtlarının derlenmesiyle meydana getirilmiştir. Bu kayıtlardan beş tanesi bizzat Paul V. Mayne tarafından gözlemlenmiştir. Geriye kalan yedi kayıt diğer yazarlar tarafından yapılan rapor ve makalelerden alınmıştır. Çalışma sahaları doğal kum tabakası üzerine yapılmış olan kaba daneli dolgu tabakası ile kaplı olması önemli bir husustur. İki saha hariç diğer sahalarda yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu vurgulanmaktadır. Yazar tarafından alınan kayıtlar doğrusal vektörel toplam (TVS) cinsinden ifade edilmiştir. Diğer çalışmalardan alınan partikül hızlarının büyük

ihtimalle tekil pik bileşenler yada TVS cinsinden ifade edilmişlerdir. Bu nedenle meydana gelebilecek hatalar verilerin farklı biçimlerde karşılaştırılması esnasında ortaya çıkmıştır.

Çalışmalarda düşürülen ağırlıklar 3,10 ile 40,50 ton arasında değişmektedir. Düşürme yükseklikleri ise 1,50 m ile 30,50 m arasında değişmektedir. Toplam teorik düşürme enerjileri (WH) 8 ile 1235 ton-metre arasındadır. Teknik olarak bakıldığında hepsi 12 MN-m 'den büyüktür.

Bütün çalışma sahalarında kaldırma – düşürme işlemi için geleneksel paletli vinçler kullanılmıştır. Düşürülen ağırlıklar ya çelik ya da çelik – beton kompozitinden yapılmıştır.

Meydana gelen zemin titreşimlerinin genlikleri kaynaktan uzaklaştıkça sönümlenmektedir. Şekil 5.15 bütün sahalardan alınan pik partikül hızlarının mesafe ile nasıl değiştiğini karşılaştırmaktadır. Titreşim ölçümleri en yakın 2,13 m ve en



Şekil 5.15 : 12 dinamik kompaksiyon sahasından alınan PGV'lerin mesafe ile sönümlenmelerinin karşılaştırılması (Mayne, 1985).

uzak 121,92 m 'de alınmıştır. Bu verilere dayanarak yapılacak çalışmalar öncesinde meydana gelebilecek titreşimlerin üst sınırının tayininde kullanılabilecek;

$$PPV(mm / s) = \left(\frac{153}{d(m)} \right)^{1,7} \quad (5.1)$$

eşitliği elde edilmiştir. Bu eşitlik dinamik kompaksiyon esnasında uygulanacak enerjiyi hesaba katmamaktadır. Ayrıca veriler kaba daneli dolgu kaplı bölgelerde yapılmış çalışmalardan türetilmiştir. Killi zeminler, değişik dolgu malzemesi, daha karmaşık tabakalaşma, yüzeye yakın kaya tabakası ya da başka farklılıklar nedeni ile uygulamada farklı sonuçlara sebep olabilir.

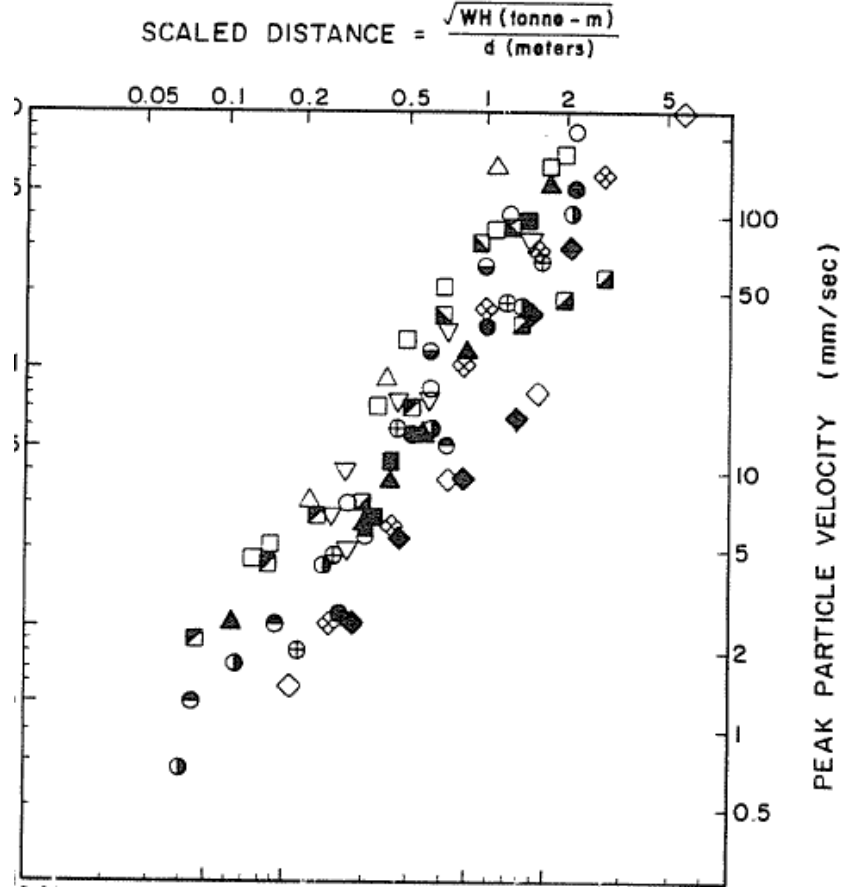
Dinamik kompaksiyon limitleri içerisinde titreşim seviyelerinin sıkıştırılan bölge sıkıştıkça arttığı gözlemlenmiştir. Genelde birinci veya ikinci düşürülmeden sonra titreşim seviyesi en yüksek değeri almaktadır.

5.2.2 Ölçeklendirilmiş mesafe verileri

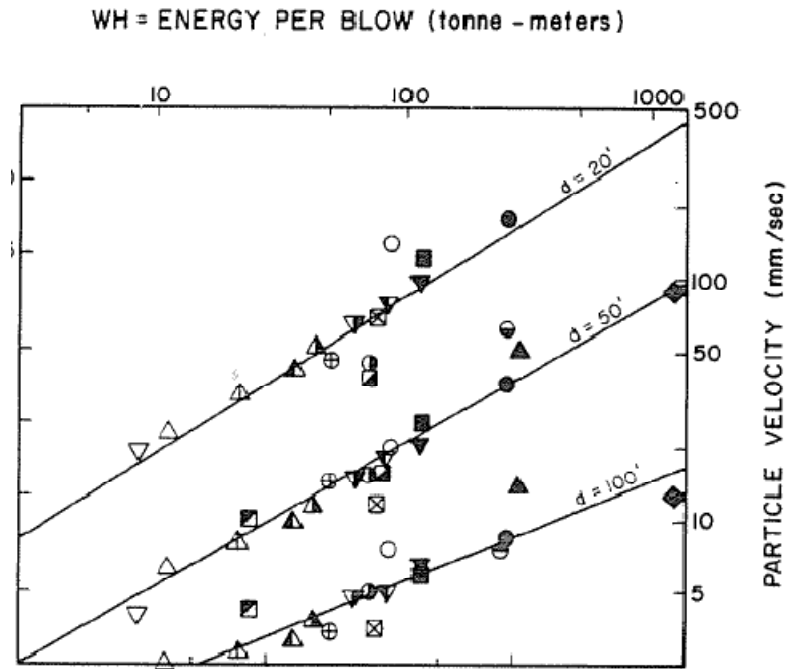
Partikül hızlarının gösterilmesinde sıklıkla ölçeklendirilmiş mesafe kullanılır. Genelde ölçeklendirilmiş mesafe eksenini uygulanan enerjinin karekökünün kaynaktan olan mesafeye oranıdır. En büyük partikül hızlarının ölçeklendirilmiş mesafeye göre sönümlenme ilişkisi Şekil 5.16 da özetlenmiştir. Bu durum için elde edilen üst seviye eşitliği;

$$PPV(mm / s) = 92 \left(\frac{\sqrt{WH}}{d(m)} \right)^{1,7} \quad (5.2)$$

şeklinde bulunmuştur. Türetilen bu eşitlik yüksek enerji ile yapılmış olan sıkıştırmalar için uygun görünmektedir. Bunun nedeni sahalar arasında belirli farklar olmasına rağmen yakın sonuçlar çıkmasıdır. Pik partikül hızının birkaç farklı mesafede WH ile nasıl değiştiği logaritmik eksenlerde Şekil 5.17 da verilmiştir. Görünüşe göre kaynaktan uzaklaştıkça üstel mertebe de azalmaktadır. 6,00 m 15,00 m ve 30,00 m mesafelerde sırası ile enerji seviyeleri $(WH)^{0,6}$, $(WH)^{0,5}$ ve $(WH)^{0,4}$ şeklinde azaldığı görülmüştür. İdealize işlemi sırasında dışarıda kalan noktalar plastik şekil değiştirme, malzeme sönümlemesi, geometrik sönümleme, stratigrafi ve diğer olaylar kaynaklı faktörlerden kaynaklanabilir.



Şekil 5.16 : PGV'nin ölçeklendirilmiş mesafeye göre sönümlenme ilişkisi (Mayne, 1985).



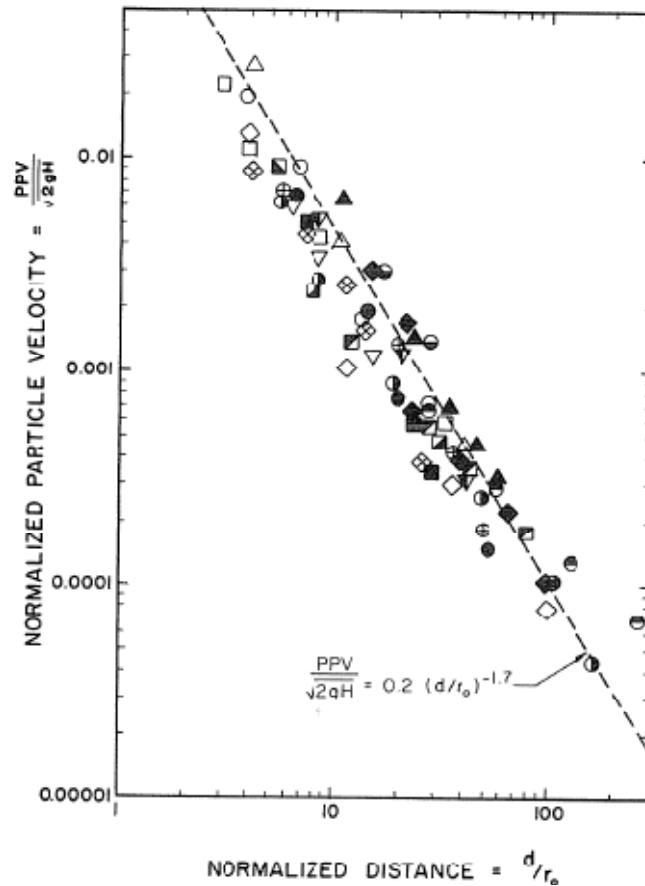
Şekil 5.17 : PGV'nin farklı mesafelerde WH'ye göre değişimi (Mayne, 1985).

Gerçekte düşürme sistemindeki sürtünmeler nedeni ile kusursuz bir serbest düşme gerçekleşmemektedir. Bunun anlamı her bir düşürmede ortaya çıkan toplam enerji WH 'den küçüktür. Bunun gibi birçok faktör hesaba katıldığında daha kapsamlı olarak;

$$PPV = A_0 W^a H^b / d^c \quad (5.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlikteki A_0 , a , b ve c değerleri sabit olmayıp saha tipi ve çalışmayı yapan makinenin tipine bağlı olarak değişmektedir.

Yeni bir yaklaşımla normalize titreşim seviyesinin (partikül hızının teorik çarpma hızına oranı) mesafenin ağırlık çapına göre normalize edilmiş hali (d/r_0) ile ilişkisi Şekil 5.18 da gösterilmiştir. Görülüyor ki bu ampirik yaklaşımla doğrusal bir ilişki



Şekil 5.18 : Normalize titreşim seviyesinin mesafenin ağırlık çapına göre normalize edilmiş hali (d/r_0) ile ilişkisi (Mayne, 1985).

ortaya çıkmıştır, ancak tesadüfi de olabilir. Meydana gelebilecek maksimum partikül hızları çarpma anında ağırlığın üzerinde olacaktır. Doğrusallaştırma sonucunda partikül hızının sönümlenmesi;

$$PPV = 0,2\sqrt{2gH} (d / r_0)^{-1,7} \quad (5.4)$$

şeklinde elde edilir.

