

**T.C. CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MANİSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE  
DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gülcan KARAGÜL**

**Ana Bilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Geoteknik**

**MANİSA 2005**

**T.C. CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MANİSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE  
DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisi Gülcan KARAGÜL**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22.09.2005**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 22.09.2005**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet GÜZEL**

**Diğer Jüri Üyeleri : Yard. Doç. Dr. Yusuf ERZİN**

**Doç. Dr. Kenan YALINIZ**

**MANİSA 2005**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	I
SEMBOL LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	VIII
ÖNSÖZ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
GİRİŞ	1
1. MANİSA İLİ	2
1.1. Manisa İlinin Morfolojisi ve Yapısal Konumu	2
1.2. Manisa İlinin Jeolojisi	2
1.2.1. Menderes Masifi Kayaları	2
1.2.1.1. Gnays	5
1.2.1.2. Metavolkanit	5
1.2.1.3. Şist-İnce Taneli Gnays	5
1.2.1.4. Mikaşist	5
1.2.1.5. Mermer	5
1.2.2. İzmir-Ankara Zonu Kayaları	6
1.2.2.1. Çömlekçi Formasyonu	6
1.2.2.2. Gökbel Formasyonu	6
1.2.2.3. Hasköy Formasyonu	6
1.2.2.4. Görenez Kırtaşı	7
1.2.2.5. Kızılcasöğüt Formasyonu	7
1.2.2.6. Ulupınar Formasyonu	7
1.2.2.7. Eydemirçay Formasyonu	7
1.2.2.8. Vezirler Melanjı	7
1.2.2.9. Bornova Karmaşığı-İzmir Filişi	10
1.2.2.10. Başlamış Formasyonu	10
1.2.3. Neojen Yaşlı Kayalar	10
1.2.4. Kuvaterner Yaşlı Kayalar	11
1.3. Manisa İlinin Depremselliği	11
1.3.1. Bergama - Menemen Arası Diri Faylar	11
1.3.2. Soma – Kırkağaç – Gölcük Yöresi fayları	12
1.3.3. Gediz Grabeni Diri Fayları	13
1.3.4. Büyük Menderes Grabeni Doğu Ucu Diri Fayları	15

1.3.5. Simav Fay Zonu	16
2. İVME AZALIM (SÖNÜMLEME) İLİŞKİSİ	19
2.1. Manisa İl Merkezi Taban Kayası İvme Değerinin Belirlenmesi	20
3. DOĞRUSAL ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ	23
3.1. Zemin Davranış Analizleri İçin Eşdeğer Doğrusal Modelleme	24
3.1.1. Bir Boyutlu Gerilme – Deformasyon İlişkisi	24
3.1.2. Doğrusal Olmayan Gerilme-Deformasyon Analizi İçin Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım	26
3.2. Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizi	31
3.2.1. Yapılan Kabuller Ve Tanımlar	31
3.2.2. Transfer Fonksiyonları	33
3.2.3. Bir Boyutlu Eşdeğer Doğrusal Zemin Davranış Analizleri	35
3.2.4. Sönümlü (Geçici) Hareketler	39
3.2.5. Eşdeğer Doğrusal Analiz İçin İteratif Yaklaşım	39
3.3. Manisa İl Merkezi Zeminlerinde Dinamik Zemin Davranış Analizleri	41
4. SIVILAŞMA	43
4.1. Sıvılaşma Analizi	45
4.1.1. Zeminin Tekrarlı Yükleme Karşı Direnci (CRR)	45
4.1.1.1. İnce Malzeme Oranı ( $F_c$ ) Düzeltmesi	46
4.2. Manisa İl Merkezi İçin Yapılan Analiz Sonuçları	50
SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKÇA	52
EKLER	
EK-1. ANALİZLERDE KULLANILAN ZEMİN PROFİLLERİ	E-1
EK-1-1. Kuyu No:1 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-1
EK-1-2. Kuyu No:2 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-2
EK-1-3. Kuyu No:3 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-3
EK-1-4. Kuyu No:4 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-4
EK-1-5. Kuyu No:5 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-5
EK-1-6. Kuyu No:6 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-6
EK-1-7. Kuyu No:7 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri	E-7

EK-2. ANALİZLERDE EERA PROGRAMI İÇİN BİLGİSAYARA GİRİLEN ZEMİN PROFİL BİLGİLERİ	E-8
EK-2-1. EERA Programına Kuyu No:1 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-8
EK-2-2. EERA Programına Kuyu No:2 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-9
EK-2-3. EERA Programına Kuyu No:3 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-10
EK-2-4. EERA Programına Kuyu No:4 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-11
EK-2-5. EERA Programına Kuyu No:5 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-12
EK-2-6. EERA Programına Kuyu No:6 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-13
EK-2-7. EERA Programına Kuyu No:7 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri	E-14
EK-3. MANİSA İL MERKEZİ TABAN KAYASI İÇİN SÖNÜMLEME İLİŞKİLERİNDEN ELDE EDİLEN İVME GRAFİĞİ	E-15
EK-4. MANİSA İL MERKEZİ ZEMİN YÜZEYLERİ İÇİN ELDE EDİLEN YATAY İVME DEĞERLERİ	E-16
EK-4-1. Kuyu No:1 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-16
EK-4-2. Kuyu No:2 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-17
EK-4-3. Kuyu No:3 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-18
EK-4-4. Kuyu No:4 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-19
EK-4-5. Kuyu No:5 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-20
EK-4-6. Kuyu No:6 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-21
EK-4-7. Kuyu No:7 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri	E-22
EK-5. YATAY İVMENİN DERİNLİKLE DEĞİŞİMİ	E-23
EK-5-1. Kuyu No:1 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-23
EK-5-2. Kuyu No:2 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-24
EK-5-3. Kuyu No:3 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-25
EK-5-4. Kuyu No:4 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-26
EK-5-5. Kuyu No:5 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-27
EK-5-6. Kuyu No:6 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-28
EK-5-7. Kuyu No:7 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi	E-29

## SEMBOL LİSTESİ

$a_{maks}$	: Maksimum yüzey ivmesi
$C_B$	: Sondaj çapı düzeltmesi
$C_E$	: Enerji düzeltmesi
$C_N$	: Efektif gerilme düzeltmesi
$C_R$	: Çubuk boyu düzeltmesi
$E$	: Taban kayasında kaynaktan gelen hareketin genliği
$F$	: Zemin birikintisinin altındaki taban kayası yüzeyinde oluşan hareket ile kaynaktan gelen hareket arasındaki genlik farkı
$F_c$	: No:200 eleğinden geçen malzeme oranı
$G$	: Kayma modülü (Sekant)
$G^*$	: Kompleks kayma modülü
$G_S$	: Sekant kayma modülü
$G_{maks}$	: Maksimum kayma modülü
$g$	: Yer çekimi ivmesi
$H$	: Tabaka kalınlığı
$K_S$	: İnce malzeme düzeltme katsayısı
$M$	: Deprem büyüklüğü
$(N_1)_{60}$	: %60 enerji seviyesine göre düzeltilmiş SPT-N değeri
$R_\gamma$	: Efektif kayma deformasyonunun, maksimum kayma deformasyonuna oranı
$r_{rup}$	: Fayın kırıldığı nokta ile hesap yapılan nokta arasındaki mesafe
$T$	: Periyot
$t$	: Zaman
$U$	: Yer değiştirme genliği
$\dot{u}(z, t)$	: Hız
$\ddot{u}(z, t)$	: İvme
$W_d$	: Enerji kaybı
$W_S$	: Şekil değiştirme ile sistemde depolanan enerji
$Y$	: Yer çekim ivmesi (g) cinsinden yatay bileşke ivme
$Z$	: Derinlik
$\omega$	: Frekans
$\sigma'_V$	: Düşey efektif gerilme
$\gamma$	: Birim hacim ağırlık

- $\gamma$  : Kayma deformasyonu  
 $\dot{\gamma}$  : Kayma deformasyonu değişim oranı  
 $\rho$  : Yoęunluk  
 $\tau$  : Kayma gerilmesi  
 $\eta$  : Viskozite  
 $\xi$  : Sönüm oranı  
 $\Gamma$  : Kayma deformasyon genliği

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Şekil 1.1.</b> Çalışma alanı yer bulduru haritası	3
<b>Şekil 1.2.</b> Batı Anadolu'nun tektonik birlikleri	4
<b>Şekil 1.3.</b> Çalışma alanı jeoloji haritası	8
<b>Şekil 1.4.</b> Jeoloji haritasına ait açıklamalar	9
<b>Şekil 1.5.</b> İzmir-Manisa çevresi diri fay haritası	18
<b>Şekil 3.1.</b> Eşdeğer doğrusal yaklaşımda kullanılan gerilme-deformasyon modelinin şematik temsili	24
<b>Şekil 3.2.</b> Eşdeğer doğrusal model: (a) Histerisis gerilme – deformasyon eğrisi; (b) Sekant kayma modülü ile maksimum kayma modülü oranının ( $G/G_{maks}$ ) ve sönümlenme oranının ( $\xi$ ) kayma deformasyon ( $\gamma$ ) büyüklüğü ile değişimi	27
<b>Şekil 3.3.</b> $\tau/\tau_{maks}$ ve $G/G_{maks}$ eğrileri deformasyon yumuşamasına bir örnek olarak doğrusal ve yarı logaritmik olarak gösterilmiştir	28
<b>Şekil 3.4.</b> Kompleks kayma modülü genişliğinin kritik sönüm oranı ile değişiminin normalize edilmesi (model 1)	29
<b>Şekil 3.5.</b> Her tekrarlı yükleme için model 1 ve model 2 de kritik sönüm oranının fonksiyonu olarak tanımlanan enerji kaybındaki değişimin normalize edilmesi ile elde edilen grafik	31
<b>Şekil 3.6.</b> Bir kırılmadan kaynaklanan dalgaların zemin yüzeyine yaklaştıça düşeyleşmesi	32
<b>Şekil 3.7.</b> Analizlerde kullanılan terimler	32
<b>Şekil 3.8.</b> Periyodik ve periyodik olmayan hareketlere örnekler	33
<b>Şekil 3.9.</b> Bir boyutlu olarak tabakalanmış zemin tabakaları (Schnabel, 1972)	35
<b>Şekil 3.10.</b> Eşdeğer doğrusal analizde kayma deformasyonu ile kayma modüllerinin ve sönümlenme oranlarının iterasyonu	40



<b>Şekil 4.1.</b> Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) ile kumlu zeminlerdeki SPT-N arasındaki ilişki (Seed ve diğ.,1985)	44
<b>Şekil 4.2.</b> İnce malzeme (-No.200) artışının, Tekrarlı Gerilme direnci üzerindeki etkisi	47
<b>Şekil 4.3.</b> İnce malzeme oranına bağlı olarak $\Delta N_1$ artışı	47
<b>Şekil 4.4.</b> $I_p \leq 5$ için ince malzeme içeren zeminin temiz kumdaki eşdeğer SPT direnci için düzeltme katsayısı	48

## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
<b>Tablo 2.1.</b> Sönümlenme ilişkisi denklem 2.3 için verilen katsayılar (Sading, 1993)	20
<b>Tablo 2.2.</b> Manisa il merkezinde meydana gelebilecek taban kayası ivme değerleri	21
<b>Tablo 2.3.</b> Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri	22
<b>Tablo 3.1.</b> Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri ve zeminlerin büyütme oranları	42
<b>Tablo 4.1.</b> SPT için düzeltme katsayıları (NCEER, 1997)	46

## ÖNSÖZ

Dünyanın kendi içinde devirgenliği ve değişimi yeryüzünü kaplayan yerkabuğunda deformasyonlar, gerilme birikimleri ve giderek kırılmalar oluşturmaktadır. Deprem; yerkabuğunun kırılması ya da var olan kırık boyunca hareket etmesi işlemidir. Yerkabuğunun bu hareketi sırasında oluşan sismik dalgalar çevreye yayılarak deprem dalgalarını oluşturur. İnsanların varoluşlarından beri depremler insanları etkileyen en önemli doğal olaylardan biri olmuştur. Dünyada her yıl ortalama 12 milyon deprem olmaktadır. Nüfus artışına ve yapılaşmaya bağlı olarak depremlerin insanlar ve mal varlıkları üzerindeki etkisi de hızla artmıştır.

Ülkemizin % 42 si I . Derece deprem kuşağı üzerindedir ve bu alanda nüfusun yaklaşık %45 i yaşamaktadır. Ülkemizdeki bu deprem tehlikesi karşısında biz bilim adamları ve mühendisler; kendi geliştirdiğimiz ya da dünyada geliştirilmiş son teknikleri kullanarak gerekli bilimsel araştırmalar yapmalı ve elde edeceğimiz sonuçları pratik hayata uygulamamız gerekir.

Tez çalışmamdaki araştırmalarımda bana her türlü imkan ve olanağı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Ahmet GÜZEL'e, ihtiyacım olan her türlü bilgiyi sağlamada gösterdikleri yardımlardan dolayı Manisa Belediyesi İmar İşleri Müdürü Sayın Taner İÇÖZ'e, DATUM GEOTEKNİK'ten Jeoloji Mühendisi Deniz ERBULAK'a, MTA'dan Jeoloji Yük. Müh. Dr. Metin BULUT'a, tez çalışmam süresince gösterdikleri ilgi ve anlayıştan dolayı SAKIZLIOĞLU MÜHENDİSLİK'ten Sayın Şule SAKIZLIOĞLU, Sayın Müfit SAKIZLIOĞLU ve Sayın İbrahim ODACI'ya, sağladıkları imkanlardan ve gösterdikleri hassasiyetten dolayı aileme, benden yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen bu tez çalışmamda benim kadar emeğinin bulunduğu inandığım sevgili arkadaşım ve meslektaşım Sayın Ender BAŞARI'ya, ismini burada saymadığım tezimin ortaya çıkmasında katkısı olan herkese ve manevi desteğinden dolayı Cumhur AYCANER'e çok teşekkür ederim.

Gülcan KARAGÜL

2005

# MANİSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

GÜLCAN KARAGÜL

## ÖZET

Bu tez kapsamında; Manisa il merkezinde bir kısım zeminlerde deprem hareketinin büyütme özelliği, sıvılaşma riski ve meydana gelebilecek oturmalar analiz edilmeye çalışılmıştır.

Analizlerde bu yöre çevresinde meydana gelen 9 Temmuz 1998 deprem ivme kayıtları esas alınmıştır. Manisa il merkezi taban kayası yüzeyinde oluşacak maksimum yatay ivmeler, Sadıgh (1993) tarafından önerilen sönümlenme ilişkileri kullanılarak belirlenmiştir. Sönümlenme ilişkilerinde Manisa Bayındırlık Müdürlüğündeki istasyondaki ivme kayıtları veri olarak alınmıştır. Manisa il merkezi zeminlerinin büyütme analizlerinde EERA (Equivalent-linear Earthquake Response Analysis) bilgisayar programı kullanılmıştır. Program ile ilgili ayrıntılı bilgi <http://geoinfo.usc.edu/gees> internet adresinden edinilebilir. Zemin büyütme analizlerinin ve kullanılan bilgisayar programının dayandığı eşdeğer-doğrusal zemin davranış modelinin esasları Bölüm 3.1 de verilmektedir.

Deprem sırasında sismik dalgalar zeminde ilerlerken tekrarlı ve birbirine göre ters yönde kuvvet çiftleri (kayma gerilmesi) yaratarak, danelerin boşluk hacmini küçültecek şekilde yer değiştirmeye zorlar. Bu tekrarlı hareketler çok kısa sürelerde yer değiştirdiğinden dolayı boşluk suyu basıncı artar. Boşluk suyu basıncı düşey efektif gerilmeye eşit olduğunda zemin bir sıvı gibi hareket eder ve bu olaya sıvılaşma denir. Deprem esnasında oluşan bu kayma gerilmesinin düşey efektif gerilme değerine oranına literatürde Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) denir. CSR değeri zeminin Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) değerini aştığında suya doygun kumlu zeminlerde sıvılaşma riski oluşur. Bu tez kapsamında incelenen zeminlerde suya doygun kumlu zemine rastlanmadığı için sıvılaşma analizi ve buna bağlı olarak da oturma analizi yapılmamıştır.

# ANALYSIS OF DYNAMIK SOIL RESPONSE IN SOILS OF CENTRAL MANİSA

GÜLCAN KARAGÜL

## ABSTRACT

In the scope of this thesis, the amplification property of the earthquake motion, the risk of liquefaction and probable settlements have been analyzed in the selected locations of Central Manisa.

In the analysis, the 9 July 1998 Earthquake acceleration records have been considered. The maximum horizontal accelerations in the bed rock of Central Manisa have been determined by the damping relations which are offered by Sadigh (1993). In damping relations, Manisa Public Works Directorate Station records have been used. In the analysis of amplification of Central Manisa region, the software EERA (Equivalent – Linear Earthquake Response Analysis) has been used. Additional and detailed information about the software can be found on the web site: <http://geoinfo.usc.edu/gees>. The soil amplification analyses and the software are based on the equivalent-linear soil response model, which is illustrated in section 3.1.

During the earthquake, while the seismic waves travel through the soil, they force the particles to displace lessening the porosity of them, making permanent and opposite direction force couples (shear stress). Because of this permanent motions' short period displacement, the pore water pressure of the soil increases. When this pore water pressure gets equal to the vertical effective stress, the soil behaves like a liquid and this incident is called liquefaction. In the literature, the ratio of shear force's which is formed during the earthquake to vertical effective-stress value is called Cyclic Stress Ratio (CSR). In the saturated sandy soils there can be a risk of liquefaction if CSR value gets greater than the soil's Cyclic Resistance Ratio. The analysis of liquefaction and depending on liquefaction the settlement analysis is not made, since the soils which are researched in the scope of this thesis don't contain saturated sandy soils.

## GİRİŞ

Manisa ili güneyde dik bir topografya sunan Spil Dağı ile kuzeyde düzlük alanı oluşturan Manisa ovası arasında yer almaktadır. Spil dağının kuzey etekleri oldukça dik bir topografya konumunda olmasına karşın; şehir merkezi  $0^0 - 3^0$  ile  $3^0 - 6^0$  arasında değişen düşük eğime sahip alanda kurulmuştur. Güneyde gözlenen dik topografya nedeniyle çok geniş alüvyon yelpazeleri oluşmuştur. Bu nedenle söz konusu vadilerin ovaya açıldığı bölgelerde derelerin her iki yanında taşkın alanları gelişebilmektedir. Manisa il merkezinin morfolojik ve yapısal konumu ile depremselliği Bölüm 1 de genel hatlarıyla açıklanmıştır.

Manisa'ya yakın bölgelerdeki fayların kırılması ile Manisa il merkezi bu tür depremlerden etkilenebilecektir. Tez kapsamında 9 Temmuz 1998 Seferihisar depremi, Manisa il merkezini etkileyebilecek depremlere örnek olarak ele alınmıştır. Manisa il merkezinin yakın civarında oluşacak bir depremin etkisini belirlemek için kullanılan sönümlenme ilişkileri ve Manisa için yapılan hesaplar Bölüm 2 de verilmiştir.

Zeminler belirli şartlar bir araya geldiğinde büyümeye neden olabilirler. Zeminin deprem hareketini hangi oranda büyüttüğünü belirlemek için doğrusal modelleme, eğrisel modelleme, arazinin topografyasını dikkate alan üç boyutlu modellemeler mevcuttur. Manisa il merkezi alüvyon zeminlerinin kalın bir tabaka oluşturmasından ve geniş bir alanı kapsamından dolayı, zemin içinde yayılan kayma dalgalarının düşey yönde hareket edeceği kabul edilmiş ve bu kabulden dolayı, zemin içinde yayılan kayma dalgalarının düşey yönde hareket edeceği kabul edilmiş ve bu kabulden dolayı büyütme analizleri, eş değer doğrusal modelleme ile yapılmıştır. Manisa il merkezinin büyütme analizleri sonuçları Bölüm 3 de verilmiştir.

Deprem etkisi ile zeminlerin sıvılaşma ve oturma analizleri için geliştirilmiş farklı yöntemler literatürlerde mevcuttur. Bu tez kapsamında incelenen zeminlerde suya doygun kumlu zemine rastlanmadığı için sıvılaşma ve oturma analizleri yapılmamıştır. Bölüm 4 de sıvılaşma ile ilgili bilgi verilmiştir.

## 1. MANİSA İLİ

### 1.1. Manisa İlinin Morfolojisi ve Yapısal Konumu

Manisa ili; güneyde dik bir topografya sunan Spil Dağı ile kuzeyde düzlük alanı oluşturan Manisa ovası arasında yer almaktadır (Şekil 1.1.).

Spil dağının kuzey etekleri oldukça dik bir topografya konumunda olmasına karşın; şehir merkezi  $0^0 - 3^0$  ile  $3^0 - 6^0$  arasında değişen düşük eğime sahip alanda kurulmuştur. Eğimi  $6^0$ 'den büyük olan yerler kısa mesafede değişebilmektedir. Güneyde gözlenen dik topografya nedeniyle çok geniş alüvyon yelpazeleri oluşmuştur. Bu nedenle söz konusu vadilerin ovaya açıldığı bölgelerde derelerin her iki yanında taşkın alanları gelişebilmektedir.

Manisa'da bilinen en büyük fay; Manisa ovası ile Spil dağını sınırlayan Manisa Fayı'dır. Bu fay batıda Gürle köyü ile Manisa arasında doğu-batı istikametinde; Manisa'nın doğusunda Manisa-Turgutlu karayolu boyunca KB-GD istikametinde uzanmaktadır. Gediz grabenini oluşturan fay sisteminin devamı olan bu fay olası aktif özellik taşımaktadır. Fayın güney kesiminde eğimin yüksek olmasından kaynaklanan değişik boyutta pek çok heyelan gözlenmektedir.

### 1.2. Manisa İlinin Jeolojisi

Manisa ve çevresinde kuzeyden güneye doğru üç ana tektonik birlik yer alır. Bu birlikler kuzeyde Kozak-Kazdağ Masifi (Sakarya kıtası), ortada İzmir-Ankara Zonu ve güneyde Menderes Masifidir. Bu birlikler üzerinde Neojen ve Kuvaterner yaşlı birimler bulunmaktadır.

Bu bölümde kayaların stratigrafisini ortaya koymak amacıyla tektonik birlikler ayrı ayrı ele alınacak, daha sonra üstte yer alan (Neojen ve Kuvaterner) birimler anlatılacaktır.

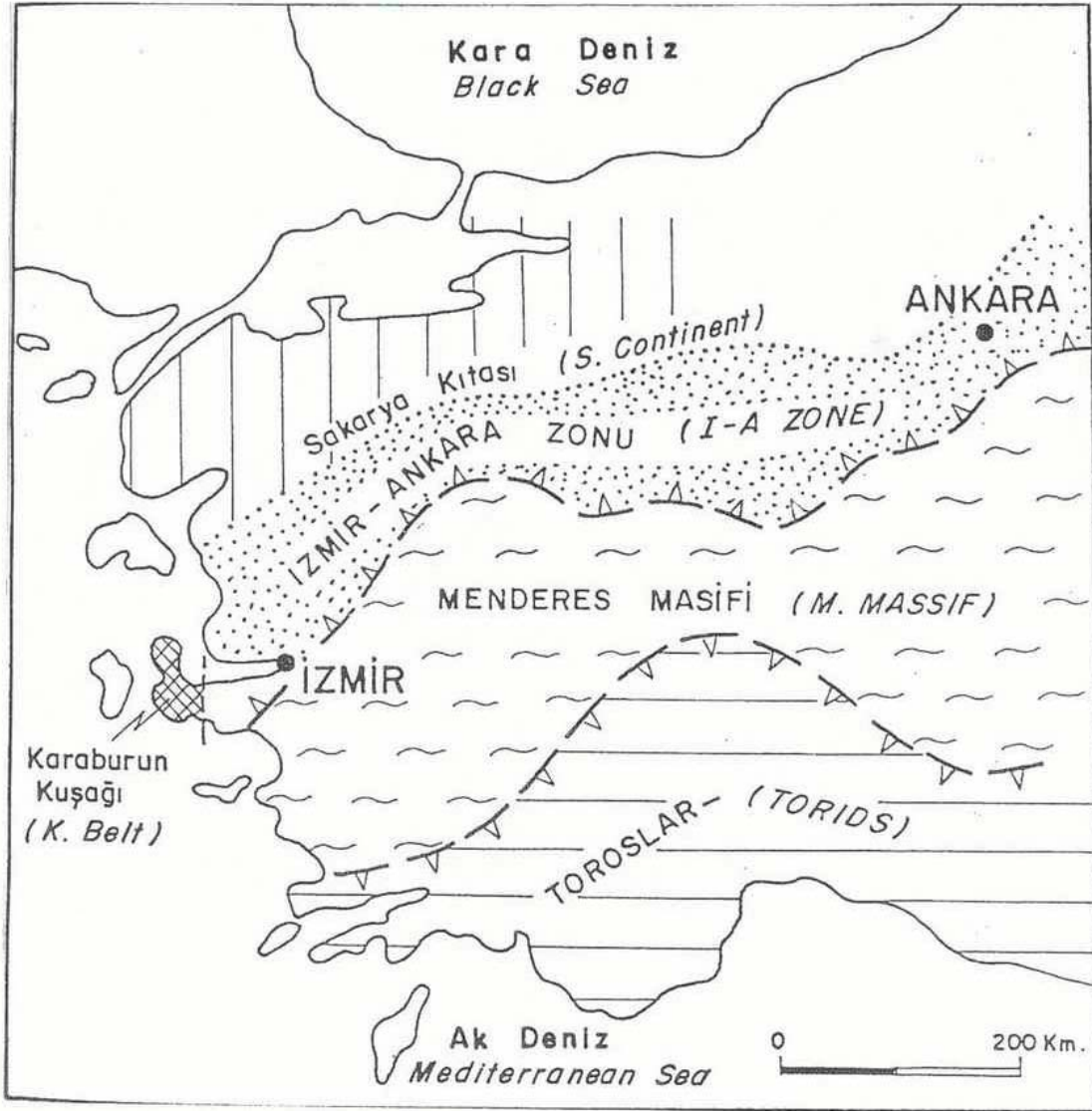
Birim adlandırmaları; KONAK vd. (1980), AKYÜREK ve SOYSAL (1983), ERCAN vd. (1980), AKDENİZ vd. (1985), LENGİRLİ vd.(1998) ve SÖNMEZ vd. (1998) tarafından yapılan çalışmalardan alınmıştır.

#### 1.2.1. Menderes Masifi Kayaları

Genel olarak kabul gören bilgilere göre masifin temelinde gözlü, granit ve bantlı gnayslar yer alır. Daha üstte sırasıyla metavolkanitler, şistler ve mermerler gelir. Menderes masifi kayalarının stratigrafik konumu genel olarak Paleozoyik yaşlı kabul edilmiştir. DORA vd. (1992)'ne göre ilk metamorfizma Kamriyen-Ordovisiyen aralığında, ikinci metamorfizma Paleosen-Geç Eosen aralığında meydana gelmiştir.







Şekil 1.2. Batı Anadolu'nun tektonik birlikleri

#### **1.2.1.1. Gnays**

Menderes masifi istifinin temelini oluşturur. Gözlü, granitik, bantlı ve migmatitten yapıli gnayslar olarak tanımlanmışlardır (DORA vd. 1992). Genellikle gri tonlarda, kahverengimsi ve sarımsı gri renkler hakimdir. Asidik metamorfiklere yakın kesimlerde potasyum-feldispat gözleri karakteristik görünümdeyir. Gnayslar içinde metavolkanit kalıntıları mevcuttur. Kalınlıkları 2-3 km'yi bulmaktadır.

#### **1.2.1.2. Mekavolkanit**

Gri, pembe, morumsu renklerde, kötü yapraklanmış sert ve masif görünümlü kayalardır. Yer yer porfirik dokuları belirgin olup ilksel volkanik karakterleri korunmuş olarak gözlenebilmektedir. Andazitten riyolite kadar değişen kimyasal bileşimleri vardır. Boyutları birkaç metreden birkaç km'ye kadar değişebilen metagabrolar sill ve stok konumunda olup, gnays ve asidik metavolkanitler içinde yer alır. Metagabrolar genellikle masif görünümlü ve ilksel magmatik doku ve mineral bileşimleri büyük ölçüde korunmuştur.

#### **1.2.1.3. Şist-İnce Taneli Gnays**

Genellikle gri tonlarda renk hakimiyeti vardır. Yönlenme ve şistozite önemli ölçüde gelişmiştir. Yer yer uzun eksenleri birkaç metreyi bulan 0.3-0.5 metre kalınlığında kuvarsit mercekleri mevcuttur.

#### **1.2.1.4. Mikaşist**

Menderes masifi içindeki en yaygın kaya gurubudur. Genellikle gri ve grinin tonları, yeşil-gri ve koyu gri renkler hakimdir. Alt kesimlerde disten-stavrolit-granat şistler hakim iken üste doğru biotit-muskovit şistler ağırlık kazanır. Kalınlıkları 4 km'ye kadar ulaşabilir.

#### **1.2.1.5. Mermer**

Masifin şist zarfını en üste doğru mermerler örter. Zaman zaman şistlerle mermerler ardışık olup yer yer geçişlerde kalkışistler gözlenir. Mermerler genellikle beyaz, bej, açık gri, siyahımsı gri, yer yer pembemsi renkler gösterir. Bazı alanlarda dolomitik mermerler mevcuttur.

### 1.2.2. İzmir-Ankara Zonu Kayaları

Eski çalışmalardan elde edilen veriler ışığında genel olarak kabul edilen görüşlere göre; muhtemelen Triyas'ta Menderes masifi ile Sakarya kıtası arasında gelişen okyanusa ait kabuk Üst Kretase'de Sakarya kıtasının altına dalmaya başlamıştır. Paleosen'de iki kıtanın çarpışması ile okyanusa ait çökeller ve deniz altı volkanitleri güneye doğru taşınmıştır. Bir kuşak boyunca ilksel özelliklerini kaybetmiş olan bu tortulların ve volkanitlerin yayılım gösterdiği alana "İzmir Ankara Zonu" adı verilmiştir.

Manisa il sınırları içinde; Menderes masifi kayalarının kuzeyini ve kuzeybatısını İzmir-Ankara zonu kayaları kaplar. Esasen İzmir-Ankara zonu ile Sakarya kıtası arasında net bir sınır tanımlamak her zaman mümkün değildir. Bu nedenle Menderes masifinin dışında kalan temel kaya gurubunun tümü İzmir-Ankara zonu olarak değerlendirilmiştir.

#### 1.2.2.1. Çömlekçi Formasyonu

Çakıldaşı-kumtaşı-silttaşı aralanmaları, yer yer kireçtaşı mercekleri içeren birim Gökbel formasyonu ile geçişlidir. Çakıldaşları; boz, açık kahve, kızıl, kumtaşları; kahve, kirli krem, yeşilimsi renklidir. Kalınlığı 40 metre civarında olan formasyonun yaşı Alt-Orta Triyas'tır.

#### 1.2.2.2. Gökbel Formasyonu

Başlıca gri renkli dolamitize ve sütbeyazı renkli kristalize sert kireçtaşlarından oluşur. Çoğu katmanları belirginsizleşmiş, kırıklarla yarılmış ve parçalanmıştır. Sıcak sığ denizel bir ortamı karakterize eden formasyon 300-500 metre arasında kalınlığa sahiptir. Fosil içeriğine göre Orta-Üst Triyas yaşı verilmiştir.

#### 1.2.2.3. Hasköy Formasyonu

Akhisar doğusunda geniş yayılımı görülen formasyonda yaygın renk gri ve yeşilimsi gri olup; çakıldaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı aralanması şeklindedir. Yer yer kireçtaşı mercekleri mevcuttur. Kalınlık 700-800 metreye erişebilir. Alt seviyede yer alan volkanitler yüksek basınç altında değişim geçirmiştir. Merceksel şekilli 50-100 m kalınlık gösteren bej-krem renkli kireçtaşları "Çaltıçukur Üyesi" olarak ayırdedilmiştir. Alt jura yaşı verilen formasyon üst sınırında "Görenez Kireçtaşı'na" geçer.

#### **1.2.2.4. Görenez Kireçtaşı**

Hasköy formasyonu üzerine gelen şelf karbonatları Görenez kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Pembe-kızıl, sarımsı-krem veya koyu renkli kireçtaşı mercekleri ile başlar; detritik-kireçtaşı araldanması sonucu açık renkli kireçtaşlarına geçer. Üst sınırında Ulupınar ve Eydemirçay formasyon tarafından tektonik dokanakla üstlenir. Kalınlık 150-600 metre arasında değişmektedir. Görenez kireçtaşı yaş olarak Liyas'tan Üst Kretase kadar devam eden bir seri olarak saptanmıştır.

#### **1.2.2.5. Kızılcaöğüt Formasyonu**

Gri, mavimsi, yer yer beyaz renkli dolomitik kireç taşları Kızılcaöğüt formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kalınlık ölçülemeyen birim metamorfitle uyumsuz dokanak oluşturur. Göreceli olarak yaş Jura olarak verilmiştir.

#### **1.2.2.6. Ulupınar Formasyonu**

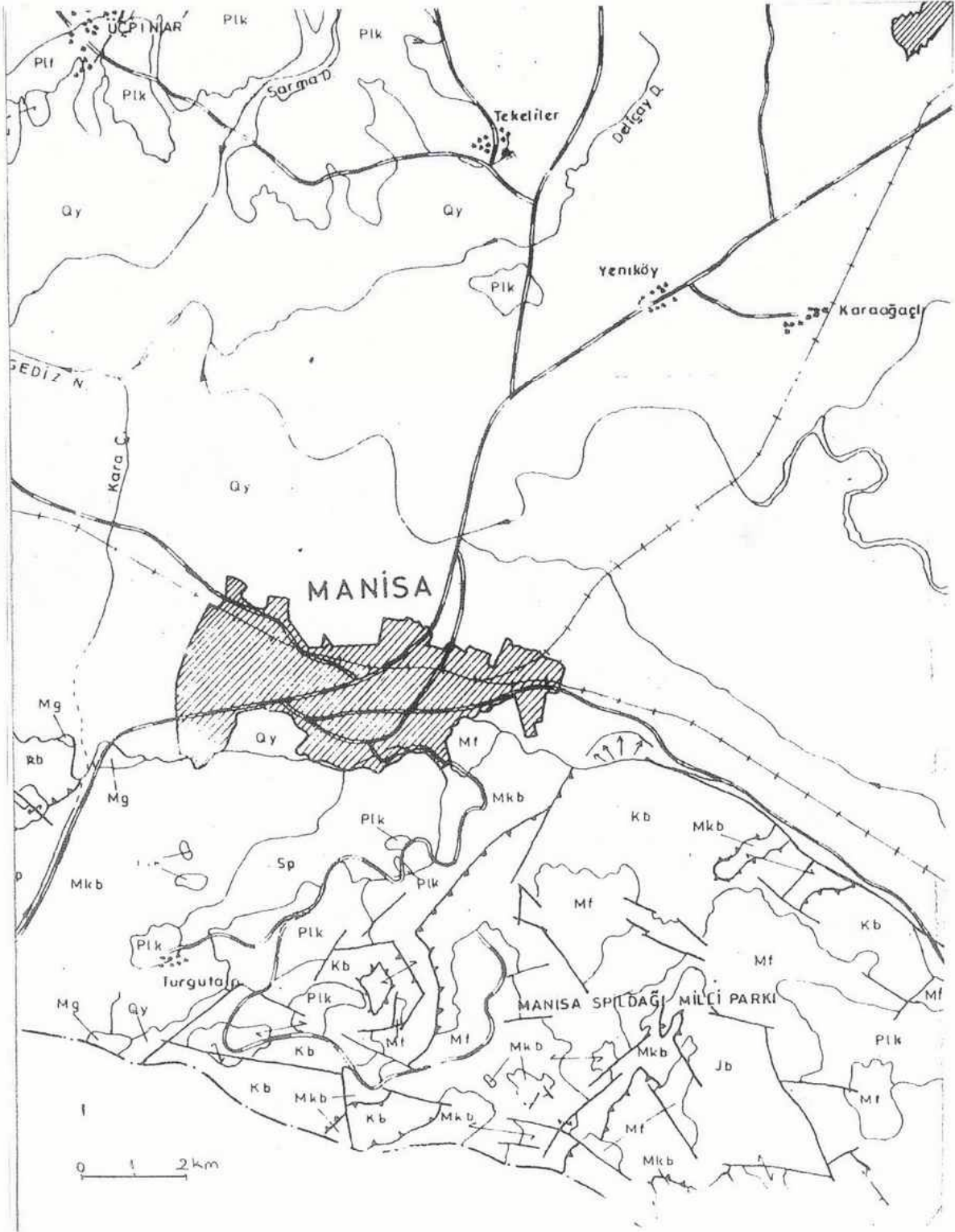
Görenez kireçtaşı ile Eydemirçay formasyonu arasında yer yer yüzeyleyen, bazen Eydemirçay formasyonuna bağlı olarak gözlenen çeşitli boyutta kireçtaşlarını blok olarak içeren, vahşi filiş görünümlü birimdir. Belirgin tabakalaşma göstermeyen çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve bloklar karmaşık bir yapı sunar. Yer yer mercekli özellikte kireçtaşları mevcuttur. Fosil kapsamına göre Alt Kretase yaşı verilmiştir.

#### **1.2.2.7. Eydemirçay Formasyonu**

Geniş yayılım gösteren jeosenkinal fasiyesindeki çökel kayalar, çökellerle ilksel ilişkili volkanit kayalar ve ultramafik kayalar Eydemirçay Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon; kumtaşı, marn, şeyl, çamurtaşı, çört, kireçtaşı, gabro, diyabaz, aglomera, tüfit, peridotit, serpantinit, amfibolit ve silisifiye kayalardan oluşur. Üst Kretase yaşlı birimde kalınlık değişkendir. Formasyon içindeki üyeler; ultramafik, Karpuzsavuran üyesi (Kireçtaşı), Sarılar üyesinden (radyolaryalı kireçtaşı) oluşur.

#### **1.2.2.8. Vezirler Melanjı**

Formasyon; çeşitli boyutlarda ultramafit, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, çamurtaşı, tüf, mermer vb. Değişik litolojik birimlerin karmaşığıdır. Melanj içindeki ultramafitler çoğunlukla serpantinleşmiş



Şekil 1.3. Çalışma alanı jeoloji haritası (Metli ve diğ., 2001'den)



peridotitlerden (harzburgit, dunit, lertzolit) oluşmuştur. Çatlaklarda küçük manyezit ve asbest oluşumları izlenir. Yaş Üst Kretase olarak verilmiştir.

### **1.2.2.9. Bornova Karmaşığı-İzmir Filişi**

İzmir-Ankara zonu kayaları içinde yer alan, filiş karakteri gösteren çakıltası-kumtaşı-şeyl-marn-kireçtaşı ardalanması gösteren birimdir.

### **1.2.2.10. Başlamış Formasyonu**

Akhisar kuzeydoğusundaki Başlamış köyünden adını alan formasyon altta çakıltalarıyla başlar, daha üstte kumtaşı, kireçtaşı ve marnlardan oluşur. Altta bulunan Eydemirçay formasyonu ile uyumsuz dokanağı vardır. Fosil kapsamına göre Eosen yaşı verilen birim; Anadolu'da yaygın olarak gözlenen Eosen denizinin batı ucunu oluşturduğu formasyonu isimlendiren araştırmacılarca belirtilmektedir. Kalınlık 650 metre civarında ölçülmüştür.

### **1.2.3. Neojen Yaşlı Kayalar**

Manisa il sınırları içinde ve çevresinde yer alan Neojen (Miyosen-Pliyosen) yaşlı birimler, farklı çalışmalarda birçok araştırmacı tarafından haritalanmıştır. Haritalar üzerinde yapılan karşılaştırmalarda; yaş, litolojik tanımlama, adlandırma, dokanak uyumu vb. özellikler incelendiğinde çalışmalarda birliktelik sağlanmasının her zaman mümkün olmadığı görülmektedir. Ayrıca Neojen'de aktif olan volkanitler; seviye olarak eş birimleri ortaya koymayı ve sağlıklı karşılaştırma yapmayı güçleştiren bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle Neojen kayalar için bazı genellemelere gitmek kaçınılmaz olmuştur.

Batı Anadolu'da Miyosen veya Pliyosen olarak bilinen birimler; akarsu ve göl çökelleriyle volkanitlerden oluşmaktadır. Litolojik olarak çakıltası-kumtaşı-silttaşı-kiltası-marn-kireçtaşı ardışıklı izlenen çökel kayalar oldukça geniş alanlarda gözlenir. Özellikle Soma civarında Neojen içinde önemli kömür oluşumları mevcuttur.

Yapılan sınıflamada eski çalışmalarda verilmiş formasyon ve üye isimlerini dikkate almadan kiltası-marn-kireçtaşı gibi birimlerle çakıltası-kumtaşı-silttaşı gibi kırıntılar ayırdedilmiştir. Kuşkusuz birimler kendi içinde her zaman homojen özellikler göstermediği için zaman zaman ağırlıklı olan tercih edilmiştir.