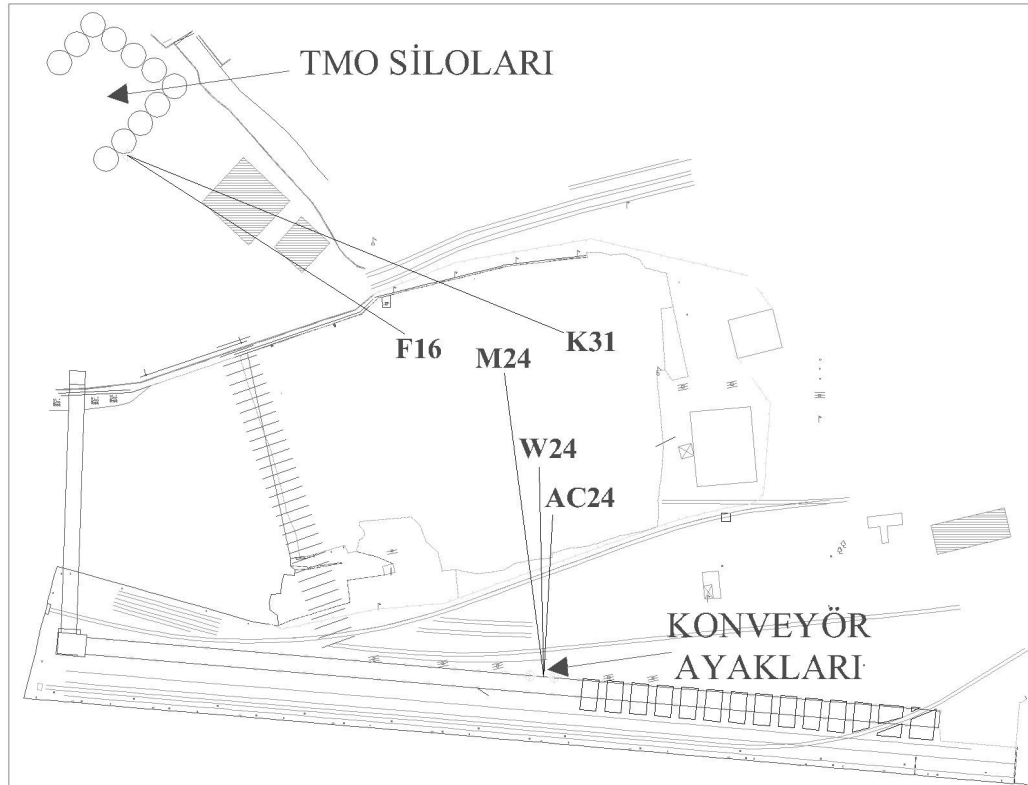
6. TİTREŞİM KAYITLARI ve KAYITLARIN ANALİZİ

6.1 Mikrotremor Ölçümlerinin Yerleşimi

Çalışmada kullanılan mikrotremor ölçümleri sahanın kuzeyinde bulunan TMO silolarında ve sahanın güneyinde bulunan konveyör ayaklarında olmak üzere iki farklı doğrultuda alınmıştır. Ölçümlerin mesafeleri Çizelge 6.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.1 : Ölçümlerin kaynaktan uzaklıkları.

Ölçüm Yeri	Sıkıştırma Noktası	Mesafe (m)
Konveyör Ayakları	AC24	66,30
Konveyör Ayakları	W24	85,08
Konveyör Ayakları	M24	124,00
TMO Siloları	F16	133,18
TMO Siloları	K31	189,17



Şekil 6.1 : Sıkıştırma noktaları ve ölçüm yerlerinin yereşimi.

6.2 Mikrotremor Kayıtlarının İşlenmesi

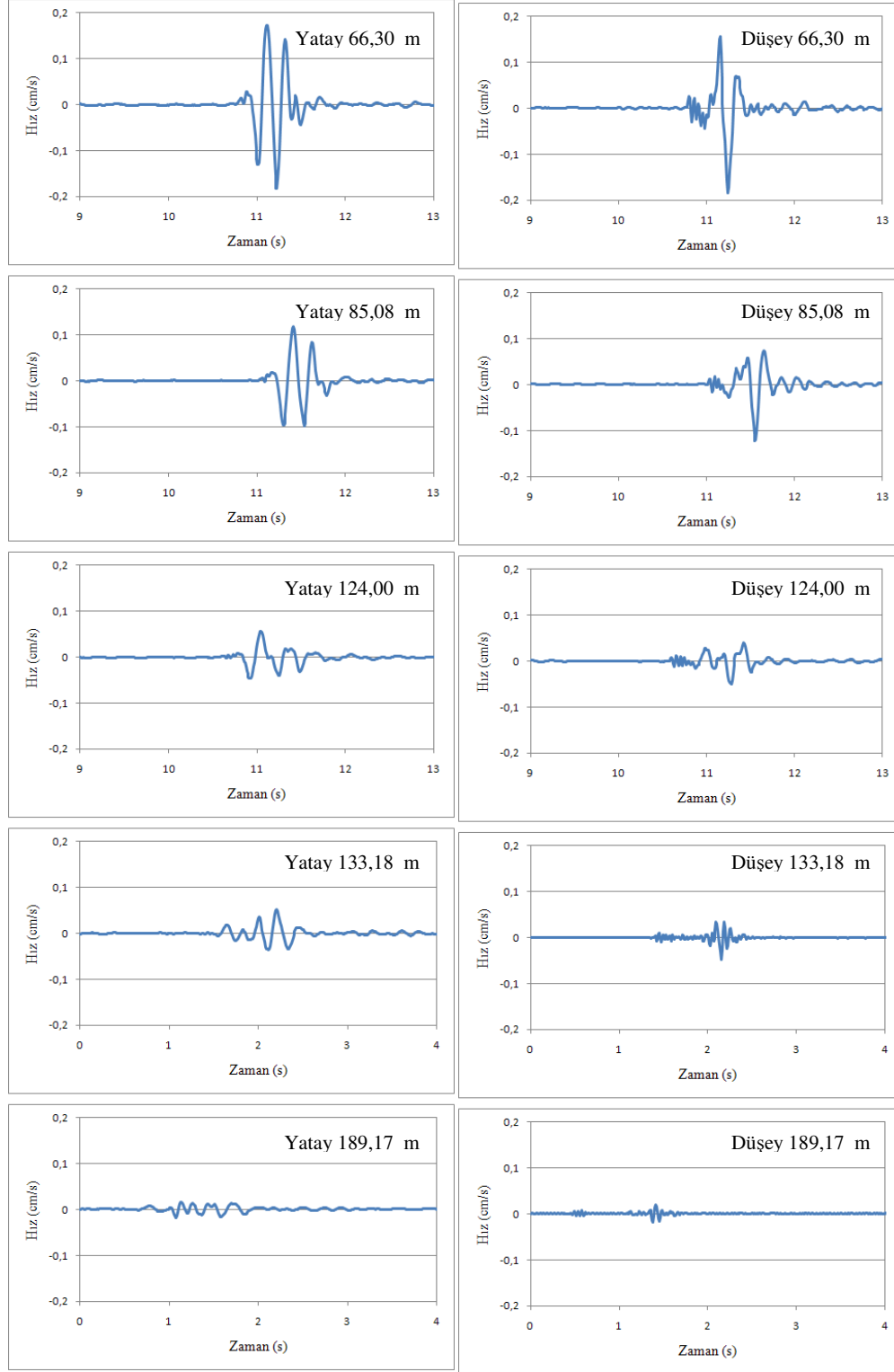
Mikrotremor, kayıtları ikilik düzen denilen 1 ve 0'lardan oluşan bilgisayar dilinde kayıt almaktadır. Kayıtlar bu şekil kullanılamayacağından dolayı anlamlı hale getirilmesi amacı ile bazı işlemler uygulanmıştır.

Öncelikle kayıtlar DRM2.EXE adlı program ile ikilik düzenden ASCII düzene çevrildi. ASCII düzen bilgisayarlarda anlamlı olarak görünen karakterlerin bütünüdür. Elde edilen kayıtlar Doç. Dr. Ercan Yüksel tarafından FORTRAN'da yazılmış olan DONUS29.EXE adlı program ile tekrardan dönüştürülmüştür. Bu programda kanal sayısı, alınan kayıt sayısı, örnekleme frekansı, ölçüm yapılan voltaj, kalibrasyon eş değeri katsayısı, kalibrasyon sırasındaki küçültme katsayısı, kalibrasyon sinyal genliği ve ölçüm küçültme katsayısı gibi girdiler girilerek kayıtlar santim ve saniye cinsinden kullanılabilir hale getirilmiştir.

6.3 Titreşim Verilerinin Karakteri

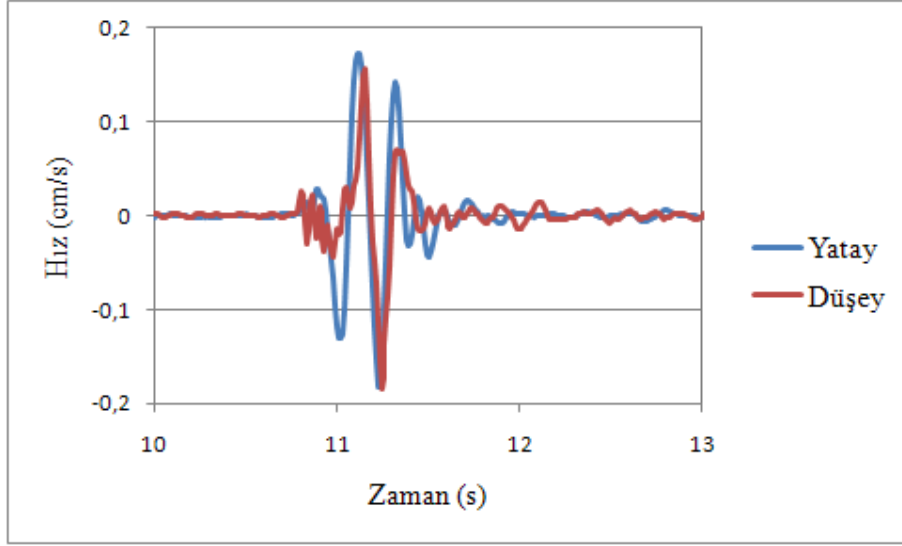
Çalışmada kullanılan titreşim verileri yatay ve düşey doğrultularda olup kayıtlar hız cinsinden alınmışlardır. Şekil 6.2'de 22 m yükseklikten 12,5 tonluk kütlenin düşürülmesi sonucu meydana gelen titreşimlerin mesafe ile değişimi yatay ve düşey doğrultulardaki zamansal geçmişleri ile gösterilmiştir. Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında da gördüğümüz gibi darbe yükleriyle oluşan bu dalgaların formları genel anlamda bu şekildedir. Açıkça görülüyor ki her iki doğrultuda da titreşimler kaynaktan uzaklaştıkça sönümlenmektedirler. Ayrıca zamansal geçmişlerde ön kısımlarda bulunan yüksek frekanslı piklerin devamındaki düşük frekanslı piklerden daha hızlı sönümlendiği görülmektedir. Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında bütün yönlerdeki titreşim süreleri için 0,1 ile 0,3 saniye arasında olduğu belirtilirken bu çalışmada titreşim süreleri 0,5 ile 1,0 saniye arasında kalmaktadır.

Şekil 6.3 kaynaktan 66,30 m mesafedeki yatay ve düşey doğrultudaki hız dalga formlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Görülüyor ki yatay ve düşey doğrultularda titreşim genlikleri oldukça yakındır. Bu tür bir benzerlik Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında da belirtilmiştir. Bunun yanında teğet yöndeki titreşim genliklerinin yatay ve düşey yöndekilerden çok daha düşük olduğunu da belirtmişlerdir.



Şekil 6.2 : Yatay ve düşey yöndeki hız zamansal geçmişlerin mesafe ile değişimi.