Neojen yaşlı volkanizma Batı Anadolu'da uzun süre aktivite göstermiştir. Yaş konusunda farklı görüşler mevcuttur. Muhtemelen Orta-Üst Miyosende başlayan faaliyetin Pliyosende de sürdüğü söylenebilir. Bu süreç içinde iki adet yoğun volkanizma görülür. İki büyük aktivite arasında da zaman zaman havzalara gelmiş volkanik ürünler tortullar arasında gözlenir. İlk yoğun

volkanizmada riyolit, dasit gibi asidik karakterli kayalar ağırlıklı olarak gözlenir. İkinci yoğun volkanizmada andezitik ve bazaltik ürünler söz konusudur. Bu volkanitlerin yerleşimi ile Kula çevresi hariç bugünkü morfoloji oluşmuştur.

#### **1.2.4. Kuvaterner Yaşlı Kayalar**

Manisa il sınırları içinde yayılım gösteren Kuvaterner oluşumlar oldukça geniş alanları kaplar. Kuvaterner detritik, Kuvaterner volkanitler, Kuvaterner alüvyon, yamaç molozu, traverten olarak alt gruplara ayrılabilir.

Kuvaterner detritik olarak ayrılan birim eski çalışmalarda; Pleyistosen yaşı verilip formasyon olarak adlandırılmış ya da eski alüvyon olarak gösterilmiş, ağırlıklı olarak kırıntılı, yer yer kiltası-çamurtaşı-kireç taşı içeren genç oluşumlardır. Genellikle Gediz nehri güneyinde bir kuşak olarak izlenir.

Kula çevresinde yer alan genç volkanitler için radyometrik metotla Kuvaterner yaşı saptanmıştır(ERCAN,1993). Yapılan çalışmalarda volkanik etkinliğin üç evre olarak geliştiği belirtilmektedir. Her üç evrenin kimyasal özellikleri birbirine yakın olup, yüksek alkali bazaltik kayalardan oluşmaktadır. İlk evrenin yaşı 1.1 milyon yıl, ikinci evreninki 80-90 bin yıl, üçüncü evrenin yaşı ise 20 bin yıl olarak bulunmuştur. Demirköprü baraj gölü kıyısında bulunmuş olan insanlara ait ayak izleri, üçüncü evrenin türleri içinde yer almaktadır.

Genç travertenler termal sulara bağlı olarak oluşmuşlardır. Kuvaterner alüvyonlar özellikle Gediz ve Bakırçay ovasında geniş alanları kapsar.

### **1.3. Manisa İlinin Depremelliği**

Manisa ilinin batısında Bergama-Menemen arası, kuzeydoğusunda Simav fay zonu, güneydoğusunda ise Büyük Menderes grabeninin doğu ucunda diri faylar bulunmaktadır. İl sınırları içerisinde ise Soma-Kırkağaç-Gölcük yöresi ve Gediz grabeni diri fayları bulunmaktadır. Bu faylar çok eski tarihi devirlerden bu yana oluşan depremlerin kaynakları olarak Manisa'yı etkilemiştir.

Bu çalışmada; ilke olarak Kuvaterner'den (1.7 milyon yıl-günümüz) beri hareket ettiği bilinen ya da hareket etme olasılığı olan faylar "Diri Fay" olarak tanımlanmıştır (METLİ ve diğ., 2001).

#### **1.3.1. Bergama – Menemen Arası Diri Faylar**

Bergama – Menemen arasında yaygınlık gösteren faylarda genelde iki ana doğrultu egemendir. Kuzeyde bulunanlar KD-GGB, güneydekiler ise KB-GD doğrultuludur. Kuzeyde Yenişakran–Bergama arasında yer alan KB-GGD doğrultulu olan faylar daha belirgindir ve süreklilik



gösterirler. Bu faylar genellikle Üst Miyosen (10-5 milyon yıl) – Miyosen (24-5 milyon yıl) yaşlı Soma formasyonuna ait kireçtaşları ile yine aynı yaştaki Yunt dağı volkanitlerinin tuf, andazit ve dasitlerini kesmektedir. Yer yer Kuvaterner çökelleriyle bunlar arasında dokanak oluştururlar. Buna karşılık Menemen kuzeyine raslayan ve KB-GD uzanımlı olanların boyları kısa, oluşturdukları zon ise geniştir. Genelde Yunt dağı volkanitlerini kesmektedir.

Hava fotoğraflarındaki morfolojik görünümünün yanında, arazi gözlemleriyle de doğrultu atımlı oldukları doğrulanmıştır. Özellikle Bergama-Yenişakran arasında birbirine paralel uzanan üç faydan en doğuda bulunanın fay düzleminde sağ yönlü doğrultu atımı belirleyen veriler toplanmıştır. Güneydeki KB-GD doğrultulu olan fayların ise morfolojik birimlerdeki olası ötelenmeler yorumlanarak sol yönlü doğrultu atımlı olmaları gerektiği sonucuna varılmıştır. Miyosen-Pliyosen (5-1.7 milyon yıl) yaşlı kaya topluluklarını etkilemelerinin yanında günümüz morfolojisini de az çok denetlemeleri nedeniyle bu alandaki faylar olası diiri olarak haritalanmıştır.

Bergama-Yenişakran arasında sağ yönlü doğrultu atımlı fayların Soma yöresindeki faylarla bölgesel bir karşılaştırması yapılacak olursa bunların aynı doğrultuda buldukları ve en echelon sıçramalar yaptıkları görülür. Sağ yönlü olmaları nedeniyle en echelon sıçramalara karşılık gelen Bergama-Soma arasında Bakırçay ovasının Soma GD'sundaki Kırkağaç ovasının olasılıkla çek-ayır tipi havzalara karşılık gelebilecekleri yorumlanabilir. Aynı karşılaştırma Aliağa yöresinde KKD-GGB ve KB-GD doğrultulu fayların kesiştikleri alanın batısı için de yapılabilir. Foça-Aliağa arasına düşen bu alan olasılıkla bir sıkışma, kıvrımlanma bölgesine karşılık gelebilir.

### **1.3.2. Soma – Kırkağaç – Gölcük Yöresi Fayları**

Soma-Akhisar-Bigadiç arasında genel doğrultuları KKD-GGB olan ve birbirine paralel uzanan, 40 km. genişliğinde bir alana dağılmış bulunan birçok fay yer almaktadır.

Tanımlanan alandaki faylar, Soma-Kırkağaç ve Gölcük-Gelenbe olmak üzere iki yörede zon şeklinde bir guruplama gösterirler ve bu iki zondaki faylar kuzeyde birbirine yaklaşan bir demet görünümü sunarlar. Bu faylar için ayrıntılı veriler toplanamamıştır. Genelde üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkano-sedimanterleri kesen faylar yer yer Jura (210-145 milyon yıl) yaşlı Kırkağaç Formasyonuna ait kireçtaşları ile Halılağa grubuna ait Alt Triyas (245-240 milyon yıl) yaşlı volkano-sedimanter kaya topluluklarını kesmekte veya bunlarla daha genç kayalar arasında dokanak oluşturmaktadır.

Yöre morfolojisini denetleyen fayların sınırlı verilerle doğrultu atımlı ve normal fay bileşenli oldukları söylenebilir. Uzanımlarına göre dik veya dike yakın fay düzlemlerine sahip olmaları gerektiği, doğrultu atımlı olabileceklerine yorumlanır. Yine fay zonları arasındaki havzaların morfolojik yapısı doğrultu atıma bir veridir. Bu bölgenin batısında yer alan ve Soma yöresiyle

yaşıtlı olduğu düşünölen, Bergama-Menemen arasındaki aynı doğrultudaki faylarda saptanan sağ yönlü doğrultu atımlı özelliğinin Soma-Kırkağaç-Gölcük yöresindeki faylar için de geçerli olabileceği düşünölmektedir.

Bu yöredeki fayların Pliyosen ve özellikle Kuvaterner çökellerini etkiledikleri kesin olarak saptanamamıştır. Ancak yöre morfolajisini denetlemeleri nedeniyle olasılı diiri olarak haritalanmıştır. Yörenin yapısal evriminde de önemli rol oynadıklarının düşünölməsi haritalanmalarında etkili olmuştur. Ayrıca 15.11.1945 tarihli Bigadiç depremine ait eş hasar eğrilerinin Gölcük yöresinde bu fayların doğrultusunda uzanmaları bu fayların diiri olma olasılığını arttırmaktadır.

### 1.3.3. Gediz Grabeni Diiri Fayları

Menderes Masifi'nin kuzeyine karşılık gelen Kemalpaşa-Sarıgöl arasında 140 km. uzunluğunda kabaca D-B uzanımlı ve güneye iç bükey olan bir çöküntü havzası yer almaktadır. Kenarları normal faylarla sınırlı olan bu çöküntü havzası graben özelliğinde olup, Gediz Grabeni olarak adlandırılmıştır. Doğu ucunda daralarak sonlanan, buna karşılık batı bölümünün morfolojik sınırlarını çizmenin zor olduğu bu alanda graben yapısı özellikle Sarıgöl-Salihli arasında belirgindir.

Grabeni çevreleyen yüksek bölümleri oluşturan metamorfitletler gnays, mermer, kuvarsit ve şistlerden oluşur. Grabeni sınırlandıran faylardan bazıları bu metamorfik temel kayalarla Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökel kayalar arasında dokanak oluşturmaktadır. Genelde grabenin kenarlarında yüzeylenen Üst Miyosen yaşlı kireçtaşı, konglomera ve kumtaşları; Pliyosen yaşlı kumtaşı ve kireçtaşlarının oluşturduğu kayalarla tutturulmamış detritiklerden oluşan Kuvaterner çökelleri graben fayları tarafından kesilmiştir.

Gediz grabenini kuzeyden sınırlayan fayların izlenebilen en batı ucu Marmara gölü, KD'suna da kuzeyden güneye doğru kabaca birbirine paralel dört fay görölmektedir. En kuzeyde yer alan yaklaşık 9 km. uzunluğundaki fay Menderes masifi metamorfitletleri içerisinde izlenir ve Pliyosen yaşlı aşınım yüzlerini keser. KB-GD doğrultusundadır ve aşınım yüzeylerini güneye doğru basamaklandırmıştır. Bu fayın güneyinde 10 km. uzunluğunda ve K64B genel doğrultulu ikinci bir fay yer alır. Bu fay batıda metamorfitletlerle Pliyosen (1.7-0.01 milyon yıl) yaşlı kayalar arasında dokunak oluşturur. Doğu bölümünde tamamen metamorfitletler içerisinde uzanır ve Kırdamları yöresinde son bulur. Daha güneyde yer alan diğere fay ise Yağlıbasan-Sarısığırlı köyleri arasında uzanır. Yaklaşık 28 km. uzunluğunda ve genel doğrultusu KB-GD olan bu fay güneye hafif kavislidir. Metamorfitletlerle Pliyo-Kuvaterner (5 milyon yıl-günümüz) yaşlı kayaları birbirinden ayırmaktadır. Fayın 1-2 m.'lik düşey atımı gözlenmiştir. Bu fay ve güneyinde yer alan yaklaşık 15 km. uzunluğundaki diğere bir fay Villafrankiyen (4.5-1.0 milyon yıl) yaşlı aşınım

yüzeylerini basamaklandırmıştır. Kemerdaamları köyünden geçen bu fay genç alüvyon yelpazelerini etkilemiştir.

Grabenin doğusuna doğru Pleyistosen çökellerinin sınırını oluşturan diğer önemli bir fay Donbaylı-Ziyanlar köyleri arasında uzanır. Bu fay yaklaşık 52 km. uzunluğundadır. Batıdan doğuya doğru önce K30B doğrultusunda olan fay Mevlütlü köyü doğusunda K72B doğrultusunda, en doğu ucunda ise yine K30B doğrultusuna döner. Ziyanlar'dan sonra yaklaşık 3 km. uzunluğundaki bir kısmı D-B doğrultusundadır. Fay düzlemi Serinyayla'da  $47^{\circ}$  GB'ya eğimlidir. Fay D-B doğrultuludur ve GD ucunda düzlemin eğimi  $45^{\circ}$  G 'dir.

Serinyayla-Ziyanlar arasındaki fayın güneyinde, grabenin tabanına doğru, Kuvaterner çökellerini etkileyen pek çok normal fay vardır. Bunlar topografyada basamaklı bir morfoloji oluşturmuşlardır. Bu alanda Pliyosen çökelleri üzerine gelen alüvyon yelpazelerinin söz konusu faylar tarafından kesilmiş oldukları izlenmiştir. Bu yelpazelerde tabakalar KD'ya doğru eğimlenmiştir. GD'ya doğru havzayı sınırlayan fay Çöpköy-Boğazçiftlik köyleri arasında yer alır. Yaklaşık 16 km. uzunluğunda olan bu fay K40B genel doğrultusundadır ve kavisli bir uzanım gösterir.

Grabenin kuzey bölümünde yer alan tüm bu faylar eğim atımlı normal faylar olup fay düzlemleri değişik açılarla güneye eğimlidir.

Grabenin güneyini sınırlayan eğim atımlı normal faylardan en güneyde yer alanı metamorfitlele Miyosen yaşlı çökel kayaların dokanağını oluşturmakta ve Pliyosen yaşlı aşınım yüzeylerini kesmektedir. Bu fay batıda Turgutlu güneyindeki Hamzababa köyünden başlar ve doğuda Sarıgöl yöresindeki Avşar Köyüne kadar aralıklı olarak 85 km. uzunluğundaki bir alanda izlenir. Yer yer sıçramalar yapan bu fay tipik olarak Çaypınar dolayında izlenir. Genel uzanımlı D-B olup güneye iç bükey geniş bir yay şeklindedir. Birbirini tamamlar nitelikte birçok faydan meydana gelir.

Bu fay ile graben tabanı arasında yer alan bölümde zon şeklinde gelişmiş pek çok fay bulunmaktadır. Bunlar Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökel kayalar içerisinde izlenir. Fay zonlarında yer yer güneydeki metamorfik temel yüzeylenmektedir. Turgutlunun güneydoğusunda, Yardibi-Çıkrıkçı arasında Villafrankiyen yaşlı aşınım yüzeylerini kesen bir fay zonu izlenir. Bunun kuzeyinde Holosen (0.01 milyon yıl-günümüz) yaşlı alüvyon yelpazesini denetleyen ve temel kayaları kesen bir fay daha yer alır. Fay düzlemi ve aynası açıkça izlenebilen bu fayın düzleminin doğrultusu K75B, eğimi ise  $83^{\circ}$  KD'dur. Söz konusu fay Akçapınar-Gökkaya köyleri arasında metamorfitlele alüvyonların dokanağını oluşturur. Tipik olarak Gökkaya-Akpınar arasında izlenen bu fay aslında, batıda Armutlu'dan başlayıp doğuya doğru Ahmetli-Salihli-Alaşehir-Sarıgöl'e kadar uzanan, graben tabanına en yakın olan ve genç alüvyonlarla daha yaşlı kayalar arasında genelde dokanak oluşturan yaklaşık 110 km. uzunluğundaki fayın bir bölümüdür. Doğrultuları birbirini tanımlar nitelikte parçalardan oluşan ve

depremsellik açısından önem taşıyan bu büyük fayın düzleminin eğimi değişkendir ve genelde kuzeye eğimlidir.

Grabenin güneyinde yer alan eğim atımlı normal fayların pek çok yerde KD-GB ve KB-GD yönlü oblik ve doğrultu atımlı kesildiği ve bu eğim atımlı normal fayların listrik özellikleri bulunduğu belirtilmiştir.

Grabenin güney bölümündeki faylar genelde güneyden kuzeye doğru gençleşmektedir. Alaşehir'in güneydoğusunda Bahçeşehir-Elemlî arasındaki fay çok belirgin olup, düzlemi  $42^{\circ}$  KD'ya eğimlidir. Bu fay miyosen çökellerini ve Pliyosen aşınım yüzeylerini birlikte kesmektedir. Bunun önünde yer alan faylar ise daha genç birimleri kesmiş ve Pleyitosen akarsu şebekesini etkilemiştir. Bunlardan Badınca ve Avşar barajı yöresinde yer alanların çok genç alüvyon çökellerini etkiledikleri gözlenmiştir. Bu veriler göre graben güneyi ana fayının Playistosen'de oluştuğu, bunun önündekilerin ise Holosen içerisinde geliştiği söylenebilir.

Gediz grabeni, yukarıda özellikleri tanıtılmaya çalışılan faylara göre eğim atımlı normal faylarla sınırlandırılmış bir graben özelliğindedir. Fayların düzlemleri  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  arasında değişir. Bazı alanlarda daha düşük eğimler görülür. Faylardaki bu özellik listrik nitelikte olduklarını göstermektedir. Fay düzlemleri genellikle düzdür ve fay blokları arasında yer alan çökel kayalarda kıvrımlanma gelişmiştir. Buna karşılık düşen blokların topografik yüzeyleri yükselen blok yönünde eğimlenmiştir. Graben tabanının Pliyosen sonrası, en az 1500 m. çöktüğü, bu değer de yılda 1 mm.lik çökmeye karşılık geldiği belirtilmiştir.

Yörenin kuzeydoğusunda, Kula bölgesinde, Kuvaterner yaşlı bazalt akıntıları yüzeylenmektedir. Bu akıntılardan bazıları sözkonusu faylardan etkilenmiş, 1 metrelik atımların olduğu gözlenmiştir. Kula-Köprübaşı arasında yer alan volkanitlerin çıkışına neden olan fayların Gediz grabeniyle ilişkisi olmakla beraber ayrı bir sistem şeklinde çalıştığı da tartışılabilir.

Yörede haritalanan fayların tümü jeolojik ve jeomorfolojik kıstaslara göre diridir. Ancak 1969 Alaşehir-Salihli depremiyle meydana gelen kırıkların konumuyla da desteklendiği gibi bu fayların masif kenarından graben tabanına doğru gittikçe gençleştiği görülmektedir.

#### **1.3.4. Büyük Menderes Grabeni Doğu Ucu Diri Fayları**

Grabenin doğu ucunu oluşturan ve Buldan-Honaz arasında yer alan faylar KD-GB doğrultuludur. Bu faylar genelde iyi izlenememekle beraber morfolojik olarak belirgindir. Ayrıca jeotermal amaçlı yapılan çalışmalarda da jeofizik yöntemlerle bu faylar ortaya çıkarılmıştır. Grabenin bu bölümünde Denizli-Babadağ arasında, KB-GD doğrultulu, yaklaşık 33 km uzunluğunda önemli bir fay yer almaktadır. Fayın düzlemi KD'ya eğimli ve yüksek açılıdır. Babadağ fayı olarak da adlandırılmış olan fay Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökellerle güney bloktaki Paleozoyik (590-245 milyon yıl) yaşlı şistler ve Mesozoyik (245-65 milyon yıl) yaşlı kireçtaşları arasında dokanak oluşturur.

### 1.3.5. Simav Fay Zonu

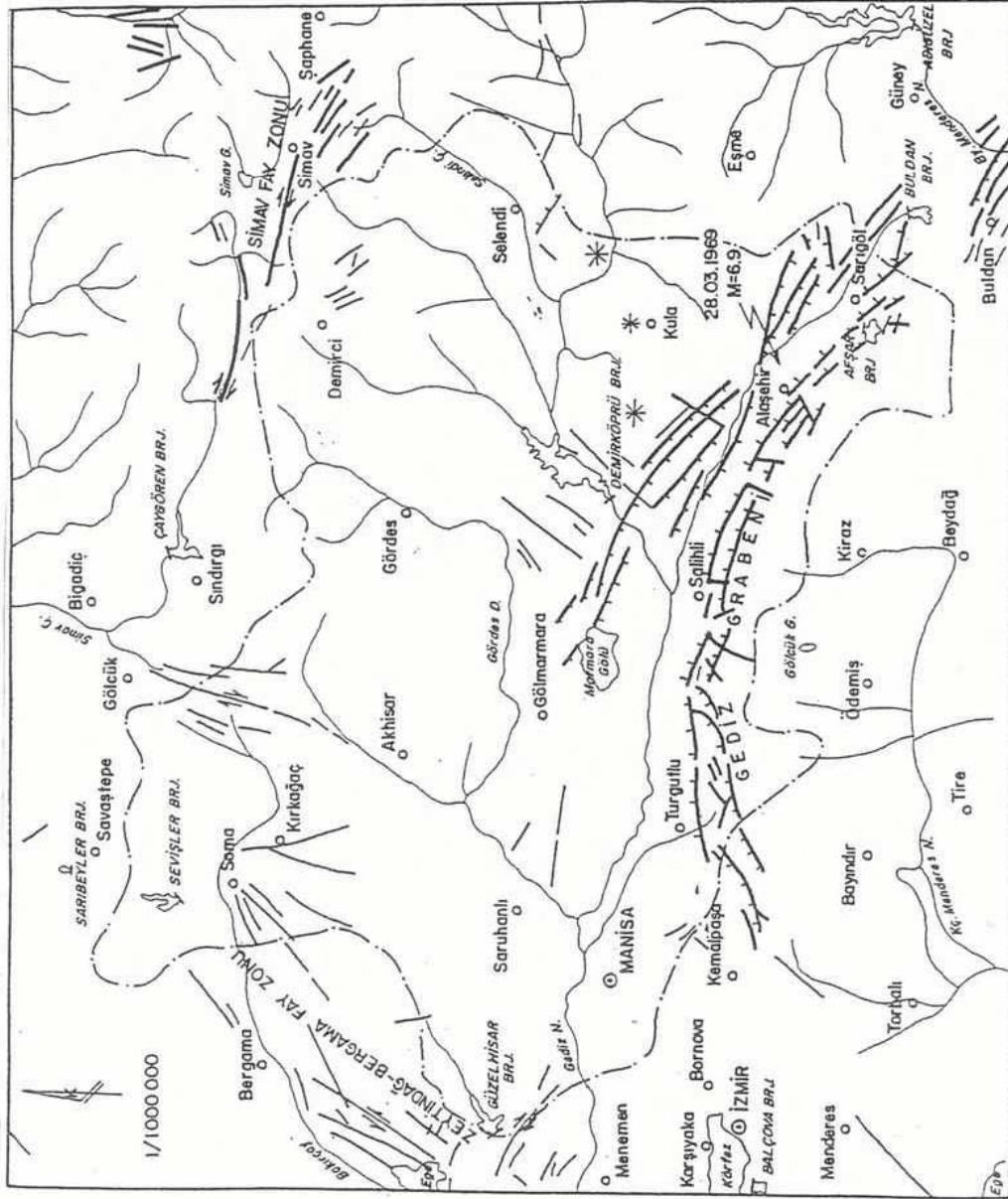
Simav yöresinde BKB-DGD doğrultusunda uzanmakta ve Simav ovasını güneyden sınırlamaktadır. Akdeniz ve Konak 1979'da bu fayın Sındırgı (Balıkesir), Abide (Kütahya) arasında 150 km. lik bir uzunluğu olduğunu belirtmiştir. Yazar, aynı araştırmasında fay zonunun sağ yönlü doğrultu atımlı fay niteliğinde olduğunu ancak, fayın son hareketlerinde düşey bileşenin ağırlık kazandığını belirtmiştir. Metamorfizma kuşaklarının iki bloktaki konumlarını değiştirerek 5.5-6 km. dolayında atım öngörmektedir.

Yapılan çalışmalarda fayın Simav merkez olmak üzere yaklaşık 55 km. lik bölümünün diri olabileceği sonucuna varılmıştır. Genel doğrultusu K70B olan bu zonda, Simav'ın güneyinde birbirine paralel birçok fay yer almaktadır. Simav'ın 15 km. batısında fay kuzeye doğru bir sıçrama yapmaktadır. Fayın doğrultusunun yer yer D-B'ya yaklaştığı dikkati çeker.

Akdeniz ve Konak'ın yapmış olduğu jeoloji haritasına göre Simav fay zonunun en uzun ve sürekli olan ana fayı Simav doğusunda Neojen (24-1.7 milyon yıl) yaşlı çökel ve volkanitlerden oluşan kaya birimlerini keser. Kalkan köyü güneyinde kuzey blokta Paleozoyik yaşlı şist, gnays, migmatitler güney blokta ise yine Neojen çökelleri yer alır. Simav doğusunda Neojeni kesen fay yer yer Kuvaterner çökellerinden geçmektedir. Simav batısında 11 km. lik bir alanda Paleozoyik yaşlı kayalarla alüvyonların dokanağına rastlayan fay Ahmetli doğusunda yine Neojen yaşlı kayaları kesmektedir. Buradan Aksaz köyü batısına kadar yer yer Neojeni sınırlandırarak uzanan fay daha batıda olasılıkla Kuvaterner yaşlı yelpaze çökellerini etkilemiştir. Zonun kuzeybatı ucunu oluşturan diğer fay ise yaklaşık 24 km. uzunluğundadır. Yağcılar yöresinde Neojen çökelleri ile Simav çayı alüvyonlarını ayıran fayın batıya doğru Alt Kuvaterner'e (1.7-0.5 milyon yıl) ait olasılıkla seki dolguları veya yelpaze çökelleri olan tutturulmamış birimi etkilediği belirtilmiştir. Fay batı ucunda Permo-Triyas (290-210 milyon yıl) yaşlı şist ve kireçtaşları içerisinde belirsizleşir. Simav'ın güneyinde yer alan ve birbirine paralel faylar ise Paleozoyik ve Permo-Triyas yaşlı şist ve kristalize kireçtaşlarından meydana gelen kaya birimlerini kesmektedir.

Fayın doğrultu atımlı faylara özgü morfoloji sunduğu gözlenmiştir. Özellikle fayın tek çizgi haline dönüştüğü doğu ve batı uçlarında tipik fay vadileri gelişmiştir. Batı bölümünde yer alan Simav çayı vadisinin Kuvaterner'de esas gelişim gösterdiği ve başlangıçta kuzeye boşalan Simav gölünün tektonik kökenli bir kapmayla Simav çayına akaçlandığı görüşü (Erer,1977) fayın diriliğine ilişkin en belirgin morfolojik örnektir. Simav ovasının fayın sıçrama yaptığı bir alana karşılık geldiği ilk bakışta dikkati çekmektedir. Önerilen sağ yönlü doğrultu atımlı fay için bu sıçrama geometrisinden hareketle Simav ovasının çek-ayır tipi havzaya karşılık geldiği görülür. Nitekim havzanın doğusunda yer alan Kuvaterner yaşlı volkanik çıkışlar bunu doğrular niteliktedir ve havzanın çok genç olduğunu belirleyen diğer bir veridir.

Simav fay zonunun Neojen ve Kuvaterner yaşı kaya topluluklarını kesmesi yanında morfolojik olarak da çok belirgin olması nedeniyle bu zondaki faylar diri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1.5. İzmir-Manisa çevresi diri fay haritası

## 2. İVME AZALIM (SÖNÜMLEME) İLİŞKİSİ

Literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiş korelasyonlara dayanan ivme azalım ilişkileri mevcuttur. Bu tez kapsamında kullanılan sönümleme ilişkileri öncelikli olarak Kaliforniya depremlerinin güçlü hareket verilerine dayanmaktadır. Tez kapsamında kullanılan denklemin ortaya çıkışı iki aşamadan meydana gelmiştir. Birinci aşamada K. Sadigh, C.-Y. Chang, J.A. Egan, F. Makdisi ve R.R. Youngs attenuation ilişkilerinin genel biçimini kullanarak regresyon analizleri ile PGA için denklem 2.1 i geliştirmiştir.

$$\ln(\text{PGA})=c_1+c_2 M+c_3 \ln(r_{rup}+c_4 e^{c_5 M})+c_6 Z_T \quad (\text{denklem 2.1})$$

İlerleyen zamanlarda bu formüle ek olarak yeni bir katsayı geliştirme ihtiyacı duyulmuştur. Analizin ikinci aşamasında spektral büyütme için ilişkiler PGA'nın kayıtlarıyla normalize edilmiş tepki spektral ordinat verileri birleştirilmiştir. Daha iyi çalışan, denklem 2.2 meydana gelmiştir.

$$\ln(\text{SA/PGA})=c_7+c_8 (8.5-M)^{2.5}+c_9 \ln(r_{rup}+c_4 e^{c_5 M}) \quad (\text{denklem 2.2})$$

Bu denklemlere ek olarak 1993 te Sadigh yakın mesafe yüksek frekans hareketleri için bir katsayı eklemiştir. Denklem 2.1 ve 2.2 yi birleştirerek denklem 2.3 ü elde etmiştir. Sonuç parametreleri  $4 < M < 8$  ve  $0 < r_{rup} < 100$  km koşulları için geçerlidir.

$$\ln(y)=c_1+c_2 M+c_3 (8.5M)^{2.5}+c_4 \ln[r_{rup}+\exp(c_5+c_6 M)]+c_7 \ln(r_{rup}+2) \quad (\text{denklem 2.3})$$

M:Depremin büyüklüğü (magnitüdü)

$r_{rup}$  : Fayın kırıldığı nokta ile hesap yapılan nokta arasındaki mesafe (km)

$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$  : Denklem katsayıları (Tablo 2.1)



**Tablo 2.1.** Sönümlenme ilişkisi denklem 2.3 için verilen katsayılar (Sading, 1993)

Pd (s)	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	c <sub>6</sub>	c <sub>7</sub>
<b>M ≤ 6.5</b>							
PGA	-0.624	1.000	0.000	-2.100	1.29649	0.250	0.000
0.07	0.110	1.000	-0.006	-2.128	1.29649	0.250	-0.082
0.10	0.275	1.000	-0.006	-2.148	1.29649	0.250	-0.041
0.20	0.153	1.000	-0.004	-2.080	1.29649	0.250	0.000
0.30	-0.057	1.000	-0.017	-2.028	1.29649	0.250	0.000
0.40	-0.298	1.000	-0.028	-1.990	1.29649	0.250	0.000
0.50	-0.588	1.000	-0.040	-1.945	1.29649	0.250	0.000
0.75	-1.208	1.000	-0.050	-1.865	1.29649	0.250	0.000
1.00	-1.705	1.000	-0.055	-1.800	1.29649	0.250	0.000
1.50	-2.407	1.000	-0.065	-1.725	1.29649	0.250	0.000
2.00	-2.945	1.000	-0.070	-1.670	1.29649	0.250	0.000
3.00	-3.700	1.000	-0.080	-1.610	1.29649	0.250	0.000
4.00	-4.230	1.000	-0.100	-1.570	1.29649	0.250	0.000
<b>M &gt; 6.5</b>							
PGA	-1.274	1.100	0.000	-2.100	-0.48451	0.524	0.000
0.07	-0.540	1.100	-0.006	-2.128	-0.48451	0.524	-0.082
0.10	-0.375	1.100	-0.006	-2.148	-0.48451	0.524	-0.041
0.20	-0.497	1.100	-0.004	-2.080	-0.48451	0.524	0.000
0.30	-0.707	1.100	-0.017	-2.028	-0.48451	0.524	0.000
0.40	-0.948	1.100	-0.028	-1.990	-0.48451	0.524	0.000
0.50	-1.238	1.100	-0.040	-1.945	-0.48451	0.524	0.000
0.75	-1.858	1.100	-0.050	-1.865	-0.48451	0.524	0.000
1.00	-2.355	1.100	-0.055	-1.800	-0.48451	0.524	0.000
1.50	-3.057	1.100	-0.065	-1.725	-0.48451	0.524	0.000
2.00	-3.595	1.100	-0.070	-1.670	-0.48451	0.524	0.000
3.00	-4.350	1.100	-0.080	-1.610	-0.48451	0.524	0.000
4.00	-4.880	1.100	-0.100	-1.570	-0.48451	0.524	0.000

## 2.1. Manisa İl Merkezi Taban Kayası İvme Değerinin Belirlenmesi

Manisa il merkezi taban kayası ivme değerini belirlemek için Manisa Bayındırlık Müdürlüğündeki istasyonun 9 temmuz 1998 Seferihisar depremine ait deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu veriler <http://angora.deprem.gov.tr> den elde edilmiştir.

$$M = 5.1 \quad r_{rup} = 82 \text{ km}$$

$$c_1 = -0.624 \quad c_2 = 1.00 \quad c_3 = 0.00 \quad c_4 = -2.10 \quad c_5 = 1.29649 \quad c_6 = 0.25 \quad c_7 = 0.00$$

$$\ln(y) = c_1 + c_2 M + c_3 (8.5M)^{2.5} + c_4 \ln[r_{rup} + \exp(c_5 + c_6 M)] + c_7 \ln(r_{rup} + 2)$$

$$y = 6.05 \text{ cm} / \text{sn}^2 \quad \Rightarrow \quad y = a_{\max} = 0.0062 \text{ g}$$

Manisa il merkezinin yakın çevresinde meydana gelebilecek, 4 ile 7 şiddeti arasındaki depremler için oluşabilecek taban kayası ivme değerleri denklem 2.2 kullanılarak hesaplanmış ve bulunan değerler Tablo 2.2. de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Manisa il merkezinde meydana gelebilecek taban kayası ivme değerleri (cm / sn<sup>2</sup> )

Yer	FOÇA	URLA	SEFERİHİSAR	ALAŞEHİR	DEMİRCİ	Deprem Meydana Geldiği Nokta
<b>Mesafe</b>	<b>58 km</b>	<b>68 km</b>	<b>72 km</b>	<b>95 km</b>	<b>100 km</b>	<b>82 km</b>
<b>Magnitüt</b>						
<b>7.0</b>	59.60	46.41	42.32	26.61	24.35	34.15
<b>6.8</b>	50.15	38.93	35.46	22.20	20.30	28.55
<b>6.6</b>	42.16	32.63	29.69	18.50	16.91	23.86
<b>6.4</b>	35.41	27.32	24.84	15.41	14.07	19.91
<b>6.2</b>	29.71	22.86	20.76	12.83	11.70	16.61
<b>6.0</b>	24.91	19.11	17.34	10.67	9.73	13.84
<b>5.8</b>	20.86	15.96	14.47	8.87	8.08	11.53
<b>5.6</b>	17.45	13.32	12.07	7.37	6.71	9.60
<b>5.4</b>	14.59	11.11	10.05	6.11	5.57	7.98
<b>5.2</b>	12.19	9.26	8.37	5.07	4.62	6.63
<b>5.1</b>	11.14	8.45	7.64	4.62	4.20	<b>6.05</b>
<b>5.0</b>	10.18	7.71	6.96	4.21	3.82	5.51
<b>4.5</b>	6.46	4.86	4.39	2.63	2.39	3.46
<b>4.0</b>	4.08	3.06	2.75	1.64	1.48	2.16

9 Temmuz 1998 Seferihisar depreminde Manisa il merkezinde maksimum yatay yüzey ivmesinin bileşke değeri;

$$a_{\max-L} = 5.5 \text{ cm / sn}^2, a_{\max-t} = 4.0 \text{ cm / sn}^2 \text{ (} \text{http://angora.deprem.gov.tr} \text{ adresinden alınmıştır)}$$

$$a_{\max} = \sqrt{5.5^2 + 4^2} = 6.8 \text{ cm / sn}^2 = 0.0069 \text{ g}$$

Manisa il merkezinde sismograf tarafından kaydedilen maksimum yüzey ivme değeri ile Bölüm 2 ve Bölüm 3 te yapılan analizlerden Manisa il merkezi zemin yüzeyi için elde edilen maksimum yüzey ivme değerleri uyum içindedir. Bölüm 2 ve Bölüm 3 teki analiz sonuçlarından elde edilen maksimum yüzey ivme değerleri Tablo 2.3 de verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri

Sondaj Kuyu No	Analizlerden Elde Edilen	Elde Edilen
	Maksimum Yatay	Yüzey İvmesi
	$a_{\max}$ (g)	$a_{\max}$ (cm/sn <sup>2</sup> )
SK 1	0.0075	7.36
SK2	0.0071	6.97
SK3	0.0068	6.67
SK4	0.0068	6.67
SK5	0.0068	6.67
SK6	0.0093	9.12
SK7	0.0068	6.67

$$a_{\max-sismograf} = 0.0069 \text{ g} = 6.8 \text{ cm / sn}^2 \text{ (Manisa il merkezinde sismograf ile ölçülen değer)}$$

Zemin tabakalarında kayma dalgası ( $V_s$ ) hızının belirlenmesinde Tonouchi ve diğ. (1983) tarafından önerilen (denklem 2.4) bağıntısı kullanılmıştır.

$$V_s = 97 \times N^{0.314} \text{ m / s} \quad (\text{N: SPT-N değeri}) \quad (\text{denklem 2.4})$$

### 3. DOĞRUSAL ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

Deprem esnasında zemin titreşimleri bir çok hasarın ana kaynağıdır. Bu hasarların önüne geçilebilmesi ve zemin davranışlarının önceden tahmin edilebilmesi için zemin davranış analizleri yapılmaktadır. Zemin davranış analizleri ile şunlar amaçlanır (Kapar, 2001).

- Deprem esnasında zemin yüzeyinde oluşacak hareketi tahmin ederek, tasarım spektrumlarını geliştirmek,
- Zeminlerde sıvılaşma ve oturma hesapları için oluşacak yüzey ivmesini tahmin etmek,
- Şev ve istinat yapılarının durağanlığını bozabilecek deprem kuvvetini belirlemek,
- Temeller, derin temeller, kazıklı temeller gibi yapılara gelebilecek etkileri belirlemek.

İdeal koşullarda, tam olarak yapılan zemin davranış analizinde; kırılma mekanizmasının depremin kaynağında modellenmesi gerekir. Taban kayasından çıkan gerilme dalgalarının ilerleyişi taban kayası ile zemin yüzeyi arasındaki zemin özelliklerine bağlıdır ve zemin tabakalarının yüzey hareketine nasıl etki ettiğine karar verilmesi gerekmektedir. Gerçekte fay kırılmasından dolayı zemin yüzeyine ve yapıya iletilen enerjinin belirlenmesi için yapılan yaklaşımlar, mühendisler tarafından pratikte uygulanması bakımından çok karmaşıktır. Uygulamada deprem kaynağı ile ele alınan nokta arasındaki iletilen enerjiyi tahmin etmek için deprem kayıtlarının özelliklerine dayanan ve literatürlerde bulunan ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Bu ilişkiler, sismik analizler ile beraber sahadaki taban kayası hareketinin özelliklerini tahmin etmek için kullanılır. Böylelikle zemin davranış analizi, zemin birikintilerinin taban kayasının ne kadar etkisi altında olduğuna karar verme haline indirgenir. Sismik dalgalar kayalarda kilometrelerce ilerleyebilmesine rağmen zemin içinde kat edeceği mesafe çok daha kısadır. Zemin yüzeyindeki ve taban kayasındaki deprem kayıtları arasında gözlenen büyük farklar dikkate alındığında zeminin yüzey hareketi üzerinde nasıl bir etki gösterdiği görülebilmektedir (Kramer, 1996).

Yerel zemin koşullarının deprem hasarları üzerinde etkili olduğu uzun zamandır bilinmektedir. 1920 den beri sismologlar ve son zamanlarda deprem mühendisleri, yerel zemin şartlarının, güçlü yer hareketleri üzerindeki etkilerini tahmin etmek için sayısal yöntemler geliştirmişlerdir. Bu tez kapsamında, Manisa zeminlerinde kayma dalgalarının düşey yönde hareket edeceği kabul edilmiş ve zemin davranış analizleri tek boyutlu olarak yapılmıştır.

Deprem esnasında, bazı alüvyon zeminlerin, zemin hareketini yerel zemin koşullarına bağlı olarak daha büyük değerlere ulaştırabileceği gözlenmiştir. Tez kapsamında Manisa il merkezinde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile zemin parametreleri hakkında sayısal bilgiler elde edilmiş olan, yüzeyden itibaren 10 m –12 m kalınlıktaki Keçiliköy yakınlarındaki zeminler için analizler yapılmıştır. Analizleri yapılan sondaj kuyularına ait zemin profilleri EK-1 ve EK-2 de verilmiştir. Burada yapılan analizlerde SHAKE bilgisayar programının versiyonu ve

Excel ortamında geliştirilmiş olan EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analysis) (J. P. Bardet et al, 2000) (<http://geoinfo.usc.edu/gees>, 2003) programı kullanılmıştır.

### 3.1. Zemin Davranış Analizleri İçin Eşdeğer Doğrusal Modelleme

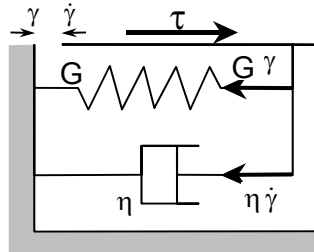
#### 3.1.1. Bir Boyutlu Gerilme – Deformasyon İlişkisi

Zemin gerilme – deformasyon ilişkisinin temsil edildiği eşdeğer doğrusal yaklaşım Şekil 3.1 de gösterilen Kelvin – Voigh modeline dayanmaktadır. Kayma gerilmesi  $\tau$ , kayma deformasyonu  $\gamma$  ve kayma deformasyon oranı  $\dot{\gamma}$  aşağıda gösterildiği gibi ilişkilidir.