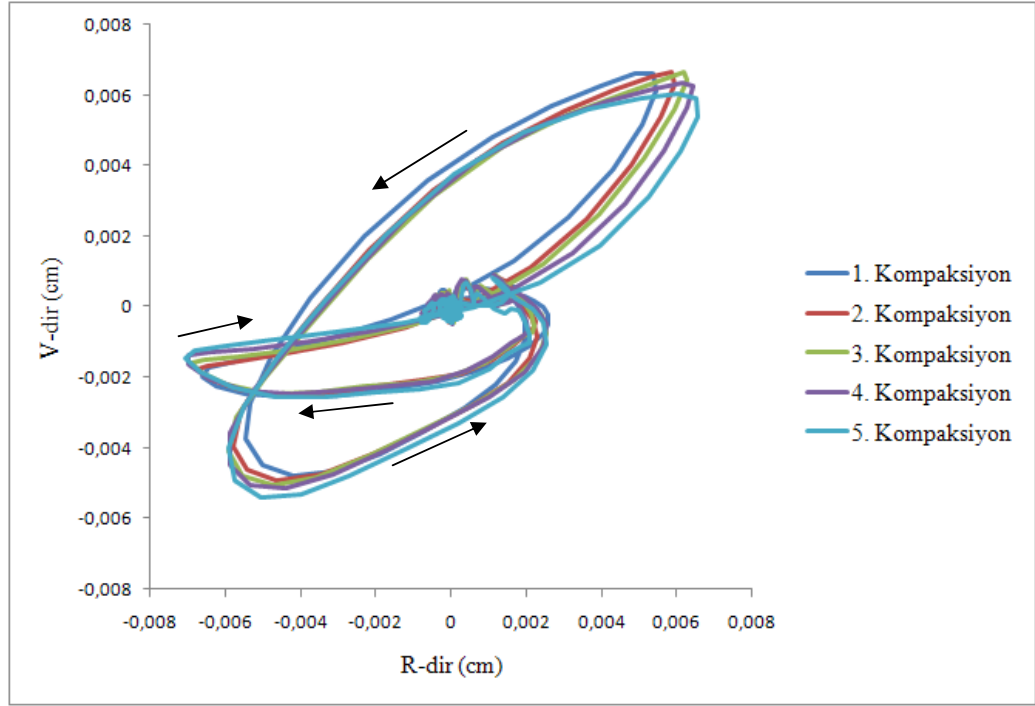
Çalışmada teğet yönde alınan kayıtların bulunduğu ölçümler kullanılmadığı için bu karşılaştırma yapılamamıştır.



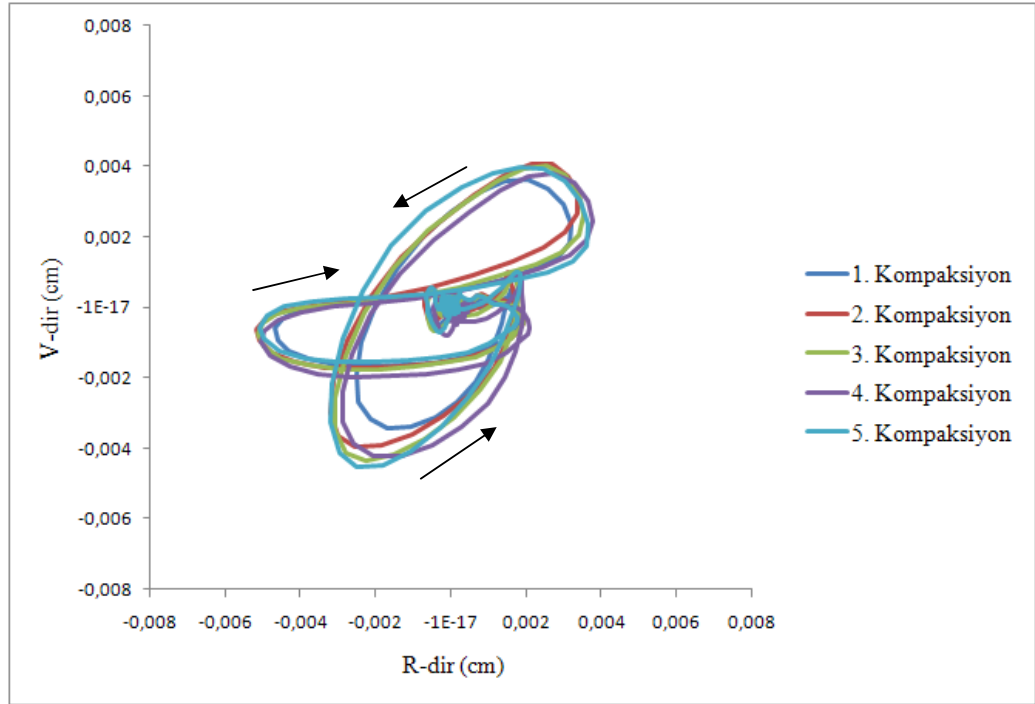
Şekil 6.3 : Kaynaktan 66,30 m mesafede meydana gelen titreşimlerin yatay ve düşey yöndeki hız zamansal geçmişlerinin karşılaştırılması .

Sahada alınan hız ölçümleri türev ve integrasyon işlemleriyle ivme ve yer değiştirme cinsine dönüştürülmüştür. Bu çevirme işlemi yapılırken SeismoSoft firması tarafından geliştirilen SeismoSignal v4.3.0 adlı programdan yardım alınmıştır. Programa girdi olarak sadece ivme kaydı verebildiğimizden EXCEL programı ile seri halde dönüştürülen kayıtlar ardından SeismoSignal v4.3.0 ile kontrol edilmiştir.

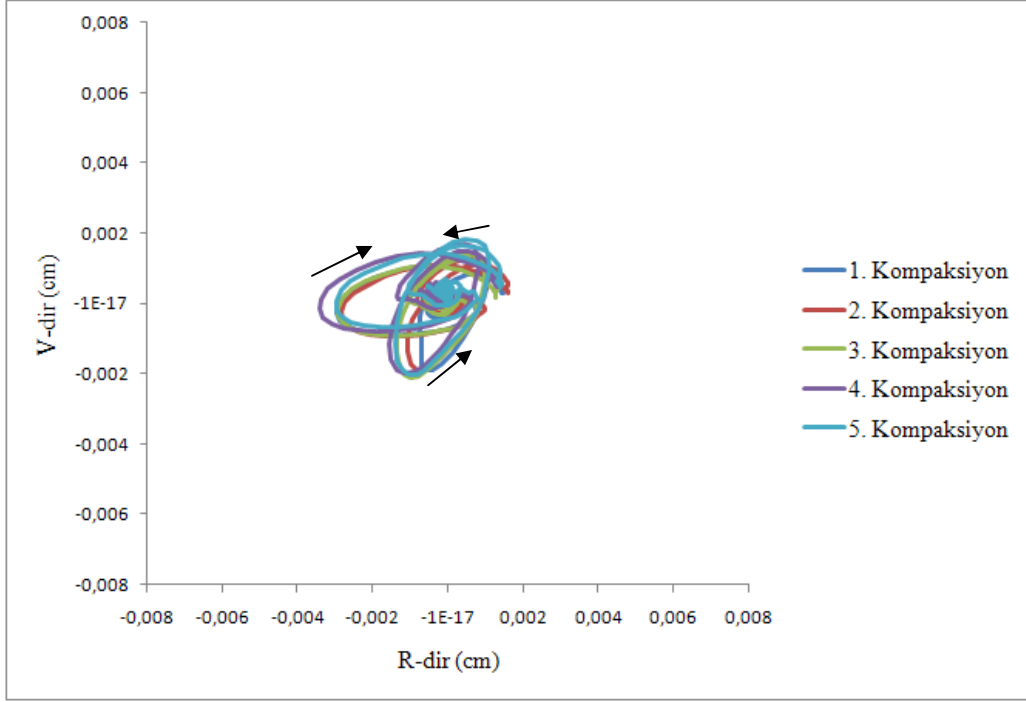
Şekil 6.4 ,Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da sırasıyla kaynaktan 66,30 m , 85,08 m ve 124,00 m uzaklıktaki partiküllerin hareketlerinin izlediği yol görülmektedir. Şekillerde yatay eksen yatay yöndeki yer değiştirmeyi gösterirken düşey eksen düşey yöndeki yer değiştirmeyi göstermektedir. Hwang ve Tu’nun (2006) çalışmasında da vurgulandığı gibi partikül hareketi saatin ters yönünde gerçekleşmektedir. Ayrıca tekrarlanan kompaksiyon işlemleriyle karşılaştırıldığında hareketin karakterinde bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Fakat Hwang Tu’nun çalışmasında gözlenen saf hareketin karakteri burada görülmemektedir. Bunun sebebi burada kayıt alınan noktada doğrudan zemin koşulları değil çift taraflı bir rıhtım yapısı üzerinde kayıt alınması olabilir. Kayıtlar bu etkiyi taşıyor olabilir.



Şekil 6.4 : Kaynaktan 66,30 m uzaklıktaki partikül hareketinin izlediği yol.



Şekil 6.5 : Kaynaktan 85,08 m uzaklıktaki partikül hareketinin izlediği yol .

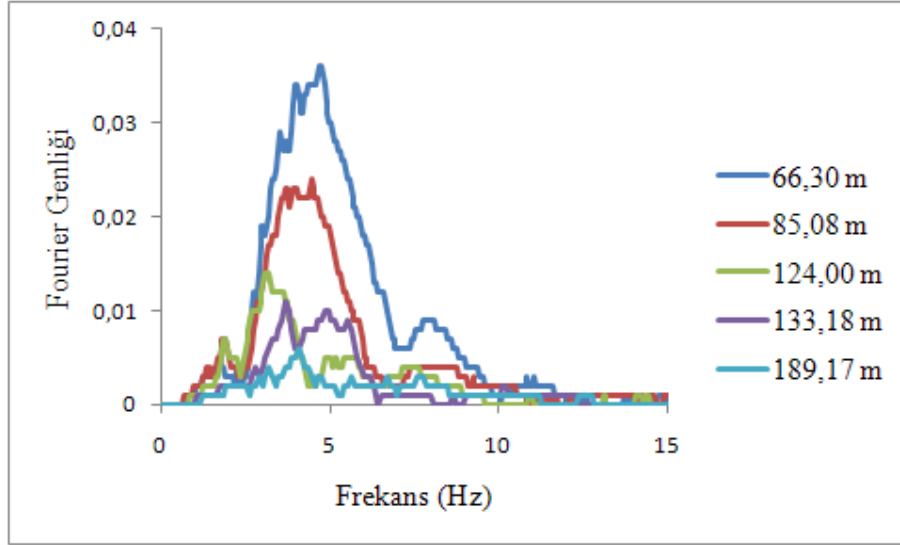


Şekil 6.6 : Kaynaktan 124,00 m uzaklıktaki partikül hareketinin izlediği yol .

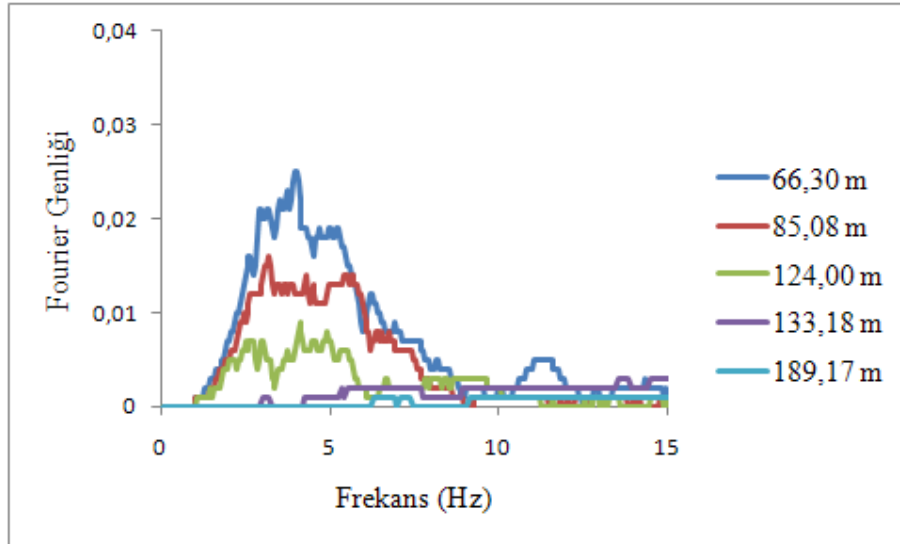
6.4 Fourier ve Davranış Spektrumları

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 standart sıkıştırma enerjisi altında kaynaktan farklı uzaklıklardaki yatay ve düşey yönlerdeki Fourier Spektrumlarını göstermektedir. Spektrumlar SeismoSignal v4.3.0 programına yardımı ile girdi olarak hız kaydı kullanılması ile oluşturulmuştur. Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında da belirtildiği gibi aynı yönde farklı uzaklıklarda bulunan spektrumların şekillerinin benzer olduğu ve neredeyse frekans içeriklerinin aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca kaynağa yakın olanın spektrumu uzakta olana göre daha göze çarpan baskın frekans aralığına ve büyük pik genliğe sahip olduğu belirtildiği gibi gözlemlenmektedir. Hwang ve Tu bunun sebebini darbeden kaynaklanan enerjinin yakın mesafede odaklanması ve farklı zemin tabakalarından yansıması olarak açıklamıştır. Daha önce de belirtildiği gibi aynı mesafede yatay yöndeki titreşimler aynı frekans aralıklarındaki genlikleri düşeye göre daha yüksek olduğu burada da görülmektedir. Uzak mesafede bulunan titreşim kaydı için açık bir baskın frekans bandının ve pik genliğinin bulunmadığı görülmektedir. Şekil 6.9 kaynaktan 66,30 m mesafede meydana gelen titreşimlerin yatay ve düşey bileşenlerinin Fourier Spektrumlarının karşılaştırmasını göstermektedir. Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasının aksine bazı

farklılıklar görülmesine rağmen baskın frekans aralıklarının benzer olduğu görülmektedir. Ayrıca düşey yöndeki piklerin daha düşük olduğu görülmektedir.