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma} \quad (3.1)$$

$G$  kayma modülü,  $\eta$  viskozitedir. Bir boyutlu kayma çubuğundaki, kayma deformasyonu ve kayma deformasyon oranı,  $z$  derinliğine ve zamana bağlı olarak yatay yer değiştirmenin  $u(z,t)$ 'in fonksiyonu olarak tanımlandığında.

$$\gamma = \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} \text{ ve } \dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \partial t} \quad (3.2)$$



**Şekil 3.1.** Eşdeğer doğrusal yaklaşımda kullanılan gerilme-deformasyon modelinin şematik temsili

Hareketin tekrarlı olması durumunda, yer değiştirme, deformasyon ve deformasyon oranı;

$$u(z,t) = U(z)e^{i\omega t}, \quad \gamma(z,t) = \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = \Gamma(z)e^{i\omega t} \text{ ve } \dot{\gamma}(z,t) = i\omega\gamma(z,t) \quad (3.3)$$

$U(z)$  ve  $\Gamma(z)$  sırası ile yer değiştirme ve kayma deformasyonunun genliğidir. Denklem 3.3 ve gerilme – deformasyon ilişkisi (denklem 3.1) kullanılarak tekrarlı yük için denklem 3.4 elde edilebilir.

$$\tau(z, t) = \Sigma(z)e^{i\omega t} = (G + i\omega\eta) \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = G^* \gamma(z, t) \quad (3.4)$$

$G^*$  kompleks kayma modülü ve  $\Sigma(z)$  de kayma gerilmesinin genliğidir. Kritik sönümlenme oranı  $\xi = \omega\eta / 2G$  olarak tanımlandığında kompleks kayma modülü  $G^*$  aşağıdaki şekli alır.

$$G^* = G + i\omega\eta = g(1 + 2i\xi) \quad (3.5)$$

tam bir tekrarlı yüklemdeki enerji kaybı  $W_d$  gerilme – deformasyonun oluşturduğu kapalı alanına eşittir.

$$W_d = \oint_{\tau_c} \tau d\gamma \quad (3.6)$$

Deformasyon – düzgün yüklü tekrarlı hareket  $\left( \text{genlik, } \gamma_c \left( \gamma(t) = \gamma_c e^{i\omega t} \right) \right)$  durumunda denklem 3.6

$$W_d = \int_t^{t+2\pi/\omega} \text{Re}[\tau(t)] \text{Re} \left[ \frac{d\gamma}{dt} \right] dt \quad (3.7)$$

olur. Burada sadece gerilme ve deformasyon oranlarının reel kısımları göz önünde bulundurulmuştur (Meirovitch, 1967). Denklem 3.4 ün gerilme ve deformasyon oranlarının reel kısımları da göz önünde bulundurulduğunda;

$$\text{Re}[\tau(t)] = \gamma_c (G \cos \omega t - \omega\eta \sin \omega t) \quad \text{ve} \quad \text{Re} \left[ \frac{d\gamma}{dt} \right] = -\gamma_c \omega \sin \omega t \quad (3.8)$$

denklem düzenlendiğinde

$$W_d = \frac{1}{2} \omega \gamma_c^2 \int_t^{t+2\pi/\omega} [-G \sin 2\omega t + \omega\eta(1 - \cos 2\omega t)] dt = \pi \omega \eta \gamma_c^2 \quad (3.9)$$

olur ve sistemde depolanan maksimum deformasyon enerjisi;

$$W_s = \frac{1}{2} \tau_c \gamma_c = \frac{1}{2} G \gamma_c^2 \quad (3.10)$$

dir. Kritik sönümlenme oranı  $\xi$ ,  $W_d$  ve  $W_s$  terimleri ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\xi = \frac{W_d}{4\pi W_s} \quad (3.11)$$

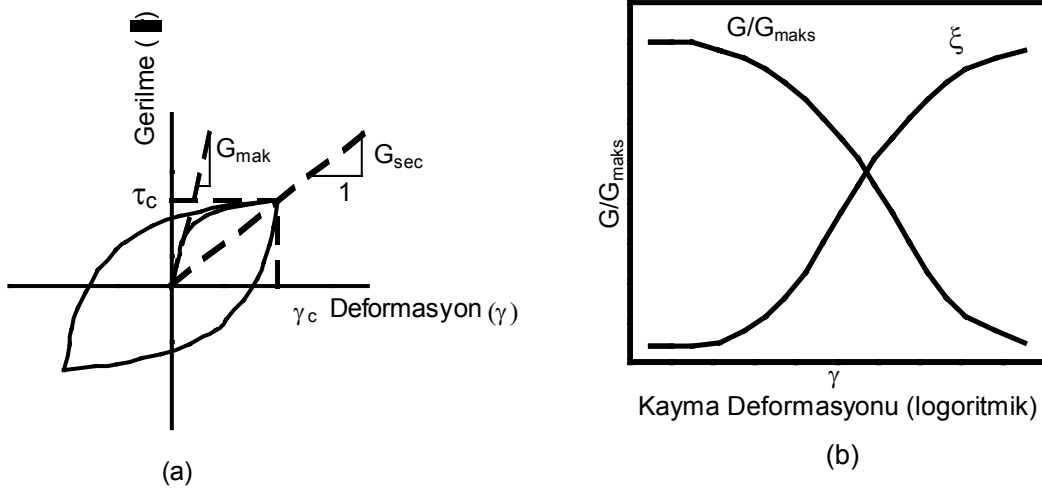
### 3.1.2. Doğrusal Olmayan Gerilme-Deformasyon Analizi İçin Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım

Eşdeğer doğrusal yaklaşım, doğrusal olmayan özellikteki bazı zemin tiplerinin davranışını açıklamak için Kelvin – Voigh modelinin değiştirilmesinden ibarettir. Devirsel yükleme durumunda zeminlerin doğrusal olmayan ve histeritik gerilme – deformasyon davranışı için geliştirilen yaklaşım Şekil 3.2 de gösterildiği gibidir. Eşdeğer doğrusal kayma modülü ( $G$ ), Şekil 3.2.a da gösterildiği gibi kayma gerilmesinin ( $\tau_c$ ) büyüklüğüne bağlı olan kayma modülünün sekantı ( $G_s$ ) olarak alınır.

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (3.12)$$

$\tau_c$  ve  $\gamma_c$  sırasıyla kayma gerilmesi ve kayma deformasyonun genliğidir. Eşdeğer doğrusal sönümlenme oranı  $\xi$ , kapalı histeritik gerilme deformasyon eğrisinin bir devrinde oluşan enerji kaybı oranına eşittir. Bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi ve örnekler Hardin ve Drnevitch (1972), Kramer (1996), Seed ve İdriss (1970), Seed ve diğ., (1986), ve Vucetic ve Dobry (1991) de bulunabilir.

Davranış analizi yapılacak zemin materyali genellikle Şekil 3.2 de gösterilen özelliktedir. Kalıcı deformasyon, malzemenin özelliğini yitirdiği yumuşama ve göçme gibi durumlarda Şekil 3.2 de verilen eğriler, kayma modülü ( $G$ ) nin zemin özelliklerine bağlı olmasından dolayı farklılıklar gösterirler. Eşdeğer doğrusal model, yük kalktığında deformasyonların sürekli sıfıra döndüğü



**Şekil 3.2.** Eşdeğer doğrusal model: (a) Histerisis gerilme – deformasyon eğrisi; (b) Sekant kayma modülü ile maksimum kayma modülü oranının ( $G/G_{maks}$ ) ve sönümlenme oranının ( $\xi$ ) kayma deformasyon ( $\gamma$ ) büyüklüğü ile değişimi.

tekrarlı yüklemeler için geçerlidir. Doğrusal özellikte kabul edilen malzemede kalıcı deformasyon oluşması için bir yük sınırı yoktur. Gerçekte deprem etkisi ile zeminlerde kalıcı deformasyonlar oluşabilmektedir. Buna rağmen eşdeğer doğrusal yaklaşım zemin tepki analizleri için çok kullanışlı ve gerçeğe yakın sonuçlar veren bir yöntemdir (Kramer, 1996).  $\tau - \gamma$  eğrilerinin özelliklerinin değiştiği, kalıcı deformasyon, yumuşama ve göçme gibi bazı durumlar hariç  $G/G_{maks} - \gamma$  eğrileri Şekil 3.2 de gösterilen duruma uymaktadır. Yumuşama yüksek gerilme ile yüksek deformasyon durumlarında oluşan fiziksel bir durumdur. Yumuşama ve kalıcı deformasyon gibi durumların hesaba katılması mühendislik analizlerinde daha karmaşık yöntemlerin kullanılmasını gerektirir. Özel teknik ve yöntemler olmadan, bu tür problemlerin sınır değerlerinin belirlenmesinde ve sayısal çözümlerinde güçlüklerle karşılaşılır ve her zaman çözüme ulaşılamayabilir. Kalıcı deformasyon, yumuşama, göçme gibi durumlar hariç tutulduğunda aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0 \quad (3.13)$$

( $G_s, \gamma$ ) değerleri, ( $G_s - \gamma$ ) değer çiftinden farklı olduğunda denklem 3.13 şu hale gelir;

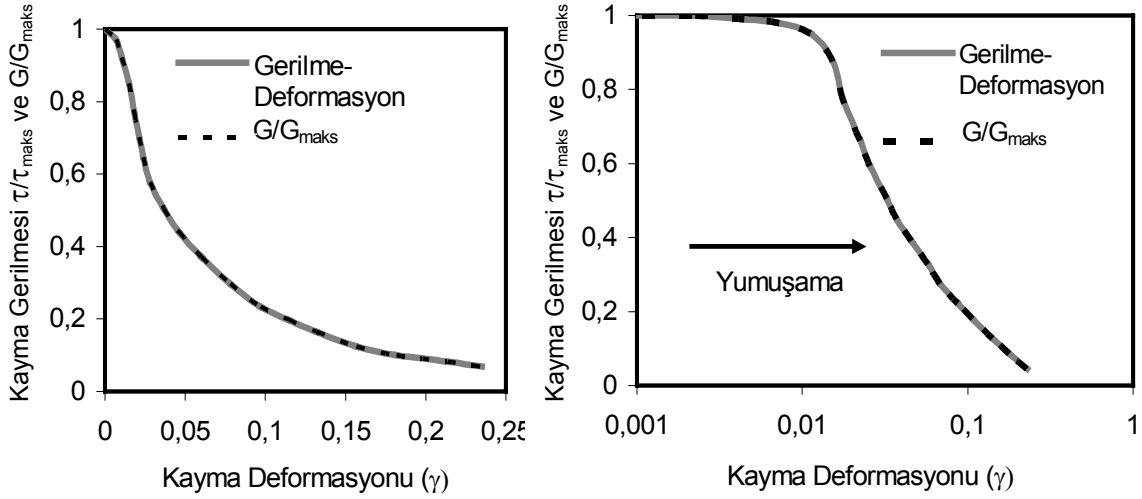


$$\frac{\Delta G_s}{G_{\text{mak}}} \geq - \frac{G_s(\gamma)}{G_{\text{mak}}} \frac{\Delta \gamma}{\gamma} \quad (3.14)$$

$\Delta G_s$ ,  $\gamma$  deki  $\Delta \gamma$  artma miktarına karşılık gelen  $G_s$  deki azalma miktarıdır.  $G_{\text{maks}}$  maksimum  $G_s$  değeridir. Denklem 3.14 den;

$$\frac{G_{i+1}}{G_i} \geq 2 - \frac{\gamma_{i+1}}{\gamma_i} \quad (3.15)$$

yazılabilir. Şekil 3.3'de deformasyon – yumuşama ilişkisi gösterilmiştir. Burada gerilme – deformasyon değişimi görülebilmektedir. Gerilme artışı ile zemin yumuşayarak özelliğini yitirir.



**Şekil 3.3.**  $\tau/\tau_{\text{maks}}$  ve  $G/G_{\text{maks}}$  eğrileri deformasyon yumuşamasına bir örnek olarak doğrusal ve yarı logaritmik olarak gösterilmiştir.

Şekil 3.2.b eşdeğer doğrusal modelde, kayma modülü ve sönüm oranının kayma deformasyonunun büyüklüğü ile değişimini belirtmektedir. Frekansın gerilme – deformasyon ilişkileri üzerindeki etkilerini belirtmek için ilave kabuller gerekmektedir.

Bunun için önerilen iki temel model vardır.

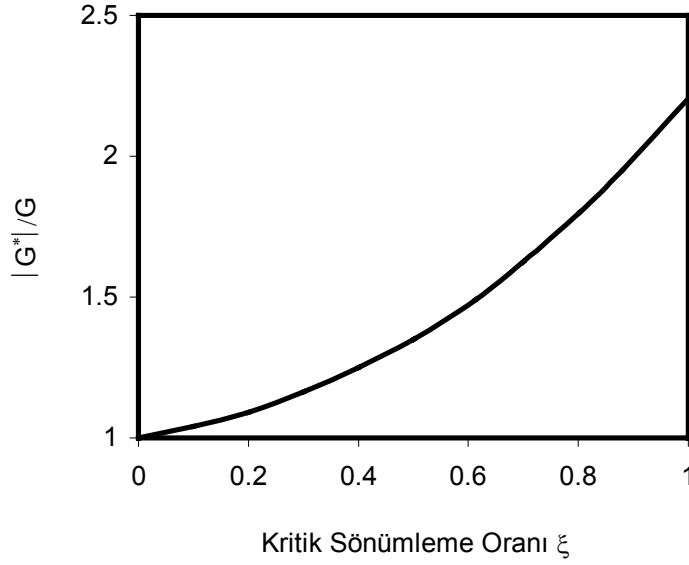
## Model 1

Model 1 de  $\xi$  sabit ve  $\omega$  dan bağımsız olduğu varsayılır ve dolayısı ile kompleks  $G^*$  modülü de  $\omega$  dan bağımsız olur (Schnabel ve diğ., 1972). Bu varsayımlar ile tekrarlı yükleme esnasındaki enerji kaybı şöyledir;

$$W_d = 4\pi W_s \xi = 2\pi \xi G \gamma_c^2 = \pi \eta \gamma_c^2 \omega \quad (3.16)$$

Enerji kaybı  $\xi$  ile doğrusal olarak artar ve  $\omega$  dan bağımsızdır, dolayısı ile gerilme – deformasyon alanı frekanstan bağımsızdır. Kompleks ve reel kayma modüllerinin genlikleri arasındaki ilişki şöyledir.

$$\left| G^* \right| = G \sqrt{1 + 4\xi^2} \quad (3.17.)$$



**Şekil 3.4.** Kompleks kayma modülü genliğinin kritik sönüm oranı ile değişiminin normalize edilmesi (model 1)

$\left| G^* \right|$ ,  $\xi$  ye bağlı olarak artmaktadır. Şekil 3.4  $\left| G^* \right|/G$  'nin  $\xi$  ile değişimini göstermektedir.

Kompleks kayma modülünün büyüklüğü,  $\xi$  %25'e ulaştığında %12 kadar değişebilmektedir.

## Model 2

(G\*) Kompleks kayma modülü  $\xi$  nin bir fonksiyonu olduğu kabul edilir (Idriss and Sun, 1992).

$$G^* = G \left[ (1 - 2\xi^2) + 2\xi i \sqrt{1 - \xi^2} \right] \quad (3.18)$$

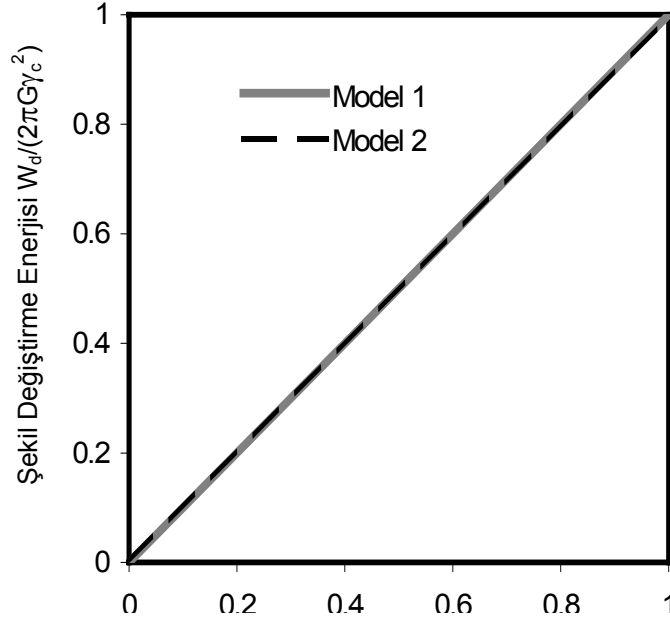
Yukarıdaki varsayım, malzeme davranışının tanımı ile ilgili bir kabuldür. Burada kompleks ve reel modüller aynı büyüklüktedir.

$$|G^*| = G \left[ (1 - 2\xi^2)^2 + 4\xi^2(1 - \xi^2) \right] = G \quad (3.19)$$

Tekrarlı yükleme sırasındaki enerji kaybı;

$$W_d = \frac{1}{2} \omega \gamma_c^2 \int_t^{t+2\pi/\omega} 2G\xi\sqrt{1-\xi^2} dt = 2\pi G\xi\sqrt{1-\xi^2} \gamma_c^2 \quad (3.20)$$

dir. Şekil 3.5  $\xi$  ile enerji kaybının değişimini göstermektedir. Model 2 deki enerji kaybı model 1 deki gibi sıfırdan geçmektedir. Pratikte ve genelde  $\xi$  %25 ten düşük alınır. Bu durumda model 1 ve model 2 nin enerji kayıpları aşağıda gösterildiği gibi benzer olur.



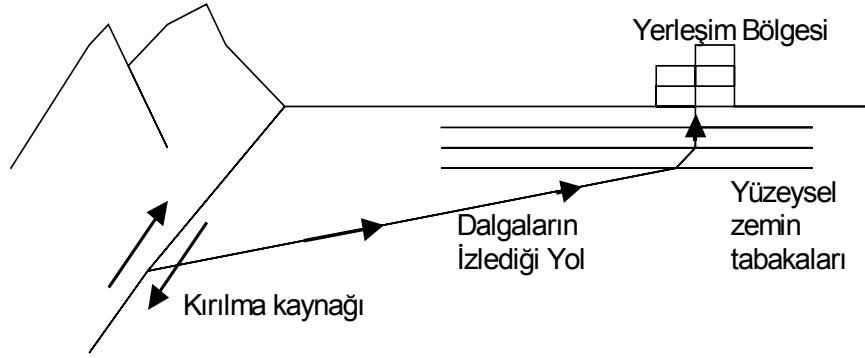
**Şekil 3.5.** Her tekrarlı yükleme için model 1 ve model 2 de kritik sönüm oranının fonksiyonu olarak tanımlanan enerji kaybındaki değişimin normalize edilmesi ile elde edilen grafik

### 3.2. Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizi

#### 3.2.1. Yapılan Kabuller Ve Tanımlar

Yer yüzünün altında bir fay kırıldığında cisim dalgaları kaynağından her yöne yayılır. Cisim dalgaları tabaka sınırlarında kırılır ve yansır. Yüzeğe yakın tabakalarda dalganın yayılma hızı derinlerden daha az olduğu için söz konusu dalgalar tabaka sınırlarından geçerek zemin yüzeyine doğru ilerledikçe düşeyleşirler (Şekil 3.6).

- Zemin tabakaları yataydır ve tabakanın yataydaki boyu kalınlığına oranla sonsuz kabul edilebilir.
- Dinamik zemin davranışı üzerinde en etkili dalga türü taban kayasından dikey yönde yayılan SH (kayma) dalgalarıdır.
- Taban kayası ve zemin yüzeyi yatayda sonsuza kadar uzanır.

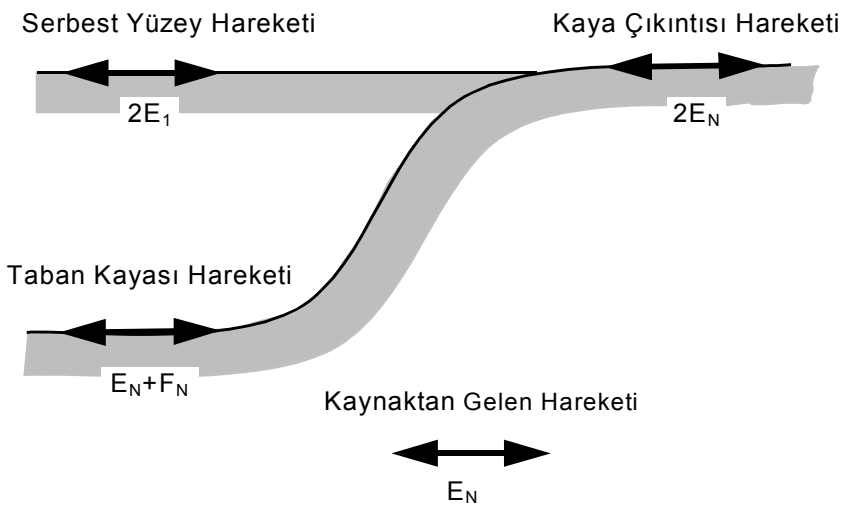


**Şekil 3.6.** Bir kırılmadan kaynaklanan dalgaların zemin yüzeyine yaklaştıkça düşeyleşmesi

Zemin davranışı analizlerinde kullanılan terimler:

- Serbest Yüzey Hareketi (Free Surface Motion) : Zemin yüzeyinde oluşan harekettir.
- Taban Kayası Hareketi (Bedrock Motion) : Zemin tabakalarının altında (taban kayasının üzerinde oluşan harekettir.
- Kaya Çıkıntısı Hareketi (Rock Outcropping Motion) : Taban kayasının yeryüzüne çıktığı yerde oluşan harekettir.