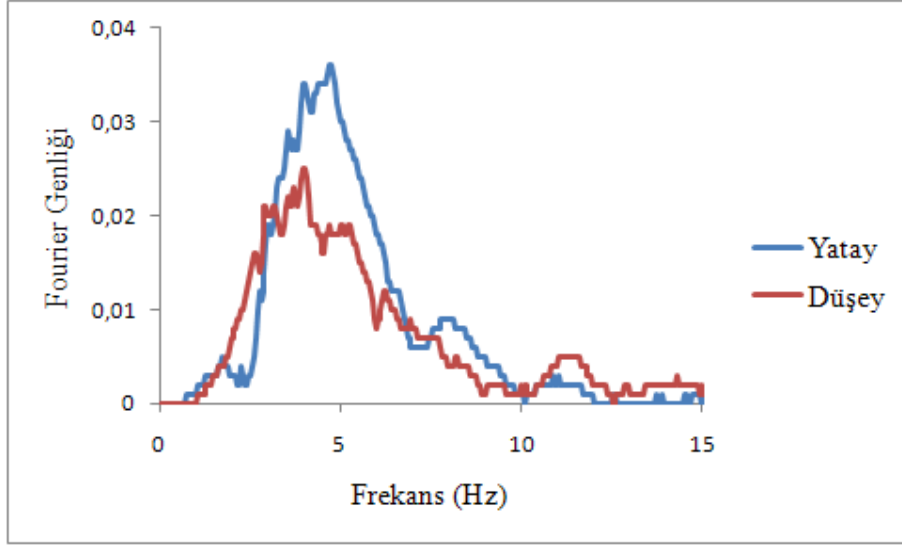


Şekil 6.7 : Yatay yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması.



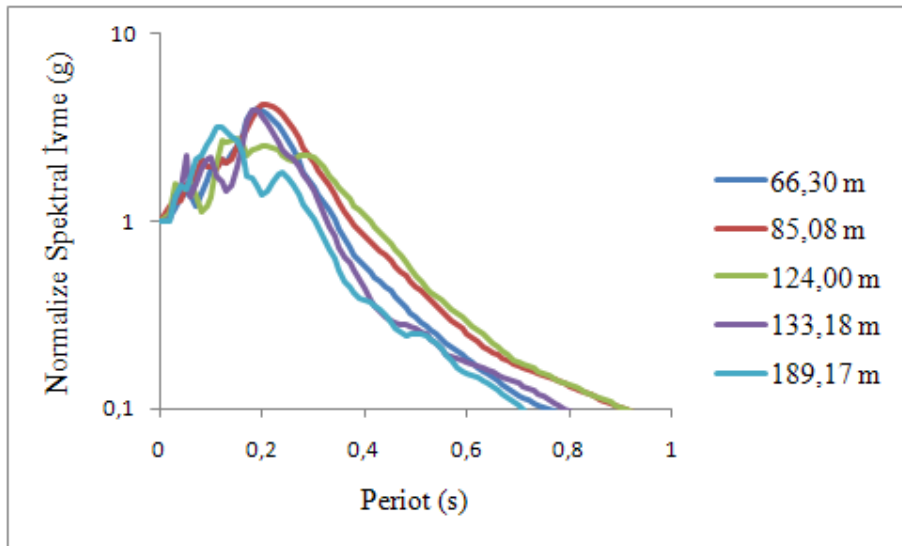
Şekil 6.8 : Düşey yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması.

Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 standart sıkıştırma enerjisi altında kaynaktan farklı uzaklıklardaki yatay ve düşey yönlerdeki normalize ivme davranış spektrumlarını göstermektedir. Spektrumlar SeismoSignal v4.3.0 programına yardımı ile girdi olarak ivme kaydı kullanılması ile oluşturulup ardından her spektrumun başlangıç değerine bölünerek normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Hwang ve Tu'nun çalışmasında belirttiği gibi her iki yöndeki spektrumların şekillerinin benzer olduğu ve spektral değerler kaynağa yakın olanlarda uzak olanlara nazaran kısa periyot

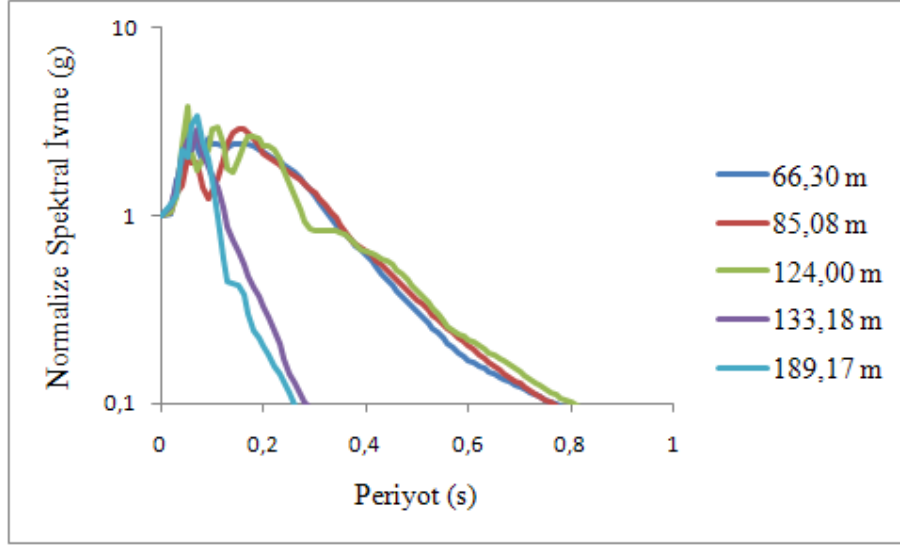


Şekil 6.9 : Yatay ve düşey yöndeki Fourier Spektrumlarının karşılaştırılması.

aralıklarında daha büyük olmasına karşın uzun periyot aralıklarında daha küçük olduğu görülmektedir. Fakat bu çalışmada konveyör ayakları doğrultusunda alınan ölçümlerle TMO siloları doğrultusunda alınan ölçümler arasında bir farklılık gözlemlenmiştir. Spektral değerler uzun periyotlarda konveyör ayakları tarafındakiler daha yakın mesafede bulunmasına rağmen TMO siloları tarafındakilerden daha büyük olduğu görülmektedir. Her iki doğrultuda kendi içinde uzak mesafede bulunanlar uzun periyotlarda daha büyük değerler almaktadır. Özellikle dikey yönde bu fark daha iyi görülmektedir. Kısa periyotlar için ters bir durum gözlemlenmemiştir.



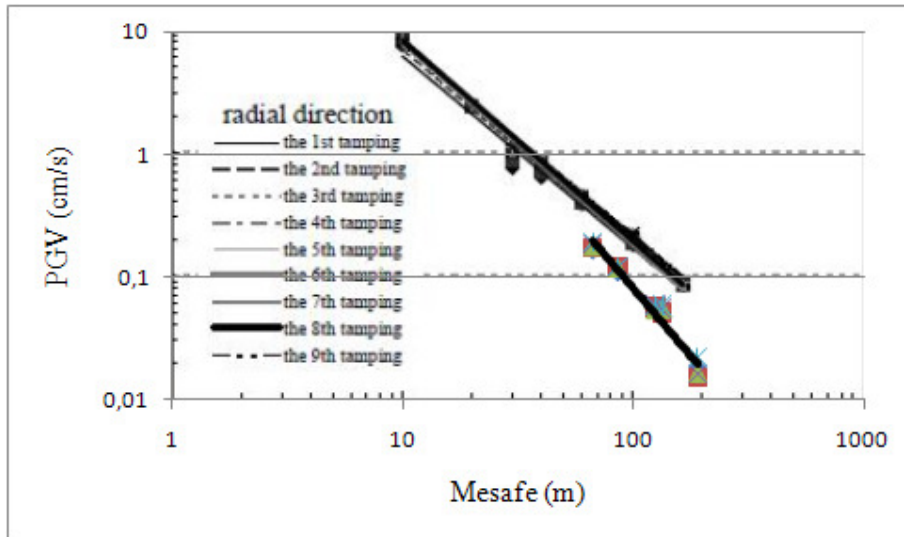
Şekil 6.10 : Yatay yöndeki ivme davranış spektrumlarının karşılaştırılması.



Şekil 6.11 : Düşey yöndeki ivme davranış spektrumlarının karşılaştırılması.

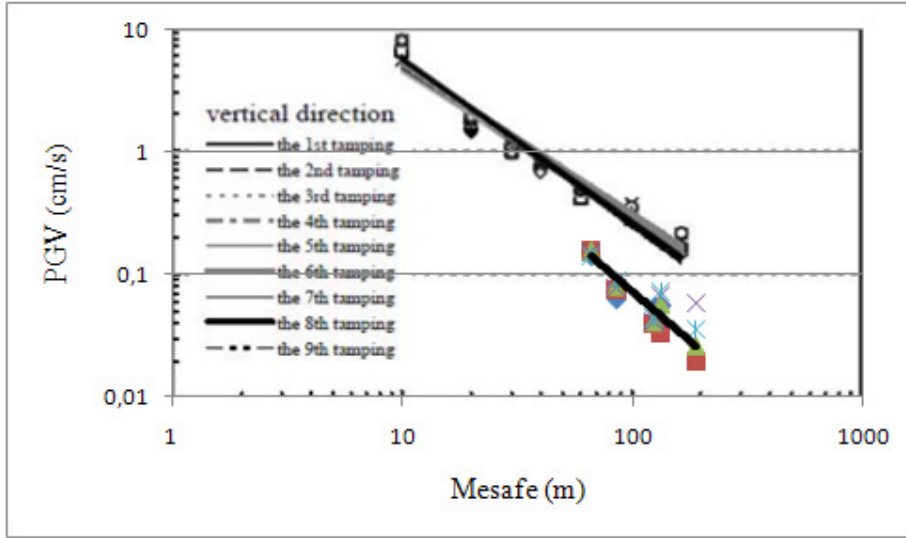
6.5 Pik Zemin Hızın (PGV) ve Pik Zemin İvmesinin (PGA) Sönümlenmesi

Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15 ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin yatay ve düşey yönde PGV ve PGA'sının mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Hwang ve Tu'nun (2006) da belirttiği gibi her sıkıştırma işleminin sebep olduğu titreşimlerin sönümlenme ilişkilerinin neredeyse

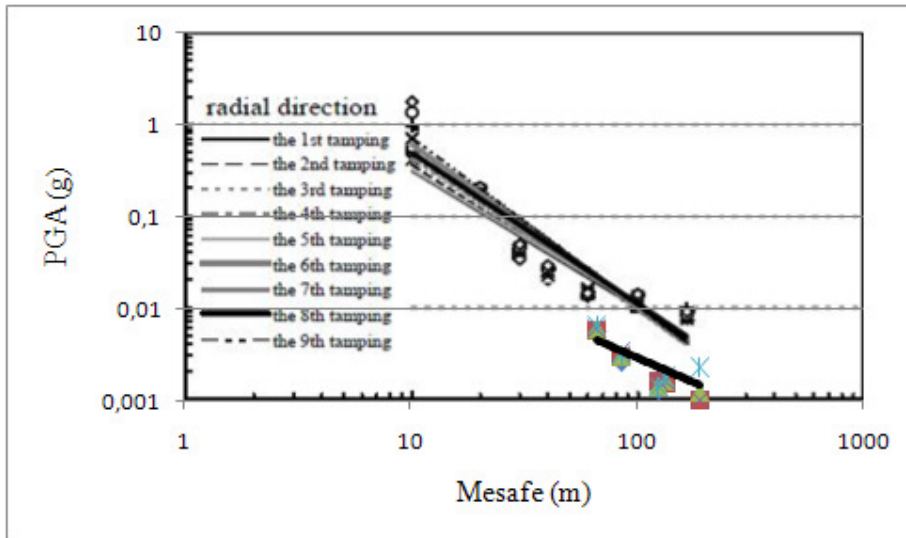


Şekil 6.12 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin yatay yönde PGV'sinin mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.