Şekil 3.7. de gösterilen taban kayasından çıkarak, düşey ve yukarı doğru yayılan kayma dalgalarının genliği  $E_N$ , taban kayasının zemin tabakasının altındaki genliği  $E_N+F_N$ , kaya çıkıntısının hareketinin genliği ise serbest yüzeyde kayma gerilmesi oluşmadığından ( $E_N=F_N$ )  $2E_N$  dir. Taban kayası hareketi ile kaya çıkıntısının hareketi arasındaki transfer fonksiyonu denklem 3.21 deki gibidir.



**Şekil 3.7.** Analizlerde kullanılan terimler

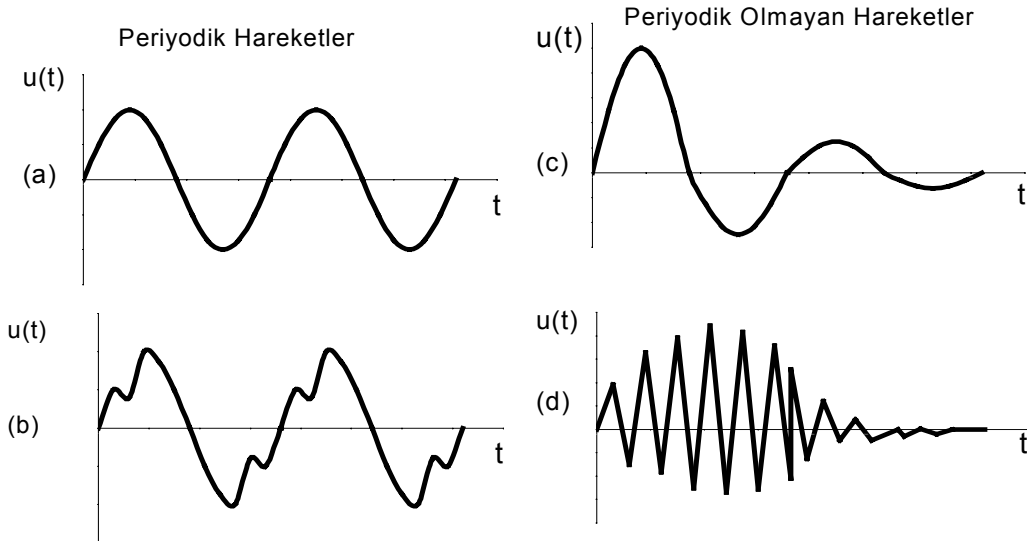
$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (3.21)$$

Zemin yüzeyinde  $E_1=F_1=1$  olduğu varsayılırsa; Taban kayası hareketi ile zemin yüzeyi hareketi arasındaki transfer fonksiyonu denklem 3.22 gibi olur.

$$A'_{1N}(\omega) = \frac{1}{E_N} \quad (3.22)$$

### 3.2.2. Transfer Fonksiyonları

Bir çok dinamik yükleme durumları zeminlerin ve yapıların titreşim hareketine neden olabilir. Titreşim hareketleri periyodik ve periyodik olmayan hareketler olarak iki ana kategoriye ayrılır. Periyodik hareketler düzenli zaman aralıklarında kendilerini tekrar ederler. Matematiksel olarak bir hareket  $u(t)$  periyodik ise bir periyodu ( $T_i$ ) vardır. Periyodik hareketin en basit hali yer değiştirmenin zamanla sinüzoidal değiştiği basit harmonik harekettir. Periyodik olmayan hareket ise kendini belli zaman aralıklarında tekrarlamaz. Patlamalar, deprem, trafik gibi hareketler periyodik olmayan hareketlere örneklerdir. Şekil 3.8 de periyodik ve periyodik olmayan hareketlere örnekler gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Periyodik ve periyodik olmayan hareketlere örnekler

Bazı periyodik hareket formları basit harmonik hareketten çok daha karışık olabilir. Karmaşık gözükten bu hareketler, basit harmonik hareketlerin toplamı olarak ifade edilebilir. Şekil 3.8.c ve Şekil 3.8.d'deki sönümlü, periyodik olmayan hareketler, hiçbir hareketin olmadığı durgun bir bölgeden sonra kendilerini tekrar ettikleri farz edilerek periyodik hareket olarak temsil edilebilirler. Doğrusal sistemlerin dinamik analizi için bu çok etkili bir araçtır.

19. yüzyılda Fransız matematikçi J.B.J. Fourier ısı akışı problemleri üzerinde çalışırken belirli durumlarda karşılaşılan farklı genlik, frekans ve fazdaki herhangi bir periyodik fonksiyonun, sinüs serilerinin toplamı olarak ifade edilebileceğini göstermiştir. Fourier bir çok bilim dalında ve mühendislikte olağan üstü kullanışlı bir araçtır (Kapar, 2001).

Bir çok deprem mühendisliği uygulamasında, dinamik yükleme ve hareket parametrelerinin veri noktaları, analitik fonksiyonlar yerine sonlu sayılar ile tanımlanabilir. Bu yöntem "Ayrık Fourier Dönüşümü" (Discrete Fourier Transform, DFT) denir. DFT kullanılması durumunda, Fourier katsayıları integrasyon yerine toplam kullanılarak elde edilir.

$$x(\omega_n) = \Delta t \sum_{k=1}^N x(t_k) e^{-i\omega_n t_k} \quad (3.23)$$

Euler kanunu kullanılarak DFT şöyle yazılabilir.

$$x(\omega_n) = \Delta t \sum_{k=1}^N [x(t_k) \cos(\omega_n t_k) - ix(t_k) \sin(\omega_n t_k)] \quad (3.24)$$

DFT'nin ters dönüşümü de mümkündür. Bu dataların eşit frekans aralıklarına ( $\Delta\omega$ ) yerleştirilmesi ile zamanın fonksiyonu olarak Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) kullanılarak ifade edilebilir.

$$x(\omega_n) = \Delta t \sum_{k=1}^N x(t_k) e^{-i\omega_n t_k} \quad (3.24)$$

veya

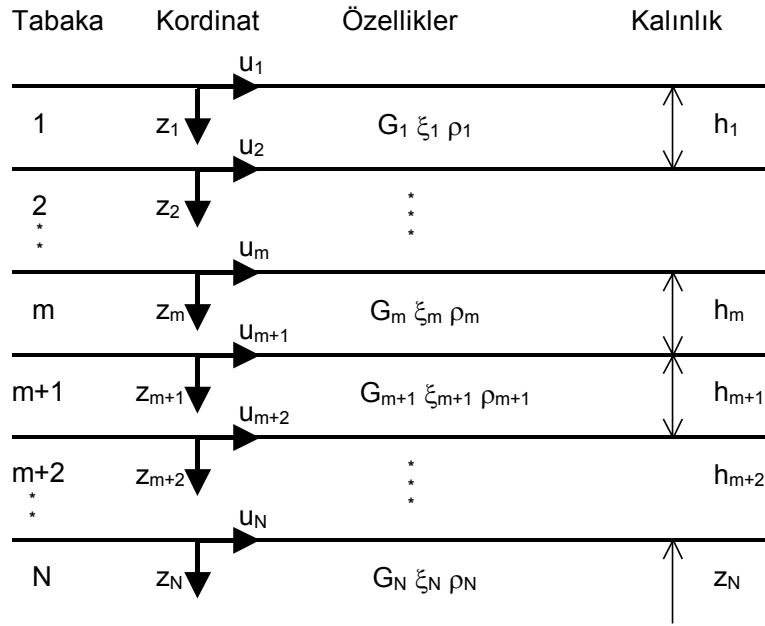
$$x(\omega_n) = \Delta t \sum_{k=1}^N [x(t_k) \cos(\omega_n t_k) - ix(t_k) \sin(\omega_n t_k)] \quad (3.25)$$

Bu iki ifade de kişisel bilgisayarlarda kolayca programlanabilir. Toplam işlemi N defa tekrarlanır. DFT veya IDFT hesaplanması için gereken zaman  $N^2$  ile orantılıdır.

DFT bilgisayarın varoluşundan uzun zaman önce geliştirilmiştir. N'nin makul değerlerinde kullanımı aşırı derecede zor bir iştir. 1960' larda kişisel bilgisayarların gelişimi ile Cooley ve Tukey tarafından geliştirilen hesaplama algoritması Fast Fourier Transform'u (FFT) olarak bilinir. Dönüşümün tamamlanması için gereken zaman  $N \log_2 N$  ile orantılıdır. Sonuç olarak FFT, DFT ye göre çok daha etkilidir. Örneğin  $N=2048$  için FFT DFT'den 180 kat daha hızlıdır. Bunun yanında IFFT, FFT ile eşit hızlıdır.

### 3.2.3. Bir Boyutlu Eşdeğer Doğrusal Zemin Davranış Analizleri

Şekil 3.9 da bir boyutlu eşdeğer doğrusal zemin davranışları esas alınan zemin profilini göstermektedir. Şekil 3.9 de görüldüğü gibi kayma dalgaları bir boyutlu zemin tabakalarının içinde düşey olarak yayılmaktadır.



Şekil 3.9. Bir boyutlu olarak tabakalanmış zemin tabakaları (Schnabel, 1972)

Kayma dalgalarının bir boyutlu düşey yöndeki hareketinin denklemi aşağıda yazılmıştır (Bardet, ve diğ., 2000)

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (3.26)$$



$\rho$  : Ele alınan tabakanın birim yoğunluğudur.

$\rho = \gamma / g$  ,  $\gamma$  : Birim hacim ağırlık,  $g$  : Yer çekim ivmesi.

Bütün tabakaların Kelvin – Voig modeline uyduğu kabul edildiğinde;

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (3.27)$$

$G$  : Kayma Modülü,

$\eta$  : vizkozite

$u(z,t)$  : Zemin içindeki bir noktada oluşan deplasman

Harmonik hareket için yer değiştirme aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u(z, t) = U(z)e^{i\omega t} \quad (3.28)$$

Denklem 3.28 ve 3.27 kullanılarak;

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3.29)$$

Diferansiyel denklemin genel çözümü;

$$U(x) = Ee^{ik^*z} + Fe^{-ik^*z} \quad (3.30)$$

Burada  $k^* = \frac{\rho\omega^2}{G + i\omega\eta} = \frac{\rho\omega^2}{G^*}$  karmaşık bir sayıdır. Kritik sönüm oranı  $\xi = \omega\eta/2G$  olarak alındığında  $G^*$ ;

$$G^* = G + i\omega\eta = G(1 + 2i\xi) \quad (3.31)$$

denklem (3.29) çözümü;

$$u(z, t) = (Ee^{ik^*z} + Fe^{-ik^*z})e^{i\omega t} \quad (3.32)$$

kayma gerilmesi;

$$\tau(z, t) = ik^* G^* (E e^{ik^*z} - F e^{-ik^*z}) e^{i\omega t} \quad (3.33)$$

$h_m$  kalınlıklı  $m$  tabakasının üst yüzeyi ( $z=0$ ) ve alt yüzeyi ( $z=h_m$ ) için yer değiştirme denklemleri;

$$u_m(0, t) = u_m = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad \text{ve} \quad u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (3.34)$$

$m$  tabakasının üst yüzeyi ve alt yüzeyi için kayma gerilmeleri;

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* (E_m - F_m) e^{i\omega t} \quad \text{ve} \quad \tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (3.35)$$

$m$  ve  $m+1$  tabakaların ara yüzlerindeki yer değiştirme ve kayma gerilmelerinin eşitliğinden;

$$u_m(h_m, t) = u_{m+1}(0, t) \quad \text{ve} \quad \tau_m(h_m, t) = \tau_{m+1}(0, t) \quad (3.36)$$

Denklem 3.34 deki  $E_m$  ve  $F_m$  terimlerinin ilişkisi kullanılarak, denklem 3.36;

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (3.37)$$

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (3.38)$$

Denklem 3.37 ve 3.38 deki  $E_{m+1}$  ve  $F_{m+1}$  terimleri  $E_m$  ve  $F_m$  terimleri ile ifade edilirse;

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (3.39)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (3.40)$$

$\alpha_m^*$   $m$  ve  $m+1$  tabakalarının ara yüzlerinin karmaşık sayılı empedanslarının oranıdır.

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} = \sqrt{\frac{\rho_m G_m^*}{\rho_{m+1} G_{m+1}^*}} \quad (3.41)$$

Yukarıdaki işlemler, kayma gerilmesinin olmadığı serbest zemin yüzeyi için tekrarlanırsa;

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* (E_1 - F_1) e^{i\omega t} \quad (3.42)$$

burada;

$$E_1 = F_1 \quad (3.43)$$

Denklem 3.39 ve 3.40 ard arda 2. tabakadan m. tabakaya kadar uygulanır. m. ve n. tabakaların üst yüzeylerindeki deformasyonları arasındaki ilişkiyi gösteren  $A_{mn}$  transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (3.44)$$

Hız  $\dot{u}(z, t)$  ve ivmenin  $\ddot{u}(z, t)$  yer değiştirme ile ilişkisi şöyledir.

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \text{ve} \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (3.45)$$

$A_{mn}$  transfer fonksiyonu aynı zamanda m. ve n. tabakalarının üst yüzeylerindeki hız ve yer değiştirmeler arasındaki ilişkiyi de gösterir.

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (3.46)$$

z derinliğindeki ve t anındaki kayma deformasyonu, 3.30 denkleminde elde edilebilir.

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = ik^* \left( E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z} \right) e^{i\omega t} \quad (3.47)$$

z derinliğinde ve t anındaki kayma gerilmesi ise aşağıdaki gibidir.

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (3.48)$$

### 3.2.4. Sönümlü (Geçici) Hareketler

Yukarıda bir boyutlu zemin kolonunun analizinde kullanılan teori, değişmeyen süreklilik arz eden harmonik hareketler için verilmiştir. Aynı zamanda yukarıda Fourier serileri ile ilgili bilgi de verilmiştir. Süreklilik arz etmeyen değişken hareketlerin süreleri Fourier serileri kullanılarak uzatılabilir (Bendat ve Piersol, 1986). Gerçek veya karmaşık değerli bir  $X(f)$  fonksiyonuna, aşağıdaki gibi farklı  $N$  değerleri için serilere açılarak yaklaşılabilir.

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{i\omega_k t_n} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{i\omega_k n\Delta t} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{2\pi i k n / N} \quad n = 0, \dots, N-1 \quad (3.49)$$

$X_n$  değeri  $t_n = n\Delta t$  karşılık gelmektedir ve  $\Delta t$  sabit zaman aralığıdır ( $X(n\Delta t) = X_n$ ), ( $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ) dir. Farklı frekanslar  $\omega_k$  ;

$$\omega_k = 2\pi \frac{k}{N\Delta t} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (3.50)$$

Fourier bileşenleri;

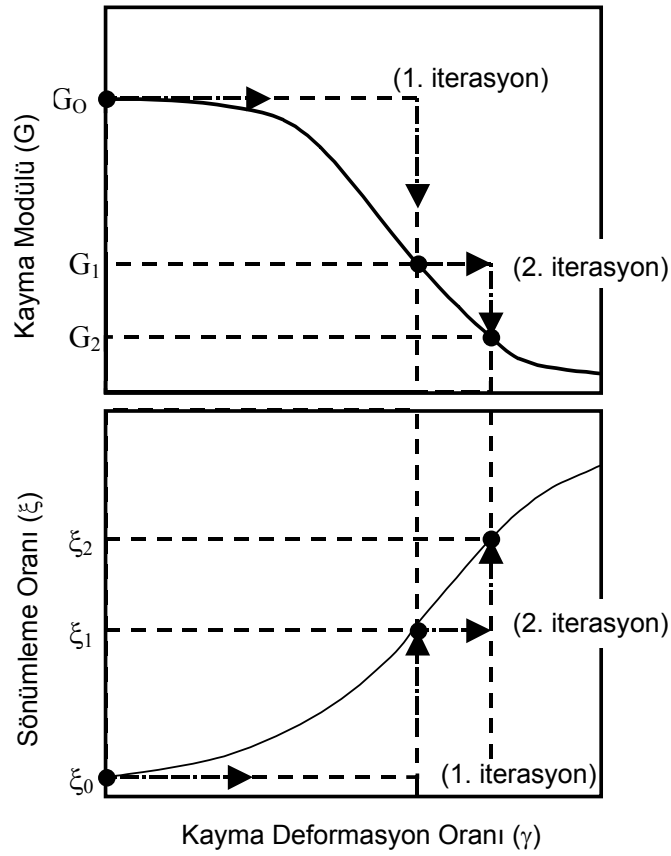
$$X_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_n e^{-2\pi i k m / N} \quad m = 0, \dots, N-1 \quad (3.51)$$

$X_m$  katsayısı Fast Fourier Transfer işlemleri ile hesaplanır. Fast Fourier Transfer fonksiyonlarını ilk olarak Cooley ve Tukey (1965) geliştirmiştir. Yapılan işlem sayısı  $N \log N$  kadardır.

### 3.2.5. Eşdeğer Doğrusal Analiz İçin İteratif Yaklaşım

Daha önce Şekil 3.2 de eşdeğer doğrusal modelde kayma modüllerinin ve sönüm oranlarının kayma deformasyon genliğinin fonksiyonu olduğu gösterilmişti. Eşdeğer doğrusal modelde ( $G$ ) kayma modülü, ( $G_{\text{sek}}$ ) sekant kayma modülü olarak, histerisis eğrisinin bir devrinde oluşan enerji kaybı oranı da sönümlenme oranı ( $\xi$ ) olarak alınır. Doğrusal yaklaşım modelinde  $G$  ve  $\xi$  değerleri her tabaka için sabit değerler olduğundan problem, her tabakadaki deformasyon miktarları ile tutarlı  $G$  ve  $\xi$  değerlerinin belirlenmesi şekline dönüşür. Deformasyon oranları ile tutarlı  $G$  ve  $\xi$  değerleri, aşağıda işlem adımları verilen ve Şekil 3.10 da görülen iterasyonlar ile

belirlenir. İterasyona küçük deformasyonlara karşılık gelen başlangıç değerlerinden  $G_0$  ve  $\xi_0$  başlanarak, maksimum kayma deformasyonu  $\gamma_{\text{mak}1}$  ve efektif kayma deformasyonu  $\gamma_{\text{eff}1}$ , hesaplanır. Sonraki iterasyonda  $\gamma_{\text{eff}1}$  değerine karşılık gelen uygun  $G_1$  ve  $\xi_1$  değerleri bulunur. Daha sonra  $G_1$  ve  $\xi_1$  değerleri kullanılarak maksimum kayma deformasyonu  $\gamma_{\text{mak}2}$ , efektif kayma deformasyonu  $\gamma_{\text{eff}2}$ , hesaplanır. Eşdeğer doğrusal analizde,  $G$  ve  $\xi$  değerleri tüm tabakalardaki deformasyonlar ile uyumlu oluncaya kadar, her defasında işlemler yeni bulunan  $G$  ve  $\xi$  değerleri ile tekrarlanır.



**Şekil 3.10.** Eşdeğer doğrusal analizde kayma deformasyonu ile kayma modüllerinin ve sönümlenme oranlarının iterasyonu

Her bir tabakada uygulanacak olan eşdeğer doğrusal yaklaşım için iterasyon adımları;

- 1) Küçük deformasyonlara karşılık gelecek  $G_0^j$  ve  $\xi_0^j$  değerleri ile işleme başlanır.

2) Zeminin tepkisi hesaplanır ve her tabaka için zaman diyagramındaki kayma deformasyonlarından maksimum kayma deformasyonlarının  $\gamma_{\text{mak } i}^j$  genlikleri belirlenir.

3) Her tabaka için maksimum kayma deformasyonlarından ( $\gamma_{\text{mak } i}^j$ 'dan) efektif kayma deformasyonları ( $\gamma_{\text{eff } i}^j$ ) belirlenir.

$$\gamma_{\text{eff } i}^j = R_{\gamma} \gamma_{\text{mak } i}^j \quad (3.52)$$

$R_{\gamma}$  efektif kayma deformasyonunun maksimum kayma deformasyonuna oranıdır.  $R_{\gamma}$  depremin büyüklüğüne bağlı olarak denklem (3.53) de verilen bağıntı ile tahmin edilebilir (Idriss and Sun, 1992).  $R_{\gamma}$  bütün tabakalar için aynı ve sabittir.

$$R_{\gamma} = \frac{M-1}{10} \quad (3.53)$$

4) Her tabaka için hesaplanan  $\gamma_{\text{eff } i}^j$  kullanılarak  $G_{i+1}^j$  ve  $\xi_{i+1}^j$  eşdeğer doğrusal değerleri hesaplanır.

5) Tüm tabakalardaki deformasyonlar ile G ve  $\xi$  değerleri uyumlu ve aynı zamanda ard arda yapılan iki iterasyonda tüm tabakaların hesaplanan kayma modülleri ve sönümlenme oranları farksız veya kabul edilen hata sınırları içinde oluncaya kadar 2., 3. ve 4. adımlardaki işlemler tekrarlanır.

Genelde 8 iterasyon ile yakınsama sağlanır.

### 3.3. Manisa İl Merkezi Zeminlerinde Dinamik Zemin Davranış Analizleri

Bu bölümde Bölüm 3.1 de verilen ilişki ve modellemeler Manisa il merkezi zeminlerinde 7 noktaya uygulanmıştır. Analizler için Bölüm 3.1 deki esaslara dayanan EERA (Equivalent-linear Earthquake Response Analysis) (Bardet ve diğ.,2000) bilgisayar programı kullanılmıştır. Taban kayası ivme kaydı için Bölüm 2.1 de elde edilen ivme değerleri kullanılmıştır. Analizleri yapılan noktaların zemin kesitleri ve özellikleri EK-1 de, analiz için EERA programında oluşturulan zemin profilleri EK-2 de, analiz sonucunda elde edilen yatay yüzey ivme grafikleri EK-4 de, yatay ivmenin derinlikle değişim grafikleri EK-5 de verilmiştir.

Analizlerden elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri toplu olarak tablo 3.1. de görülmektedir (ayrıntılar için EK-4 ve Ek-5 e bakınız). 9 Temmuz 1998 Seferihisar depreminde Manisa il merkezi zemin yüzeyinde sismoğraf tarafından ölçülen  $a_{\text{max}}=0.0069$  g değeri ile analizlerden elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri uyum sağlamaktadır.

**Tablo 3.1.** Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri ve zeminlerin büyütme oranları

Sondaj Kuyu No	Analizlerden Elde Edilen Maksimum Yatay Yüzey İvmesi		Taban Kayası İvme Değeri $a_{Tab.Kayası}$ ( $cm/sn^2$ )	Zemin Büyütme Oranı $a_{max} / a_{Tab.Kayası}$
	$a_{max}$ (g)	$a_{max}$ ( $cm/sn^2$ )		
SK1	0.0075	7.36	6.05	1.216
SK2	0.0071	6.97	6.05	1.152
SK3	0.0068	6.67	6.05	1.102
SK4	0.0068	6.67	6.05	1.102
SK5	0.0068	6.67	6.05	1.102
SK6	0.0093	9.12	6.05	1.507
SK7	0.0068	6.67	6.05	1.102

Bu tez kapsamında esas olarak zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık ilk 12 m deki zemin davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Analiz sonuçlarında görüldüğü gibi (tabakadaki maksimum ivmenin derinlikle değişim grafikleri EK-5) ilk 12 m lik zemin tabakasının davranışları belirlenebilmektedir. Aynı şekilde daha derinlerdeki zemin tabakaları hakkında daha kesin bilgiler elde edildikçe 12 m nin altındaki zemin davranışları da burada verilen yöntemler ve bilgisayar programları kullanılarak kolaylıkla belirlenebilir.

Sonuç olarak; Manisa il merkezi zeminleri Tablo 3.1. deki sayısal değerlerde görüldüğü gibi deprem etkisini artırıcı özelliktedir.

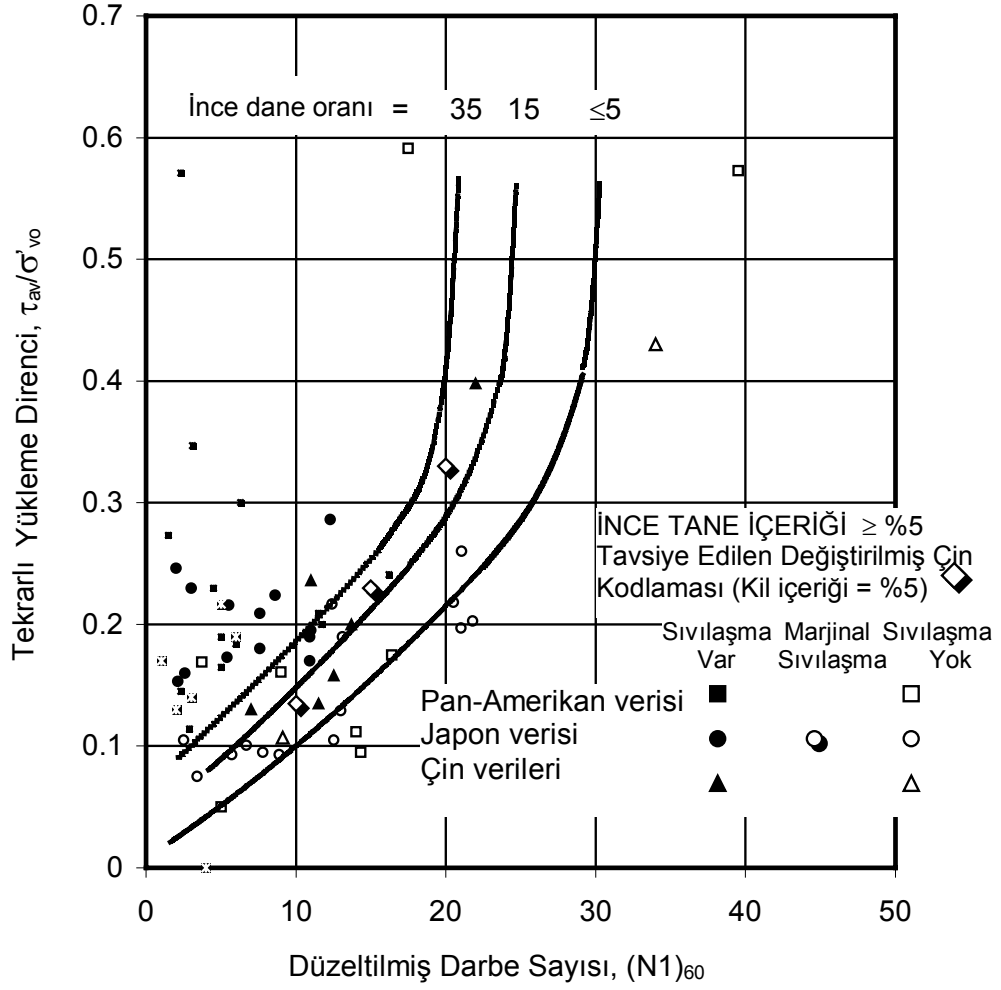
#### 4. SIVILAŞMA

Zemin sıvılaşmaları deprem esnasında yapılarda meydana gelen hasarların ana nedenlerinden biridir. Suya doygun kumlu zeminlerde meydana gelen sıvılaşmayı etkileyen faktörlerin önemlileri şöyle sıralanabilir: Deprem büyüklüğü, tekrarlı hareketin devir sayısı, yatay yüzey ivme değeri, kum zeminin cinsine bağlı olarak mukavemet özellikleri, zeminin dane çapı dağılımı ve dane şekilleri, sıklık oranı ( $D_r$ ), ince malzeme (-No.200) oranı, ince malzemenin plastiklik özelliği, derinlik (düşey gerilmenin büyüklüğü) etkenleri başlıca etkenler olarak sayılabilir (Başarı, 2003).

Sıvılaşma analizleri için geliştirilen hesap metotlarının çoğu depremlerden sonra arazide gözlenen sıvılaşmalardan, arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilere dayalı olarak oluşturulan korelasyonlar şeklindedir. Geliştirilen bu korelasyonların doğruluğu, yukarıda sıvılaşmayı etkileyen etkenler olarak sayılan faktörlerin en iyi şekilde korelasyon hesaplarına katılmalarına bağlıdır. Ve dolayısı ile korelasyon hesaplarında kullanılan gözlem ve deney verilerinin sayısına bağlıdır. Her geçen gün sıvılaşma analizlerinde kullanılan korelasyonların doğruluk dereceleri, yeni elde edilen gözlem ve deney verileri ışığında geliştirilen yaklaşımlar ile artmaktadır (Başarı, 2003).

Günümüzde en son olarak geliştirilen hesap analizlerinden biri de, zeminlerin sıvılaşma direnci analizleri üzerinde çalışılmak için 1997 yılında Brigham Young ve California Üniversiteleri tarafından oluşturulan NCEER Workshop grubu tarafından, literatürdeki mevcut çalışmalara dayanarak ve sıvılaşma etkenlerinin daha doğru biçimde analizlere katılmasını sağlayacak biçimde geliştirilen yöntemdir. NCEER Workshop-1997 nin önerdiği yöntem, genel olarak Seed ve diğ., 1985'te sıvılaşma üzerine yaptıkları çalışmalara dayanmaktadır. Seed ve diğ., ile NCEER Workshop-1997 gurubunun sıvılaşma üzerine yaptıkları çalışmalarda, zemin için arazide elde edilen SPT-N değeri ile zeminin sıvılaşma olasılığı arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmış ve gayet iyi sonuçlar veren ilişkiler oluşturulmuştur (Başarı, 2003). Şekil 4.1 SPT-N ile sıvılaşma arasındaki ilişkiyi göstermektedir. NCEER, 1997 önerdiği yöntem özetle şöyledir; Plastiklik oranı %5 ve daha küçük olan zeminlerde, arazide elde edilen ham SPT-N değerinin, %5 ince malzeme içeren aynı zeminin eşdeğer SPT-N değerine dönüştürülerek, sıvılaşma için geliştirilen korelasyonlarda bu eşdeğer SPT-N değerinin kullanılmasına dayanmaktadır.





**Şekil 4.1.** Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) ile kumlu zeminlerdeki SPT-N arasındaki ilişki (Seed et al, 1985)

1997 NCEER Workshop, tarafından önerilen bu yöntem, ince malzeme oranının %35 den büyük ( $No.200 > \%35$ ) ve zeminin plastiklik indisinin  $I_p > \%5$  olması durumunu içermemektedir.  $No.200 > \%35$  ve  $I_p > \%5$  için Seed ve Alba (1986), Seed ve Harder (1990), Ishihara ve diğ.(1991) önerdikleri ve geliştirdikleri yöntemler kullanılmıştır.

İnce malzeme oranının %45 den büyük olması durumunda zeminin sıvılaşmayacağı kabul edilmiştir. Bu tez kapsamında incelenen zeminlerde ince malzeme oranı %45 den büyük olduğu için sıvılaşma analizi yapılmamıştır. Ancak kayma dalgası hızının bulunması için gerekli olan N değerlerinin hesaplanmasında 1997 NCEER Workshop ve Seed ve diğ. geliştirdikleri yöntemler kullanılmıştır.

## 4.1. Sıvılaştırma Analizi

### 4.1.1. Zeminin Tekrarlı Yükleme Karşı Direnci (CRR)

Zemin deprem sırasında tekrarlı bir yükleme maruz kalır. Zeminin tekrarlı yükleme karşı olan direnci, mevcut efektif yüke, tekrarlı gerilme oranına ve zemin özelliklerine bağlıdır. Zemin özellikleri olarak; dane çapı dağılımı, dane şekli, mineraloji, zeminin sıklığı gibi etkenler sayılabilir.

Zeminin tekrarlı yükleme karşı direnci literatürde CRR olarak ifade edilmektedir. CRR laboratuvarında bu amaca yönelik yapılan deneylerle veya arazi ve laboratuvar deneylerine bağlı olarak geliştirilen korelasyonlar ile hesaplanabilmektedir. Günümüzde arazideki zemin hakkında bilgi edinmek için yapılan deneylerin başında, kumlu zeminler için SPT (Standart Penetrasyon Testi), killi zeminler için CPT (Konik Penetrasyon Testi) gelmektedir (Başarı, 2003).

Arazide yapılan SPT den elde edilen N değerine birçok dış etken etki etmektedir. Bu etkenlerden önemlileri; deney sırasında oluşan enerji kayıpları, sondaj borusunun boyu ve çapı, deneyin yapılaş şekli (elle yada otomatik araçlarla yapılması), açık hava basıncının etkisi, ince malzeme oranının etkisi, zeminin plastiklik özelliği etkileridir (Başarı, 2003). SPT-N değerine bağlı oluşturulan korelasyonların doğru sonuçlar vermesi için araziden elde edilen ve yukarıdaki etkileride içeren N değeri üzerinde bazı düzeltmeler yapılarak standartlaştırılması gerekmektedir. Bu paragrafta değinilen ilk dört etkinin N üzerindeki etkilerini düzeltmek için NCEER, 1997 nin önerdiği katsayılar Tablo 4.1 de verilmiştir.

Arazide elde edilen ham SPT-N değerine Tablo 4.1 deki düzeltmeler uygulandığında;

$$(N_1)_{60} = NC_N C_E C_B C_R C_S \quad (4.1)$$

N : Arazide yapılan deneyden elde edilen ham SPT-N değeri.

$C_N$  : Aşırı yük düzeltmesi.  $(P_v / \sigma'_{vo})^{1/2} \leq 2 \Rightarrow (P_v / \sigma'_{vo})^{1/2}$ ;  $(P_v / \sigma'_{vo})^{1/2} > 2 \Rightarrow 2$  dir.

$P_v$  : Deniz seviyesindeki açık hava basıncı,

$\sigma'_{vo}$  :Düşey efektif gerilme.

$C_E$  : Enerji düzeltmesi.  $C_E$  değeri yukarıdaki tablodan alınabileceği gibi şöyle de hesaplanabilir;

Arazide yapılan deneyin %60 enerji verimi ile yapıldığı, uygulanan deney yönteminin de %60 verimle gerçekleştirilebilen bir deney yöntemi olduğu durum için;

$$C_E = \%60/\%60 = 1,00 \text{ dir.}$$

$C_B$  : Sondaj çapı düzeltmesi.

$C_R$  : Sondaj uzunluğu düzeltmesi.

$C_S$  : Deney yöntemi düzeltmesi.

**Tablo 4.1.** SPT için düzeltme katsayıları (NCEER, 1997)

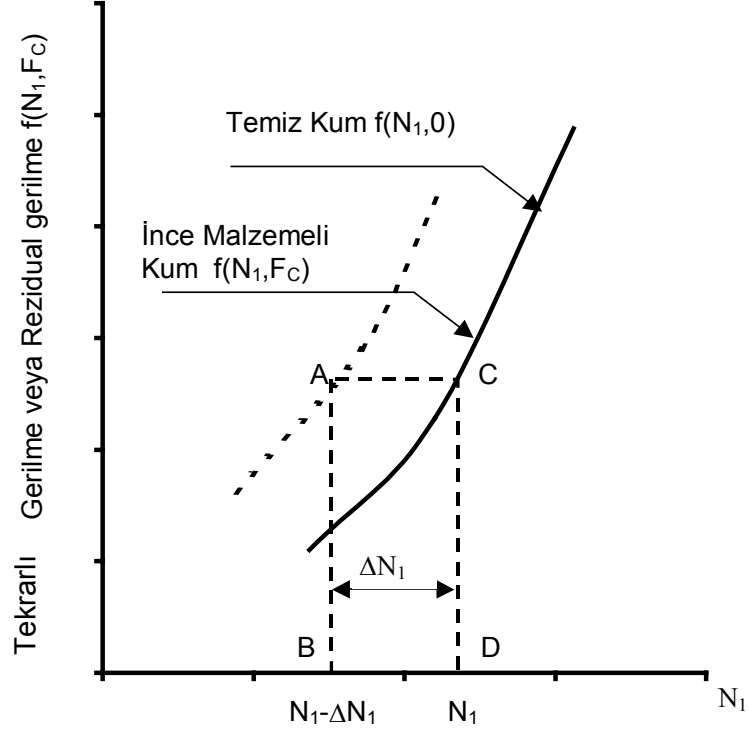
Etki	Ekipmanlar ve Yöntemler	Terim	Katsayı
Efektif Gerilme Düzeltilmesi		$C_N$	$(P_v/\sigma'_{vo})^{1/2} \leq 2 \Rightarrow (P_v/\sigma'_{vo})^{1/2}$ $(P_v/\sigma'_{vo})^{1/2} > 2 \Rightarrow 2$
Enerji Oranı	Donut Çekici Safety Çekici Otomatik Çekiç	$C_E$	0,5 – 1,0 0,7 – 1,2 0,8 – 1,5
Sondaj Çapı	65-115 mm 150 mm 200 mm	$C_B$	1,0 1,05 1,15
Çubuk Uzunluğu	3-4 m 4-6 m 6-10 m 10-30 m >30 m	$C_R$	0,75 0,85 0,95 1,0 <1,0
Deney yöntemi	Standart Deney Doğrusal Olmayan Deney	$C_S$	1,0 1,1 – 1,3

**4.1.1.1. İnce Malzeme Oranı ( $F_c$ ) Düzeltmesi:**

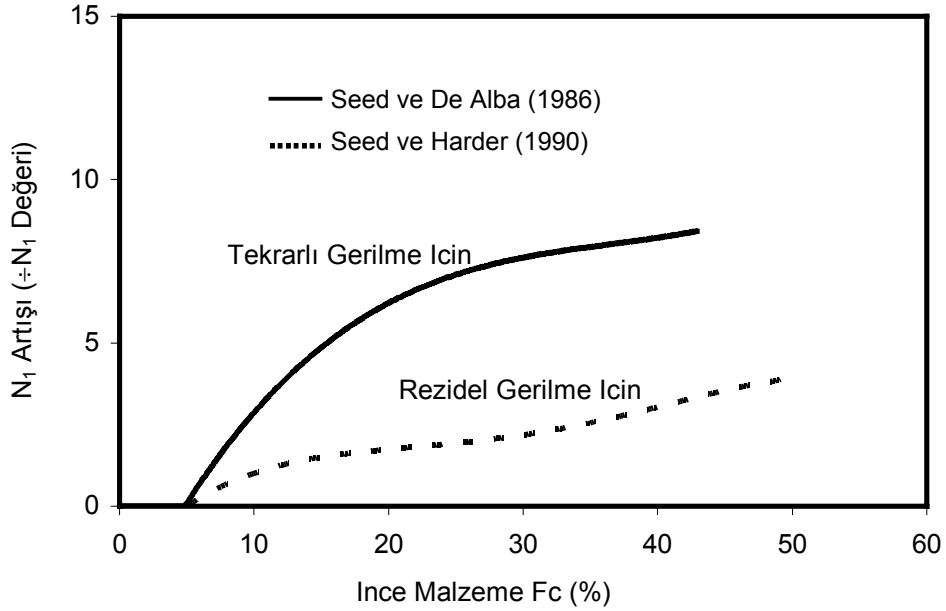
Burada İnce Malzeme Olarak kastedilen malzeme (No.200) eleğinden geçen malzemedir. Sıvılaştırılabilir zeminlerde bulunan ince malzeme miktarı zeminin sıvılaşma direncini arttırmaktadır. Temiz kum ile aynı SPT-N değerine sahip ince malzeme içeren kumun Tekrarlı Gerilme Dirençleri (CRR) arasındaki ilişki Şekil 4.2 de verilmiştir. Şekil 4.2 den ince malzeme oranının Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) 'deki neden olduğu artış görülebilmektedir. Dirençteki bu değişim ince malzeme oranı ( $F_c$ ) ile ilişkilidir. Farklı ince malzeme oranlarına ait eğriler Şekil 4.1 de verilmiştir.

Şekil 4.1 deki grafiklerde görüldüğü gibi ince malzeme oranı arttıkça eğriler yaklaşık paralel olarak kendinden bir önceki eğrinin soluna kaymaktadır. Bu kayma ( $\Delta N_1$ ) ince malzeme oranının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Seed ve De Alba (1986), kum içinde bulunan ince malzeme oranının temiz kumun Tekrarlı Gerilme Direncinde meydana getirdiği artışı incelemişlerdir. Yine Seed ve Harder (1990) ince malzeme oranının Rezidual zemin direnci

üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmaların sonucunda Şekil 4.3 de gösterilen eğrileri elde etmişlerdir.