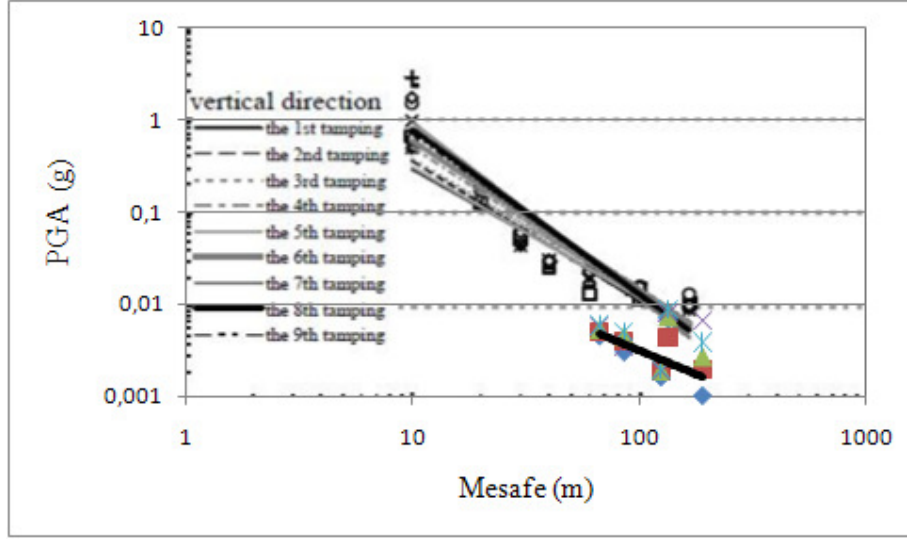
aynı olduğu ve dinamik kompaksiyon titreşimlerinin karakterinin güvenilir bir şekilde tekrarlanabilir olduğu görülmektedir. Her iki çalışma için de sönümlenme oranı aynı olduğu gözükmesine karşın aldıkları değerler olarak farklılıklar görülmektedir. Bunun sebebi zemin koşullarının ve kullanılan sıkıştırma enerjisinin farklı olmasıdır.



Şekil 6.13 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin düşey yönde PGV 'sinin mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.

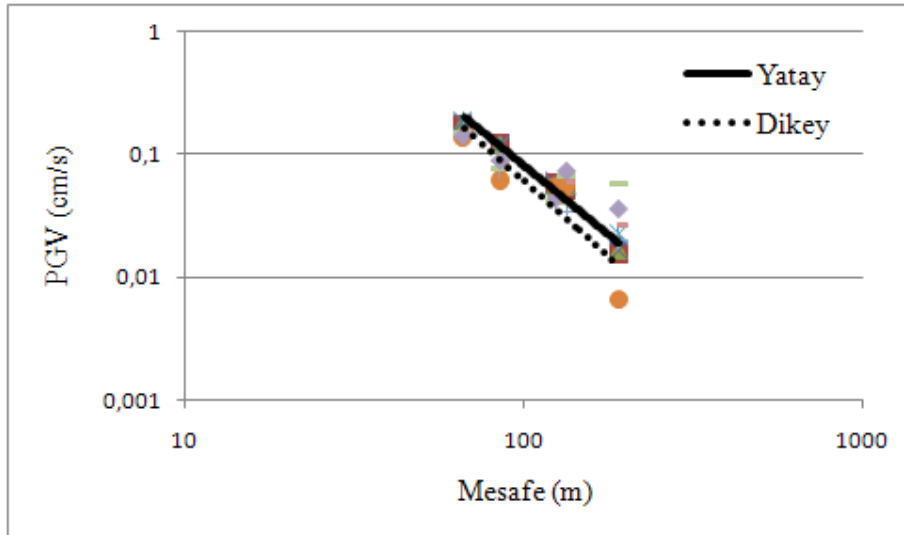


Şekil 6.14 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin yatay yönde PGA'sının mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.

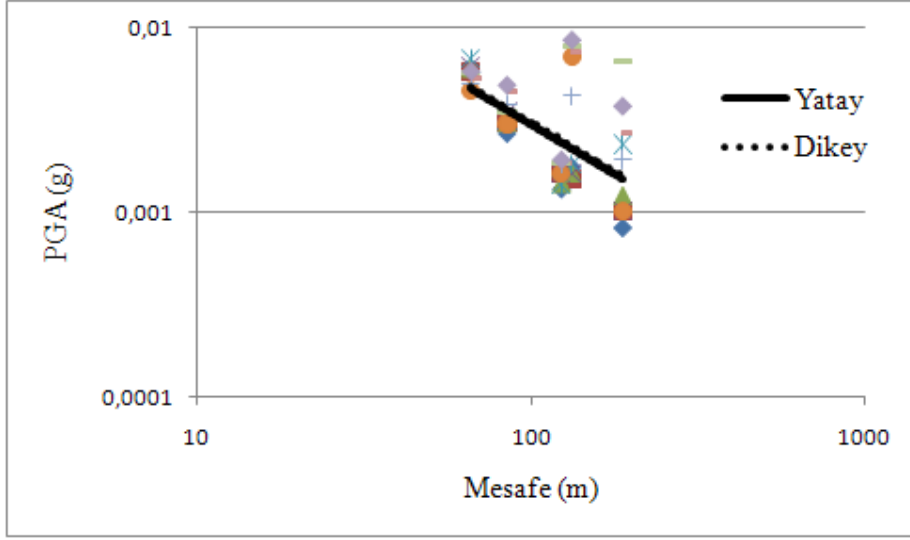


Şekil 6.15 : Ardı ardına yapılan beş kompaksiyon sonucunda ortaya çıkan titreşimlerin düşey yönde PGA'sının mesafe ile sönümlenme ilişkisinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışması ile karşılaştırılması.

Her iki yöndeki ortalama PGV ve PGA'nın sönümlenme ilişkilerinin karşılaştırılması Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Her iki yönde de ortalama PGV ve PGA'nın sönümlenme oranlarının paralellliği ve neredeyse eşitliği açıkça görülmektedir. Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında bu tür bir benzerliği 100 m'den daha uzak olan mesafeler için gözlemlemiştir.

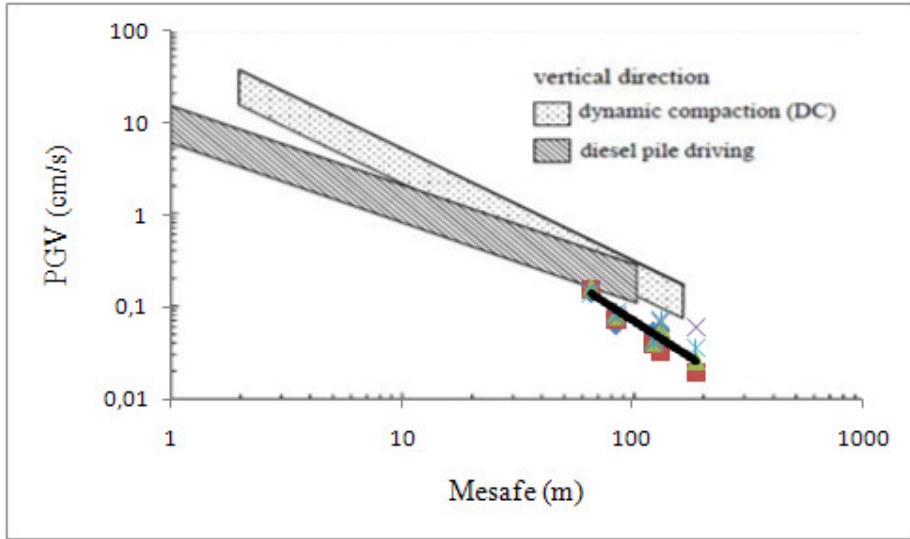


Şekil 6.16 : Her iki yöndeki ortalama PGV 'nin sönümlenme ilişkilerinin karşılaştırılması.



Şekil 6.17 : Her iki yöndeki ortalama PGA'nın sönümlenme ilişkilerinin karşılaştırılması.

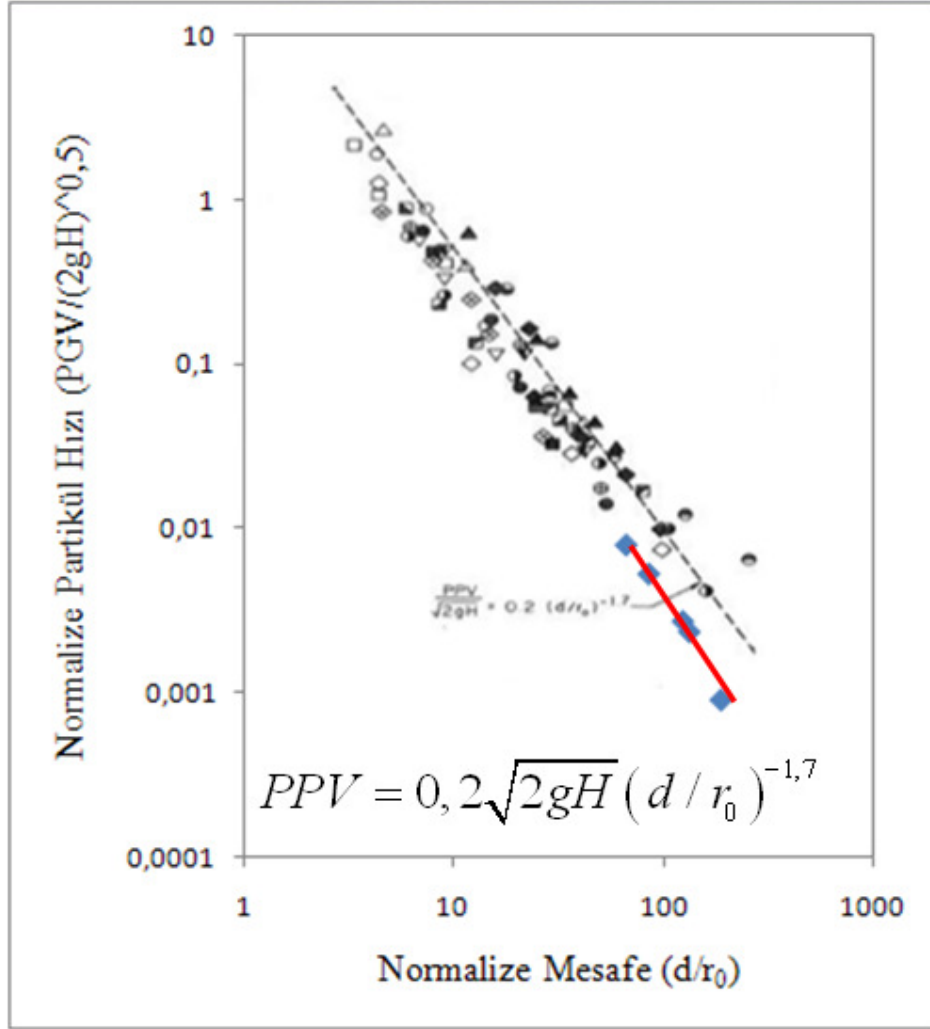
Şekil 6.18 dikey yöndeki dalga hızı sönümlenmesinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışma sahasında yapmış olduğu dizel kazık çakma makinesinin sebep olduğu titreşimlerin sönümlenmesiyle karşılaştırılmasını göstermektedir. Dizel kazık çakma makinesinin sebep olduğu titreşimlerin daha yavaş sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 6.18 : Dikey yöndeki dalga hızı sönümlenmesinin Hwang ve Tu'nun (2006) çalışma sahasında yapmış olduğu dizel kazık çakma makinesinin sebep olduğu titreşimlerin sönümlenmesiyle karşılaştırılmasını.

Mayne'nin 1985 yılında yapmış olduğu çalışma sonucu ulaştığı normalize titreşim seviyesinin mesafenin ağırlık çapına göre normalize edilmiş hali ile ilişkisinin bu

çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 6.19'da görülmektedir. Görülüyor ki Mayne'nin oluşacak titreşimlerin eşik değeri olarak belirlediği doğrusallık daha düşük kompaksiyon enerjilerinde ve daha uzak mesafeler için de devam etmektedir.