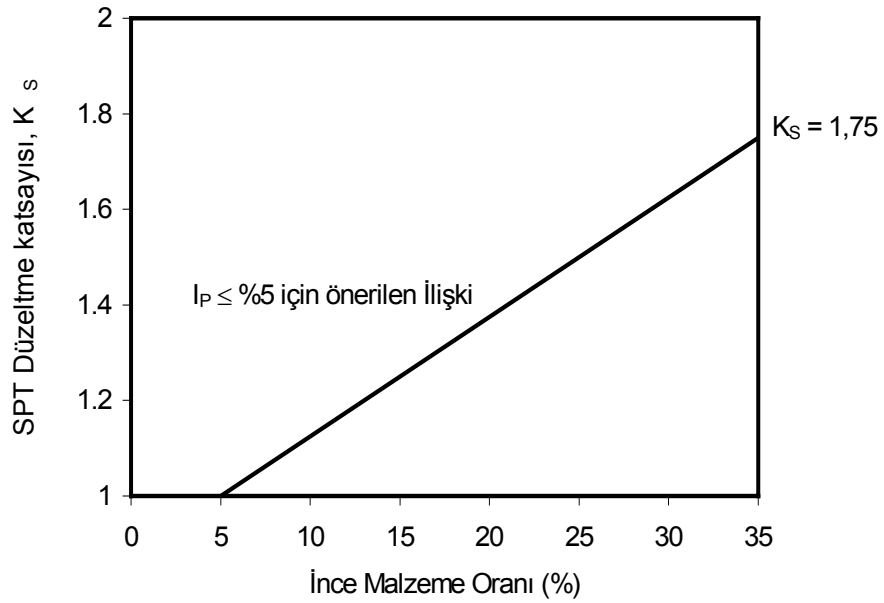
**Şekil 4.2.** İnce malzeme (-No.200) artışının, Tekrarlı Gerilme direnci üzerindeki etkisi



**Şekil 4.3.** İnce malzeme oranına bağlı olarak  $\Delta N_1$  artışı

Tez kapsamında kayma dalgası hızının belirlenmesi için gerekli olan SPT-N değerinin hesaplanmasında NCEER, 1997'nin önerdiği formüller kullanılmıştır. Ancak  $F_C > \%35$  için Seed ve De Alba (1986), Seed ve Harder (1990) ortaya koydukları Şekil 4.3 de verilen grafikten yararlanılmıştır. İnce malzeme oranının  $\%35$  den fazla olması durumunda; Şekil 4.3 yardımı ile  $F_C = \%35$  için eşdeğer SPT-N değeri belirlenmiş daha sonrada NCEER, 1997 nin önerdiği prosedür uygulanmıştır. Bu işlem, ince malzeme oranının  $\%35$ - $\%45$  arasındaki değerleri için uygulanmıştır. İnce malzeme oranının  $\%45$  den daha büyük olması durumunda zeminin sivilaşmayacağı kabul edilmiştir (E. Başarı).  $F_C \leq \%35$  için sadece NCEER, 1997 nin önerdiği prosedür uygulanmıştır.

İnce malzeme içeren zeminler için NCEER, 1997 önerilen  $K_S$  düzeltme katsayısı Şekil 4.4 ve denklem 4.2 ile verilmiştir.



**Şekil 4.4.**  $I_p \leq \%5$  için ince malzeme içeren zeminin temiz kumdaki eşdeğer SPT direnci için düzeltme katsayısı

$$\begin{aligned}
 F_C \leq \%5 & \quad \text{için} \quad K_S = 1,00 \\
 \%5 \leq F_C \leq \%35 & \quad \text{için} \quad K_S = 1 + \frac{0,75}{30}(F_C - 5) \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

$F_C$  düzeltmesinin uygulanışı aşağıda örnekler ile açıklanmıştır.

Örnek 1:

$F_C \leq \%5$  için;

Denklem 4.1 ile  $(N_1)_{60}$  hesaplanır.

$$F_C \leq \%35 \Rightarrow (N_1)'_{60} = (N_1)_{60}$$

$F_C \leq \%5 \Rightarrow K_S = 1,00$  olarak belirlenir (denklem 4.2.)

Analizlerde kullanılmak üzere  $(N_1)'_{60CS} = (N_1)'_{60} \times K_S$  değeri belirlenir.

Örnek 2:

$F_C = \%25$  için;

Denklem 4.1 ile  $(N_1)_{60}$  hesaplanır.

$$F_C \leq \%35 \Rightarrow (N_1)'_{60} = (N_1)_{60}$$

$F_C = \%25 \Rightarrow K_S = 1 + \frac{0,75}{30}(25 - 5) = 1,50$  olarak belirlenir (denklem 4.2.)

Analizlerde kullanılmak üzere  $(N_1)'_{60CS} = (N_1)'_{60} \times K_S$  değeri belirlenir.

Örnek 3:

$F_C = \%45$  için

Denklem 4.1 ile  $(N_1)_{60}$  hesaplanır.

$F_C \geq \%35 \Rightarrow (N_1)'_{60}$  aşağıdaki gibi belirlenir.

Şekil 4.3 deki grafik yardımı ile %45 ince malzeme içeren zeminin, %35 ince malzeme içeren zemine karşılık gelen eşdeğer SPT-N değeri belirlenir.

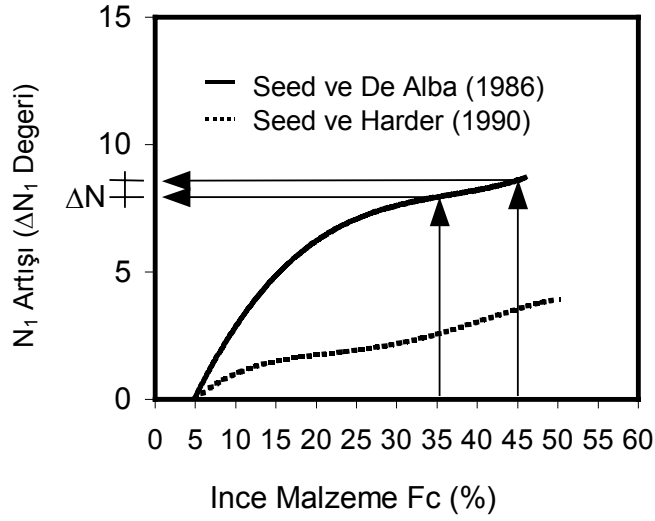
$$(N_1)'_{60} = (N_1)_{60} + \Delta N$$

$$(N_1)'_{60} = 25 + 1 = 26$$

Daha sonra NCEER Workshop-1997 nin  $F_C = \%35$  için önerdiği prosedür uygulanır.

$F_c = \%35 \Rightarrow K_s = 1,75$  (denklem 4.2).

Analizlerde kullanılmak üzere  $(N_1)'_{60CS} = (N_1)'_{60} \times K_s$  değeri belirlenir



#### 4.2. Manisa İl Merkezi İçin Yapılan Analiz Sonuçları

Bu tez kapsamında incelenen zeminlerde ince malzeme oranı %45 den büyük olduğu için inceleme sahasında sıvılaşmanın olmayacağı görülmüştür.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Zemin büyütmesi, sıvılaşma ve oturma gibi zemin davranışları bu tez kapsamında görüldüğü gibi elde bilgi mevcut olduğunda önceden tahmin edilebilmektedir. Elde bilgi mevcut ise mutlaka zemin davranış analizleri yapılmalıdır. Elde bilgi mevcut değil ise gerekli bilgiler laboratuvar ve arazi araştırmaları ile edinilmeli ve gerekli analizler yapılmalıdır.

Zemin büyütmesi, sıvılaşma ve oturma gibi etkiler yerleşim alanlarının seçilmesinde ve yapıların projelendirilmesinde göz önünde bulundurulmaz ise; yapılarda geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilir. Deprem sırasında meydana gelebilecek hasarı arttırabilir, daha da önemlisi can ve mal kaybına neden olabilir (Başarı, 2003).

Bu tez çalışmasında Manisa'ya yakın bir bölgede meydana gelen depremin Manisa'ya etkisini göstermek için K. Sadigh ve diğerlerinin ortaya koyduğu sönümlenme ilişkisi kullanılmıştır. Meydana gelen depremin merkez üssünün Manisa'ya olan uzaklığı ve depremin büyüklüğü bakımından bu sönümlenme ilişkisinin kullanılması uygundur. Ayrıca bunun ispatı olarak; Bölüm 2 de taban kayası yüzeyi için elde edilen  $a_{max} = 0.0062$  g değerine sahip ivme grafiği değeri Bölüm 3 te girdi olarak kullanılmış ve zemin yüzeyi için hesaplanan yatay yüzey ivme değerleri Manisa il merkezinde sismograf tarafından kaydedilen yatay yüzey ivme değerine oldukça yakın çıkmıştır (Tablo 2.1). Bu da Bölüm 2 ve Bölüm 3 te analiz için seçilen yöntemin uygunluğunu göstermektedir.

Bu tez kapsamında Manisa il merkezi zeminlerinin bir kısmı üzerinde çalışılmıştır. İncelenen zeminlerin depremin etkisini büyütebileceği fakat sıvılaşma ve oturma riski taşımadığı sonucuna varılmıştır.

Burada verilen analizlerin daha gelişmiş ve ayrıntılısı yeni veriler ile güncellenerek yapı projelendiren mühendisler ve ilgili kurumlar tarafından tüm Manisa zeminlerine uygulanabilir. Böylelikle olumsuz sonuçlarla karşılaşılacak bölgelerde önceden tedbirler alınmak suretiyle daha güvenli yaşam alanları oluşturulabilir.



**KAYNAKÇA**

- 1- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, sayfa: 11-13, 78,79, 1998.
- 2- AKDENİZ, N., KONAK, N., 1979 Simav – Emet – Tavşanlı – Dursunbey – Demirci Yörelerinin Jeolojisi. MTA Ege Böl. Müd. Der. No:Je-27
- 3- AKDENİZ, N., KONAK, N., ÖZTÜRK, Z., ÇAKIR, M.H., 1986 İzmir – Manisa Dolaylarının Jeolojisi MTA Gen. Müd. Der. No:7929
- 4- AKYÜREK, B., SOYSAL, Y., 1983, Biga Yarımadası Güneyinin (Savaştepe - Kırkağaç – Bergama – Ayvalık) Temel Jeoloji Özellikleri. MTA Dergisi No:95/96
- 5- BARDET, J., P., ICHII, K., and LIN, C., H., 2000, "EERA, A Computer Program For Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses Of Layers Soil Deposits", University Of Southern Colifornia Department Of Civil Engineering, August, Page:1 – 40.
- 6- BAŞARI, E., 2003, "Bursa İl Merkezi Zeminlerinde Dinamik Zemin Davranış Analizleri", Celal Bayar Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- 7- BENDAT, J., S., and PİERSAOL, A., G., 1986, Random Data, "Analysis and Measurement Procedures", John Wiley & Sons, New York, Page: 334-383.
- 8- COOLEY, J., W., and TUKEY, J., W., 1965, "An Algorithm For The Machine Calculations,of Complex Fourier Series", Mathematics Of Computation, Vol.19, No.90, Page: 297-301.
- 9- ÇETİN, Ö., 2001, "Sıvılaşma ve Potansiyeli Üzerine Durum Özeti", Prof. Dr. İsmet Ordemiri Anma Sempozyumu, 2001, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, sayfa:4\_1 – 4\_28, 2001.
- 10- DATUM GEOTEKNİK Manisa (Keçiliköy) İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt, 2001, Manisa.

- 11- DAS, B.M., 1993, "Principles of Soils Dynamics", Pws-Kent Publusing, Boston, USC, Page:52-86, 87-178, 301-325, 1993.
- 12- DORA, Ö., KUN, N., CANDAN, O., 1992, Menderes Masifi Metamorfik Tarihçesi Ve Jeotektonik Konumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt:35
- 13- ERCAN, T., GÜNAY, E., DİNÇEL, A., TÜRKECAN, A., KÜÇÜKAYMAN, A., 1980 Kula – Selendi Yörelerinin Jeolojisi Ve Volkanitlerinin Petrolojisi. MTA Ege Bölge Müd. Der. No:Je-15.
- 14- HARDER, L.F. and SEED, H.B., 1986, "Determination of Penetration Resistance for Courser Grained Soils Using the Becker Hammer Drill", Report UCB/EERC-86106, Earthquake Enginnering Research Center, University of California, Berkeley, Page:126, 1986.
- 15- HARDIN, B. O. And DRNEVITCH, V. P. 1972 "Shear Modulus and Damping İn Soil I. Measurement and Parameter Effects" Journal Of Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol.98, No.6, Page: 603-624.
- 16- HARDIN, B. O. And DRNEVITCH, V. P., 1972 "Shear Modulus and Damping İn Soil II. Design Equations and Curves," Journal Of Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol.98, No.7, Page: 667-691.
- 17- IDRIS, I., M., and SUN, J., I., 1992, "User's Manual For SHAKE91" Center For Geotechnical Modeling, Departmen Of Civil Engineering, University Of California, Davis.
- 18- ISHIBASHI, I., 1992, "Discussion to Effect of Soils Plasticity on Cyclic Responses", by M. Vucatic and R. Dobry, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.118, No.5, Page:830-832, 1992.
- 19- ISHIHARA, K. and YOSHİMİNE, M., 1992, "Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefection During Earthquakes", Soils and Foundations, Vol.32, No.1, Page:173-188,1992.
- 20- KAPAR, M., 2001, "Tek Boyutlu Lineer Dinamik Zemin Davranışı", Dokuz Eylül Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı Bitirme Projesi No:GEOBP2001G04, 2001.

- 21- KONAK, N., AKDENİZ, N., ARMAĞAN, F., 1980, Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı Dolaylarının Jeolojisi. MTA Gen. Müd. Der. No:6916
- 22- KRAMER, S.L.,1996. "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice Hall, Upper Seddle River, New Jersey, 254-300, Page:348-400, 401-409, 1996.
- 23- LENGERANLI, Y., BAYKUL, A., SUN, A., IŞIN, R., METLİ, F., AVŞAR, M., TÜRKBİLEĞİ, H., TAN, T., KAPAT, H.İ., 1998 İzmir İlinin Çevre Jeolojisi Ve Doğal Kaynaklar Raporu. MTA Ege Bölge Müd. Der. No:Je-148
- 24- MEIROVITCH, L., 1967, "Analytical Methods in Vibrations" The MacMillan Company, NY, Page: 400-401.
- 25- METLİ, F., TAN, T., BAYKUL, A., AKALIN, H.L., AVŞAR, M., TÜRKBİLEĞİ, H., SUN, A., SAYGILI, N., IŞIN, R., 2001, Manisa İli Ve Çevre Jeolojisi Ve Arazi Kullanım Potansiyeli. MTA Ege Bölge Müd. Rapor No:Je-163, Sayfa:13-19, 50-52, 71-77.
- 26- NCEER Worksop, 1997, Proceeding of the NCEER Worksop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Edited by Youd, T.L., Idriss, I.M., Technical Report No.NCEER-97-0022, December 31, 1997.
- 27- ÖZKAN, M.Y., 2001, "Yerel Zemin Koşullarına İlişkin Deprem Şartnamesi Üzerine Düşünceler", Prof. Dr. İsmet Ordemiri Anma Sempozyumu, 2001, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sayfa:2.1-2.23, 2001.
- 28- SADINGH, K., CHANG, C.Y., EGAN, J.A., MAKDISI, F., YOUNGS, R.R., 1993, "SEA96 – A New Predictive Relation For Earthquake Ground Motions İn Extensional Tectonic Regimes", Journal Of Seismological Research Letters, Vol.68, January/February 1997, Page: 180 – 189.
- 29- SCHANABEL, P., B., LYSMER, j., and SEED, H., B., (1972), "SHAKE: A Computer Program For Earthquake Response Analysis Of Horizontally Layered Sites", Report No. UCB/EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, University Of California, Berkeley, December, Page: 102.
- 30- SEED, R.B. and HARDER, L.F., 1990, SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength, in J.M. Duncan ed., Proceeding, H. Bolton

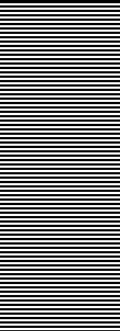
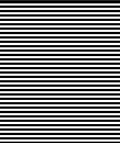
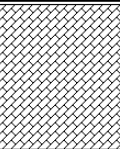
- Seed Memorial Symposium, University of California, Serkeley, Vol.2, page:351-376,1990.
- 31- SEED, H.B. and DE ALBA, P., 1986, Use of SPT and CPT Test for Evaluating the Liquefaction Resistance of Soils, Proceedings, Institu'86, ASCE,1986.
- 32- SEED, H. B. And IDRIS, I. M., (1970), "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis" Report No. UCB/EERC-70/10,Earthquake Engineering Research Center, University Of California, Berkeley, December, Page:48.
- 33- SEED, H. B., WONG, R. T., IDRIS, I. M. and TOKIMATSU, K., (1986), "Moduli and Damping Factors For Dynamic Analyses Of Cohesionless Soils" Journal Of The Geotechnical Engineering Division, ASCEE, Vol.112, No. GTI 1, November, Page:1016-1032.
- 34- SÖNMEZ, M., TÜRKECAN, A., AKÇAY, A.E., HAKYEMEZ, Y., SEDİN, D., 1998, İzmir Ve Kuzeyinin Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrografik Ve Kimyasal Özellikleri. MTA Ege Bölge Müd. Der. No:Je-149
- 35- TABBAN , A., 2000, "Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu", Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara,2000
- 36- TOKİMATSU, K. and SEED, H.B., 1987, "Evaluation of Settlements in Sand Due to Earthquake Shaking", Journal of Geotecnical Engineering, ASCEE, Vol.113, No.8, Page:861-878, 1987.
- 37- TONOUCI, K., SAKAYAMA, T., IMAI, T.,1983. "S. Wave Velocity İn The Ground and The Damping Factor", Bulletin Of International Association Of Engineering Geology 46, Page:331-347.
- 38- VUCETIC, M. and DOBRY, R., (1991), "Effect Of Soil Plasticity On Cyclic Response" Journal Of The Geotechnical Engineering Division, ASCEE, Vol.111.No.1, January, Page:89–107.
- 39- YOD, T., L., IDRIS, I., M., ANDRUS, R., D., ARANGO, I., CASTRO., G., CHRISTIAN, J., T., DOBRY, R., FINN, W., D., L., HARDER, L., F., Jr., HYNES, M., E., ISHIHARA., K., KOESTER., J., P., LIAO, S., S., C., MARCUSAN, W., F., III. MARTIN, G., R., MITCHELL, J., K., MORIWAKI, Y., POWER, M., S., ROBERTSON, P., K.,

SEED, R., B., and STOKOE, K., H., II., (1997), "Summary Report of the 1996 NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance Soils", NCEER-97-0022, Salt Lake City, Utah.



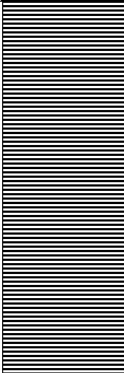
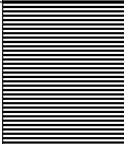
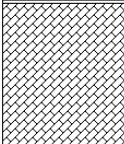
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		2	SK-2	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. ( $\mu\text{m}^3$ )	LL	PL	$I_p$	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	9	Ölçüm No: 1	1	0.05		0.00	KİL	C	1.900							152
	Ölçüm No: 2	2	0.40		0.10	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	184	499	
	Ölçüm No: 3	3	0.95		0.70	DÜŞ. PLS. KİL	CL	2.186	41	8	33	90	61	80	384	
	Ölçüm No: 4	4	1.45		1.20	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	166	483	
	Ölçüm No: 5	5	2.20		1.70	DÜŞ. PLS. KİL	CL	2.186	41	8	33	90	61	70	368	
	Ölçüm No: 6	6	2.95		2.70	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	116	432	
	Ölçüm No: 7	7	4.35		3.20	DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL	CL	2.186	41	8	33	90	61	61	353	
	Ölçüm No: 8	8	6.25		5.50	DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL	CL	2.186	41	8	33	90	61	72	372	
	Ölçüm No: 9	9	8.50		7.00	DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL	CL	2.186	41	8	33	90	61		850	
					10.00	ŞEYL										850
					150.00	KAYA										1100

EK-1-2. Kuyu No:2 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		3	SK-3	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m <sup>3</sup> )	LL	PL	I <sub>p</sub>	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	1	Ölçüm No:	1	4.00		0.00	ŞEYL		2.20				30	16		850
						8.00	ŞEYL		2.20							850
						150.00	KAYA									1100

**EK-1-3. Kuyu No:3 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri**



Ölçüm Yapılan Kuyu No:		4	SK-4	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. ( $t/m^3$ )	LL	PL	$I_p$	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	1	Ölçüm No:	1	4.50		0.00	ŞEYL			21	11	10	62	37		850
						9.00	ŞEYL									850
						150.00	KAYA									1100

EK-1-4. Kuyu No:4 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		5	SK-5	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m <sup>3</sup> )	LL	PL	I <sub>p</sub>	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	V <sub>s</sub>
Ölçüm Sayısı:	3	Ölçüm No:	1	0.08		0.00	KİL	C	1.90							152
		Ölçüm No:	2	0.78		0.15	AYRIŞMIŞ KIRIKLI ÇATLAKLI ŞEYL		2.08				52	25	61	353
		Ölçüm No:	3	5.20		1.40	ŞEYL									850
						9.00	ŞEYL									850
						150.00	KAYA									1100

EK-1-5. Kuyu No:5 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		6	SK-6	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. ( $\mu\text{m}^3$ )	LL	PL	$I_p$	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	11	Ölçüm No:	1	0.08		0.00	KİL	C	1.900							152
		Ölçüm No:	2	1.58		3.00	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	77	379
		Ölçüm No:	3	4.35		5.70		CL	2.186	45	23	22	94	81	97	408
		Ölçüm No:	4	6.00		6.30	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	32	288
		Ölçüm No:