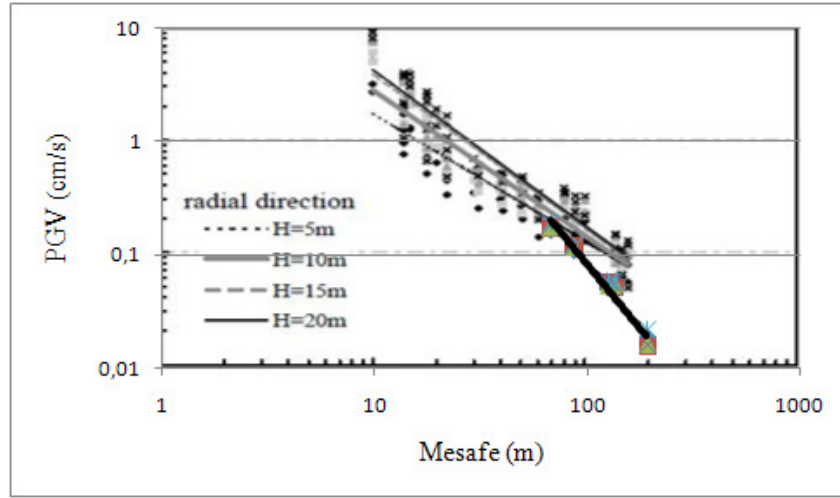


Şekil 6.19 : Mayne'nin (1985) sönümlenme ilişkisinin bu çalışma ile karşılaştırılması

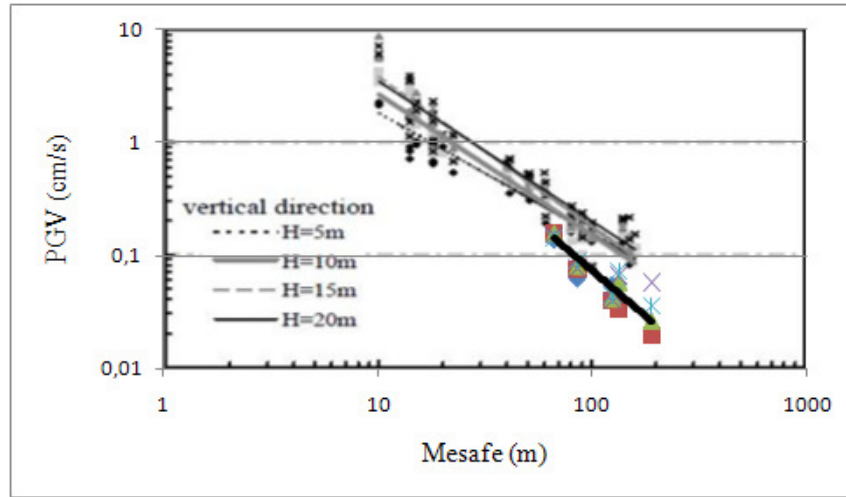
6.6 Farklı Sıkıştırma Enerjileri

Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında farklı sıkıştırma enerjileri arasındaki ilişkinin gözlenmesi için 25 tonluk kütle kullanılarak 20, 15, 10 ve 5 m düşürme yüksekliği olmak üzere dört durum incelenmiştir. Şekil 6.20 ve Şekil 6.21 bu dört durumun çalışmada kullanılan 12,50 tonluk kütle ve 22 m düşürme yüksekliği durumundaki PGV'lerin sönümlenmesinin karşılaştırmasını göstermektedir. W. E. Van Impe

(1989) darbe enerjisinin $E_d = M \times h$ olduğunu belirtmiştir. Bu yaklaşımdan çalışmada kullanılan darbe enerjisinin $12,50 \text{ t} \times 22 \text{ m} = 275 \text{ tm}$ olduğu söylenebilir. Hwang ve Tu'nun (2006) çalışmasında kullanılan 25 tonluk kütlenin aynı darbe enerjisini oluşturması için $275 \text{ tm} / 25 \text{ t} = 11 \text{ m}$ 'lik yükseklikten düşürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle karşılaştırma amacı ile 10 m'lik yüksekliği temel alabiliriz. Karşılaştırma sonucunda görülüyor ki aynı darbe enerjisinde farklı sönümlenme oranları ve PGV gözlemlenebiliyor. Bu sonuca dayanarak meydana gelen titreşimlerin sönümlenmesinde zemin koşullarının daha baskın bir etken olduğunu söyleyebiliriz.

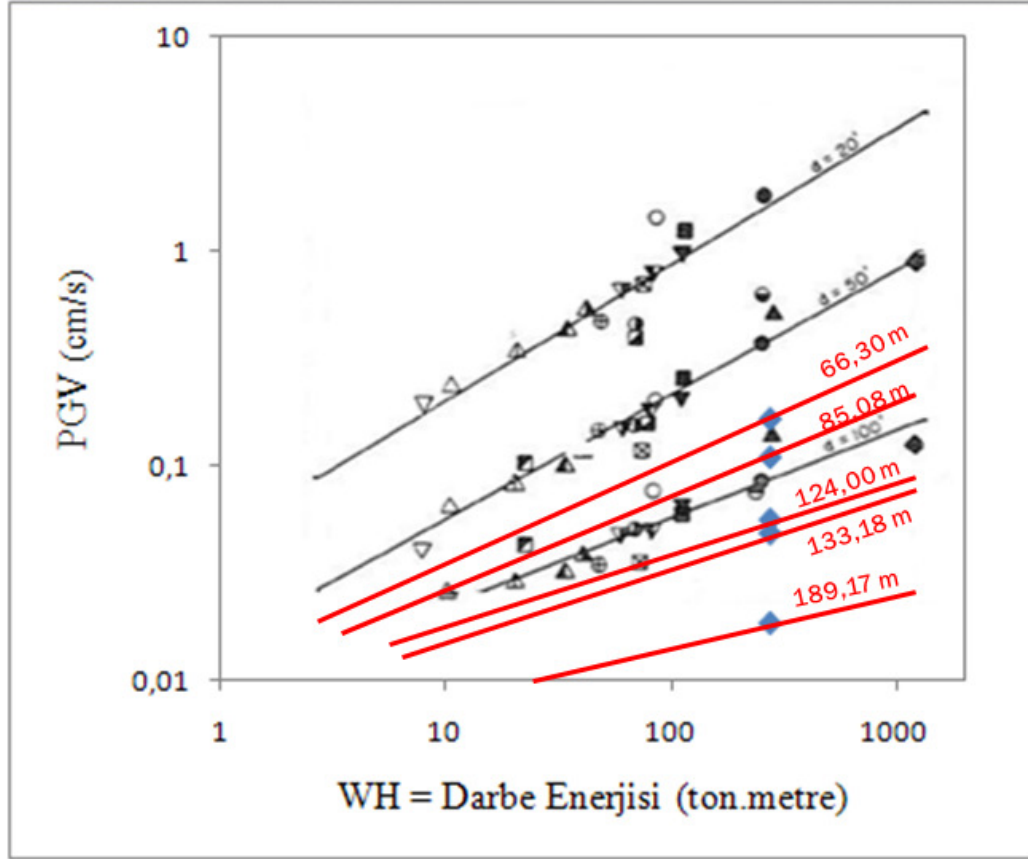


Şekil 6.20 : Hwang ve Tu'nun (2006) kullandığı farklı sıkıştırma enerjilerinin ve çalışmada kullanılan sıkıştırma enerjisinin sebep olduğu yatay yöndeki PGV'nin sönümlenmesinin karşılaştırılması.



Şekil 6.21 : Hwang ve Tu'nun (2006) kullandığı farklı sıkıştırma enerjilerinin ve çalışmada kullanılan sıkıştırma enerjisinin sebep olduğu düşey yöndeki PGV'nin sönümlenmesinin karşılaştırılması.

Mayne'nin 1985'te yapmış olduğu çalışmada yer alan PGV'nin farklı mesafelerde WH'ye göre değişiminin bu çalışma ile karşılaştırması Şekil 6.22'de yer almıştır. Görüldüğü üzere 275 tm darbe enerjisi karşılık farklı mesafelerde ölçülen PGV değerleri yerleştirildiğinde Mayne'nin belirlemiş olduğu doğrusal mesafe sınırları arasında kalmıştır.



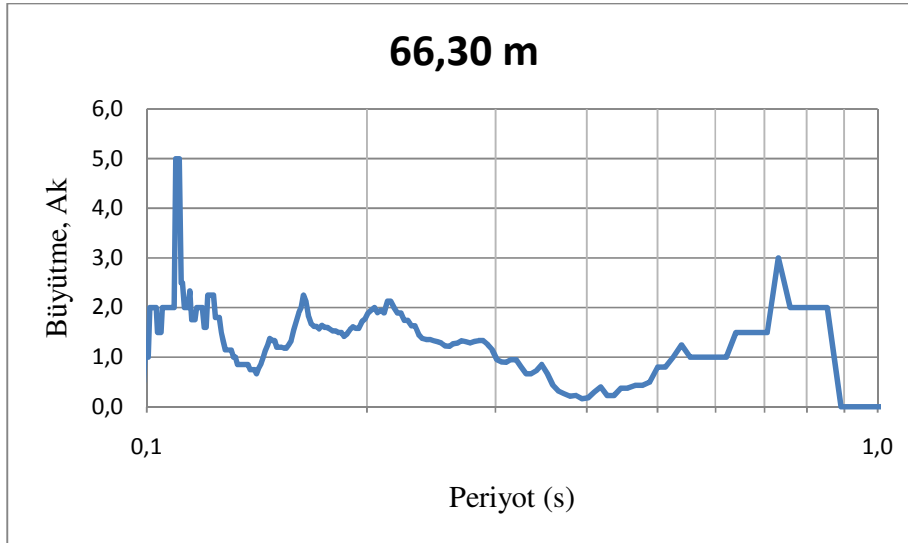
Şekil 6.22 : Mayne'nin (1985) PGV'nin farklı mesafelerde WH'ye göre değişimi çalışmasının bu çalışma ile karşılaştırılması

6.7 Nakamura Methodu ile Büyütme ve Periyot Tayini

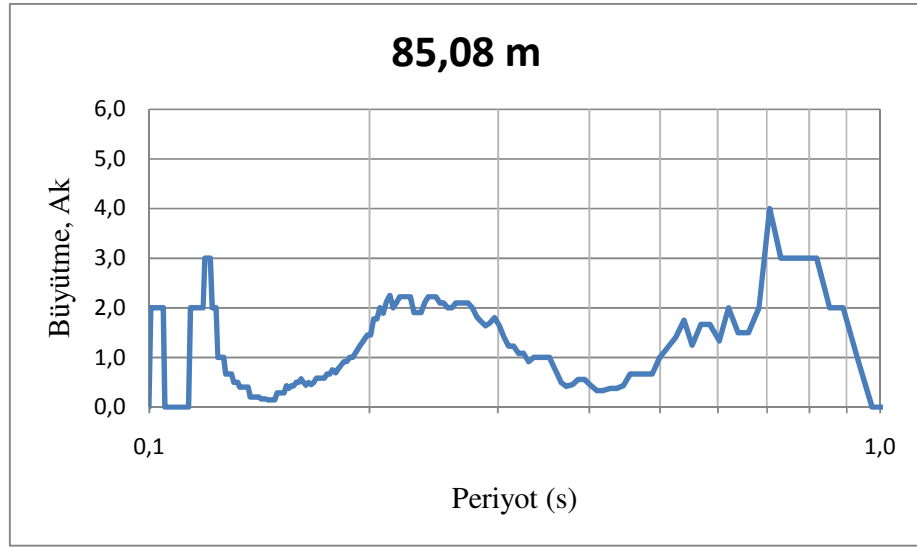
Birçok araştırmacı yerel etkiyi, tek istasyondaki mikrotremor kayıtlarının yatay bileşeninin düşey bileşene spektral oranı yardımıyla belirleme yoluna gitmiştir. Bu düşünce ilk olarak Nakamura (1989) tarafından ortaya atılmış olduğundan teknik, araştırmacının adını taşımaktadır. Temeli, mikrotremorların sadece yatay bileşeninin zeminden etkilendiğini ve kaynağın spektral özelliklerinin yatay bileşen mikrotremorlar kadar düşey bileşen mikrotremorlarla da beslendiği varsayımına dayanır.

Derince limanında yapılan mikrotremor ölçümlerinden genlik spektrumlarının elde edilmesinin ardından zeminin periyodunun ve büyütmesinin tayini amacı ile Nakamura yöntemi kullanılmıştır. Bu methoda göre yatay bileşenlerin genlik spektrumlarının düşey bileşenlerin genlik spektrumlarına oranı bize zemin büyütmesini ve hakim periyodu vermektedir. Oranlar sonucu elde edilen büyütme spektrumunda, genel olarak zeminin periyot sınırları içerisinde en büyük değer zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesi olarak alınmaktadır (Güllü, 2001).

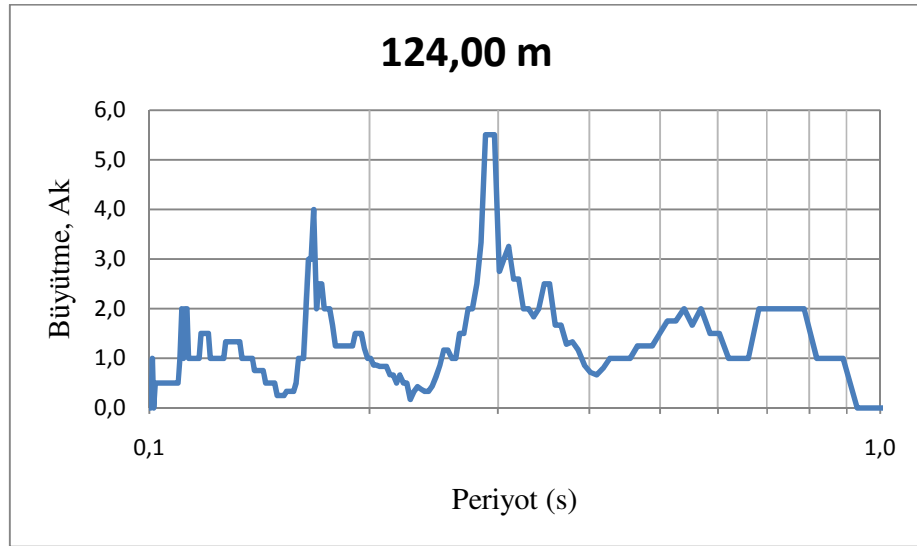
Oranlar sonucu elde edilen büyütme spektrumları 66,30m, 85,08m ve 124,00m mesafeler için Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi zemin periyotlarının 0,11s ile 0,7s arasında ve büyütmeler (A_k) ise 4 ile 5,5 arasında değişmektedir. Dinamik özelliklerin bu denli değişkenlik göstermesinin nedeninin dinamik kompaksiyonların farklı mesafelerde yapılması olabilir.



Şekil 6.23 : Kaynaktan 66,30m uzakta alınan kayda dair büyütme spektrumu



Şekil 6.24 : Kaynaktan 85,08m uzakta alınan kayda dair büyütme spektrumu



Şekil 6.25 : Kaynaktan 124,00m uzakta alınan kayda dair büyütme spektrumu

7. SONUÇLAR

Derince Limanında yapılan zemin araştırmaları ve titreşim kayıtlarının değerlendirilmesi sonucunda şu sonuçlara varılmıştır;

- Zemin çakıllı kum ve siltli kil olmak üzere iki ana tabakadan oluşmuştur. Arazide ve laboratuvarında yapılan deneylerin sonuçları kullanılarak bazı doğrudan ve ampirik yöntemler ile zeminin nümerik analizi için zemin parametreleri idealize edilmiştir. Buna göre;

Çakıllı kum tabakası için;

Tabaka Kalınlığı = 11,50 m

$N_{60} = 34$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$ $Dr = \%83$ $\mu = 0,5$

$V_s = 237 \text{ m/s}$ $V_r = 218 \text{ m/s}$ $G = 101 \text{ Mpa}$ $E = 303 \text{ Mpa}$ $T = 0,2 \text{ s}$

Siltli kil tabakası için;

Tabaka Kalınlığı > 20,00 m

$N_{60} = 23$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\phi = -$ $Dr = -$ $\mu = 0,5$

$V_s = 215 \text{ m/s}$ $V_r = 198 \text{ m/s}$ $G = 83 \text{ Mpa}$ $E = 249 \text{ Mpa}$ $T > 0,3 \text{ s}$

Parametreleri uygun görülmüştür.

- Dinamik kompaksiyon sonucu oluşan titreşimler kaynaktan uzaklaştıkça sönümlenmektedir. Bu titreşimlerin zamansal geçmişlerinde ön kısımda bulunan düşük frekanslı en büyük genlikler arka kısımda bulunan büyük frekanslı en büyük genliklerden daha hızlı sönümlenmektedir.
- Kaynaktan aynı mesafede bulunan yatay ve düşey yöndeki titreşimlerin en büyük genliklerinin ve frekanslarının çok yakın oldukları görülmüştür.
- Meydana gelen titreşimler sonucu zemindeki partiküllerin saatin ters yönünde retrograd elips şeklinde bir yol izlediği gözlemlenmiştir. Ayrıca

hareket karakterinin tekrarlanan kompaksiyonlar altında değişmediği belirlenmiştir.

- Titreşimlerin aynı yönde farklı uzaklıklarda bulunan Fourier Spektrumlarının şekillerinin benzer olduğu ve neredeyse frekans içeriklerinin aynı olduğu görölmektedir. Ayrıca kaynağa yakın olanın spektrumu uzakta olana göre daha göze çarpan baskın frekans aralığına ve büyük en büyük genliğe sahip olduğu belirtildiği gibi gözlemlenmektedir. Kaynaktan aynı uzaklıkta bulunan yatay ve düşey titreşimlerin Fourier Spektrumları karşılaştırıldığında aynı frekans aralığında düşey yöndeki genliğin yatay yöndekinden daha düşük olduğu görölmektedir.
- Titreşimlerin her iki yöndeki Davranış Spektrumlarının şekillerinin benzer olduğu görölmüştür. Kısa periyot aralıklarında spektral değerler kaynağa yakın olanlarda uzak olanlara göre daha büyük olmasına karşın uzun periyot aralıklarında daha küçük olduğu görölmektedir.
- Farklı zemin ve kompaksiyon enerjisi koşullarında her iki yönde oluşan titreşimlerin PGV ve PGA'sının mesafeye bağlı olarak sönümlenme oranının yakın oluğu fakat PGV ve PGA değerlerinin farklı olduğu görölmüştür. Ayrıca yatay ve düşey yöndeki titreşimlerin sönümlenme oranlarının da benzer olduğuda gözlemlenmiştir.
- Farklı zemin koşullarında aynı kompaksiyon enerjisi koşullarında her iki yönde oluşan oluşan PGV ve PGA'ların farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca bağlı olarak oluşan titreşimlerin genliklerinin zemin koşullarına daha çok bağlı olduğu görölmüştür.

KAYNAKLAR

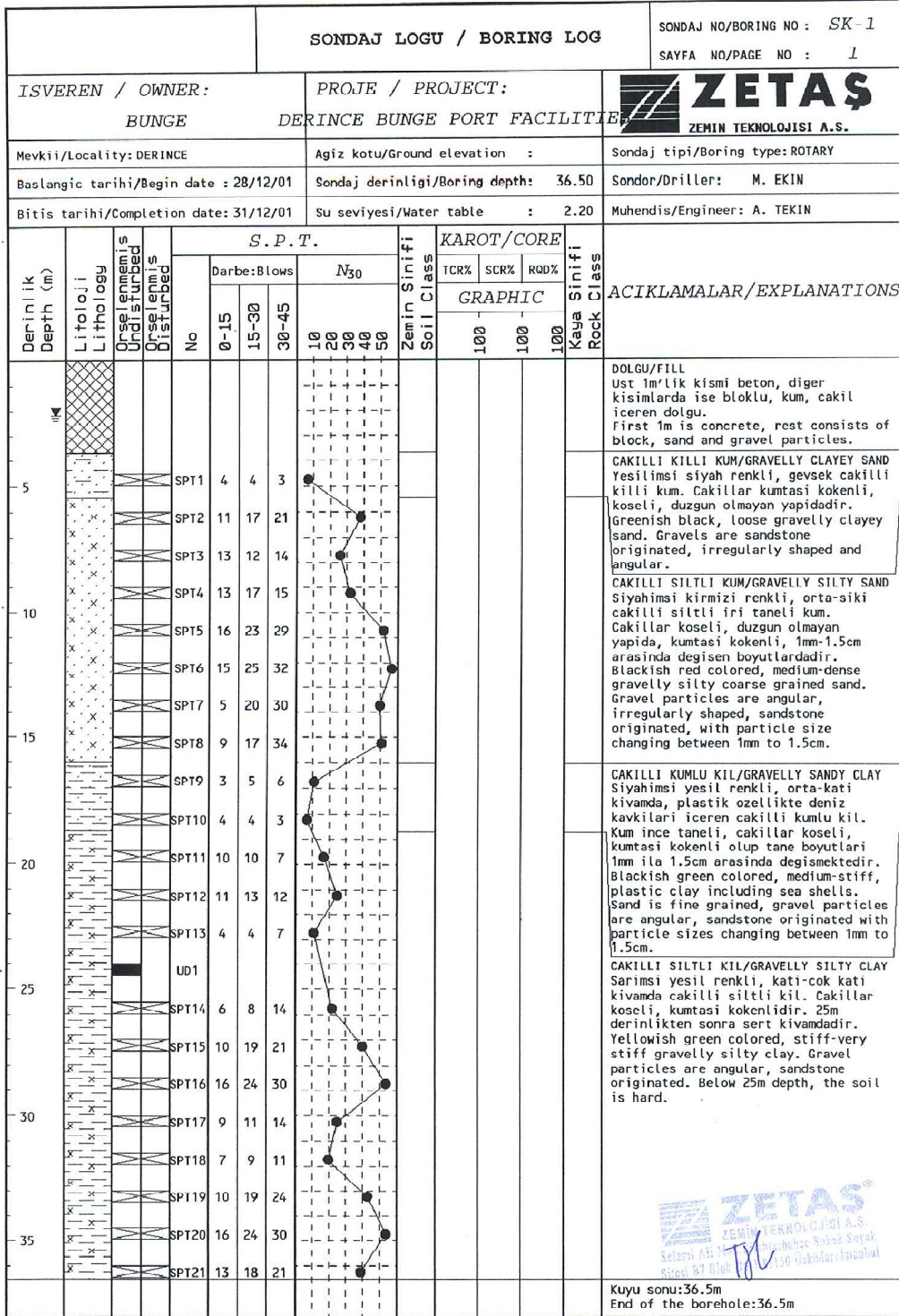
- Aykaç, S.,** (2003). Depremin zemin içi yapılara etkisi. *Bayındırlık Bakanlığı.*
- Duygun, F.,** (2008). Dikilitaş Göleti (Niğde) ıslah çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Elias, V., Welsh, J., Warren, J., Lukas, R., Collin, J.G., and Berg, R.R.,** (2006), Ground Improvement Methods, Volumes I and II, FHWA NHI-06-019 ve FHWA NHI-06-020, *US Dept.of Transportation, Federal Highway Administration.*
- Gearino, J.,** (2010). Homeowners may get dynamic compaction damage relief. *Wyoming's Online News Source.* <http://trib.com>.
- Google,** (2012). Google Maps. *Basarsoft.* <http://maps.google.com>.
- Güllü, H.,** (2001). Dinar'ın zemin büyütmelerine göre coğrafik bilgi sistemleri ile mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hwang, J.H., Tu, T.Y.,** (2006). Ground vibration due to dynamic compaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* V.26, No.5, pp. 337 – 346.
- Imai, T.,** (1977). P and S wave velocities of the ground in Japan. *Proceeding of IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.* V.2, pp. 257 – 260.
- Impe, W.F.V.,** (1989). Soil Improvement Technique and their Evolution, A. A. Balkema, Rotterdam.
- İyisan, R.,** (1996). Geoteknik özelliklerin belirlenmesinde sismik ve penetrasyon deneylerinin karşılaştırılması. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kramer Steven L.,** (1996). Geotechnical Eartquake Engineering, Prentice-Hall, New Jersey.
- Lamb, H.,** (1904). On the propagation of tremors over thr surface of an elastic solid. *Philos Trans R Soc, London.*
- Lav, M.A., Yüksel, A., Karadoğan, F.,** (2010). Vibrations due to dynamic compaction. *Recent Advances in Geotechnical Eartquake Engineering and Soil Dynamics.* San Diego, California.
- Lee, S.H.H.,** (1990). Regression models of shear wave velocities. *Journal of the Chinese Institute of Engineers,* V.13, No.5, pp. 519 – 532.
- Mayne, P.W.,** (1985). Ground vibration during dynamic compaction. *Vibration Problems in Geotechnical Engineering, Proceeding of a Symposium sponsored by the Geotechnical Engineering Division in conjunction with the ASCE Convention in Detroit, Michigan.*

- Mayne, P.W., Jones, J.S., ve Dumas, J.C.,** (1984). Ground response to dynamic compaction. *Journal of Geotechnical Engineering*, V.110, No.6, pp. 757 – 774.
- Menard, L. Ve Y. Broise,** (1975). Teorical and practical aspects of dynamic consolidation, *Geotechnique*, V.25, pp. 3 – 18.
- Nakamura, Y.,** (1989). A method for dynamic chracteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR of RTRI*, V.30, No.1, pp. 25- 33.
- Ohta, Y. and Goto, N.,** (1978). Emprical shear wave velocity equation in terms of characteristics soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, V.6, pp. 167 – 187.
- Papageorgiou, A.S., Aki, K.,** (1983). A specific barrier fort he quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, V.73, pp. 953 – 978.
- SCDOT,** (2010). Ground Improvement, Bölüm 19. *Geotechnical Design Manual*. South Carolina.
- Seed, H. and Idriss, I.,** (1981). Evaluation of liquefaction potential of sand deposits based on observations of performance in previous earthquakes. *Proceeding the Conference on In Situ Testing to Evaluate Liquefaction Susceptibility*, ASCE, Preprint 81 – 544, St. Louis, MO, 26.
- Shibata, T.,** (1970). The relationship between the N-value and shear wave velocity in the soil layer. (in Japanese). *Research report of Disaster prevention Research Laboratory*, Kyoto University.
- Sivrikaya, O.,** (2003). Standart penetrasyon deneyini ile zemin özelliklerinin belirlenmesi ve Türkiye'deki uygulaması. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Skempton, A.W.,** (1985). Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, *Geotechnique*, V.35, No.1, pp. 3 -18.
- Sykora, D.W. and Stoke, K.H., II.,** (1983). Correlations of in situ measurements in sands of shear wave velocity, soil characteristics and site conditions. Report GR 83 – 33, Civil Engineering Department, University of Texas at Austin, pp.484.
- Yoshimura Y.,** (1975). The relation of mechanical properties of soils to P and S-wave velocities for ground in Japan. *Technical Note*. OYO Corporation.
- ZETAŞ,** (2001). Derince sahası zemin etüdü ve temel mühendisliği değerlendirmeleri, BUNGE Gıda Tic. A.Ş., ZETAŞ Zemin teknolojisi A.Ş. bünyesinde Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. tarafından hazırlanmış teknik rapor.

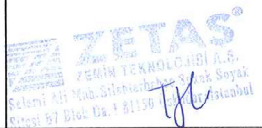
EKLER

EK A : Araz Araştırmalarının Logları

EKA

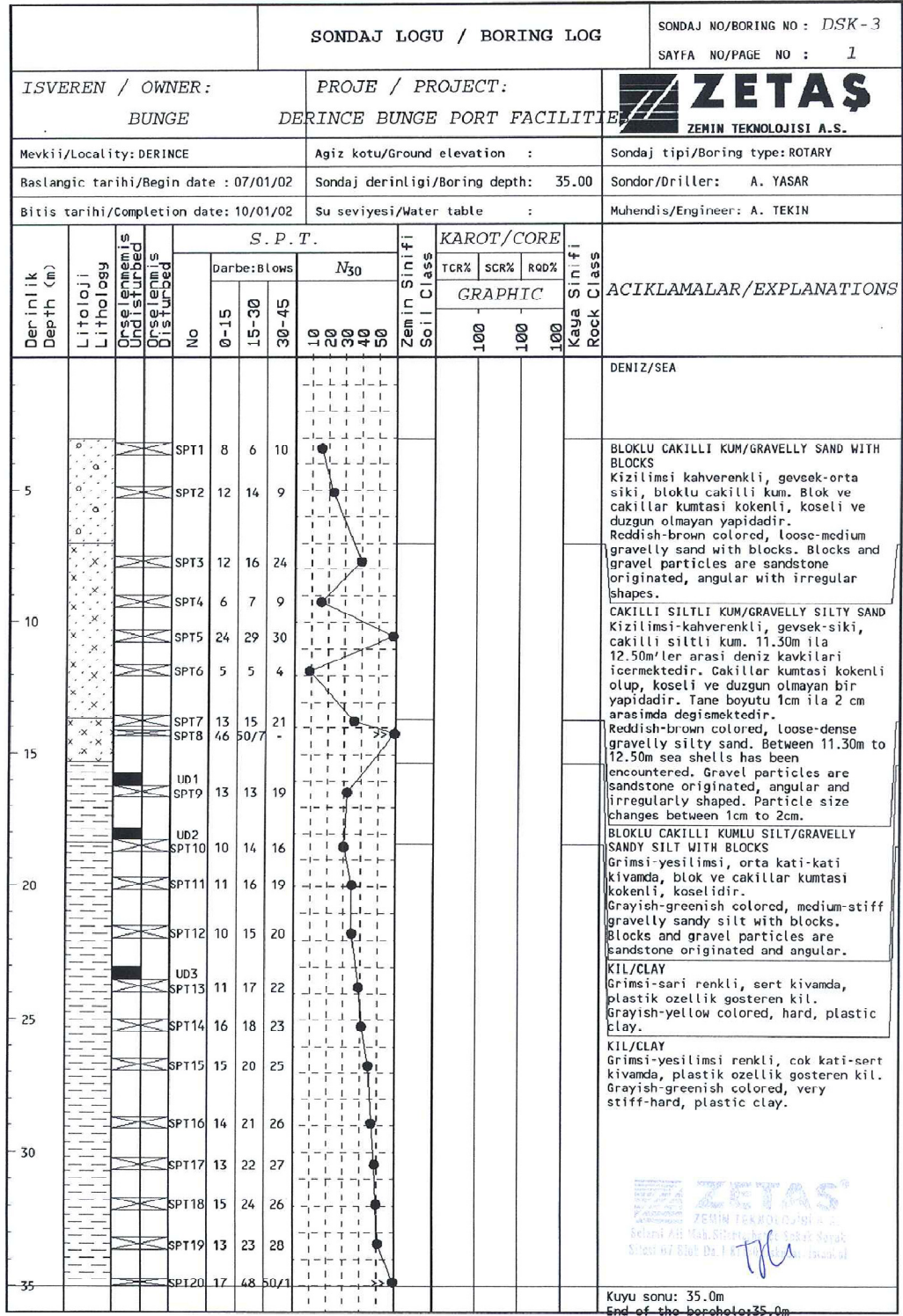


Şekil A.1 : SK-1 sondajının logu (Zetaş, 2001).

										SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ NO/BORING NO : DSK-1									
																				SAYFA NO/PAGE NO : 1									
ISVEREN / OWNER:										PROJE / PROJECT:																			
BUNGE										DERINCE BUNGE PORT FACILITIES																			
Mevkii/Locality: DERINCE										Agiz kotu/Ground elevation :										Sondaj tipi/Boring type: ROTARY									
Başlangic tarihi/Begin date : 28/12/01										Sondaj derinligi/Boring depth: 35.00										Sondor/Driller: A. YASAR									
Bitis tarihi/Completion date: 31/12/01										Su seviyesi/Water table :										Muhendis/Engineer: A. TEKİN									
Derinlik Depth (m)	Litoloji Lithology	Orselenmiş Undisturbed	Orselenmiş Disturbed	No	S. P. T.			N ₃₀	Zemin Sınıfı Soil Class	KAROT/CORE			Kaya Sınıfı Rock Class	ACIKLAMALAR/EXPLANATIONS															
					Darbe:Blows	0-15	15-30			30-45	TCR%	SCR%			ROD%														
																GRAPHIC													
5														DENİZ/SEA															
					SPT1	9	12	12						CAKILLI SİTLİ KUM/GRAVELLY SILTY SAND Grimsi yeşil renkli, orta-siki, cakilli siltli iri deniz kavrıkları içeren kum. Cakillar koseli, duzugun olmayan yapıda, kumtasi-kalsit kokenlidir, tane boyu 4mm ila 1cm arasında degismektedir. 9-10m'ler ve 12-13m'ler arasi cakil seviyesi gecilmistir. Grayish green colored, medium-stiff gravelly silty sand including sea shells. Gravel particles are angular, irregularly shaped, sandstone-limestone originated. Particle size changes between 4mm to 1cm. Gravel layer has been encountered between the depths 9-10m and 12-13m. QQ															
					SPT2	8	14	21																					
10					SPT3	6	9	13																					
					SPT4	14	16	22																					
					SPT5	16	25	26																					
15					SPT6	13	18	24																					
					SPT7	15	19	26																					
					SPT8	1	2	2																					
					UD1																								
20					SPT9	2	2	3																					
					SPT10	14	6	7																					
					SPT11	6	8	10																					
					UD2																								
25					SPT12	8	10	12																					
					UD3																								
					SPT13	8	13	14																					
					SPT14	16	18	29																					
30					SPT15	18	21	29																					
					SPT16	17	27	26																					
					SPT17	14	22	27																					
35					SPT18	18	25	30																					
																													
Kuyu sonu: 35.0m End of the borehole: 35.0m																													

Şekil A.2 : DSK-1 sondajının logu (Zetaş, 2001).

										SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ NO/BORING NO : DSK-2									
																				SAYFA NO/PAGE NO : 1									
ISVEREN / OWNER:										PROJE / PROJECT:										 ZETAŞ ZEMİN TEKNOLOJİSİ A.Ş.									
BUNGE										DERİNCE BUNGE PORT FACILITIES																			
Mevkii/Locality: DERİNCE										Agiz kotu/Ground elevation :										Sondaj tipi/Boring type: ROTARY									
Baslangic tarihi/Begin date : 02/01/02										Sondaj derinligi/Boring depth: 35.00										Sondor/Driller: A. YASAR									
Bitis tarihi/Completion date: 04/01/02										Su seviyesi/Water table :										Muhendis/Engineer: A. TEKİN									
Derinlik Depth (m)	Litoloji Lithology	Orselemlenmiş Undisturbed	Orselemlenmiş Disturbed	S. P. T.						Zemin Sınıflı Soil Class	KAROT/CORE			Kaya Sınıflı Rock Class	ACIKLAMALAR/EXPLANATIONS														
				No	Darbe:Blows			N ₃₀	TCR%		SCR%	ROD%																	
					0-15	15-30	30-45																						
													10			20	30	40	50										
DENİZ/SEA																													
CAKILLI SILTİLİ KUM/GRAVELLY SILTY SAND Siyahimsi mor renkli, orta-siki cakilli siltli kum. Blackish purple colored, medium-dense silty sand.																													
CAKILLI SILTİLİ KİL/GRAVELLY SILTY CLAY Grimsi yesilimsi, orta-kati kıyanda, cakilli siltli plastik kil. Deniz kavkileri icermektedir. Grayish green colored, medium-stiff, gravelly silty plastic clay including sea shells.																													
SILTİLİ KİL/SILTY CLAY Kahverengimsi yesil renkli, cok kati-sert kıyanda, az miktarda silt icerikli kil. Brownish green colored, very stiff-hard clay including silt in small fractions.																													
 ZETAŞ ZEMİN TEKNOLOJİSİ A.Ş. Selami Ali Mah. Silticiler bulvarı Blok 50/4 Sitesi 67 Blok Da. 1 Bina No: 101 Kat: 101 Kuyu sonu:35.0m End of the borehole:35.0m																													



Şekil A.4 : DSK-3 sondajının logu (Zetaş, 2001).

[illegible]

										SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ NO/BORING NO : DSK-5									
																				SAYFA NO/PAGE NO : 1									
ISVEREN / OWNER:										PROJE / PROJECT:										 ZETAŞ ZEMİN TEKNOLOJİSİ A.Ş.									
BUNGE										DERİNCE BUNGE PORT FACILITIES																			
Mevkii/Locality: DERİNCE										Agiz kotu/Ground elevation : 0.00										Sondaj tipi/Boring type: ROTARY									
Baslangic tarihi/Begin date : 11/01/02										Sondaj derinligi/Boring depth: 35.00										Sondor/Driller: A. YASAR									
Bitis tarihi/Completion date: 13/01/02										Su seviyesi/Water table :										Muhendis/Engineer: A. TEKİN									
Derinlik Depth (m)	Litoloji Lithology	Ozellemis Undisturbed	Ozellemis Disturbed	S. P. T.										Zemin Sinifi Soil Class	KAROT/CORE			Kaya Sinifi Rock Class	ACIKLAMALAR/EXPLANATIONS										
				Darbe:Blows			N ₃₀								TCR%	SCR%	RQD%												
															GRAPHIC														
				No	0-15	15-30	30-45	10	20	30	40	50		100	100	100													

Şekil A.6 : DSK-5 sondajının logu (Zetaş, 2001).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ömer Gürkaynak

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar, 1986

Adres: Kurukuyu Sok. Bostancı / İstanbul

E-Posta: gurkaynako@itu.edu.tr

Lisans: İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü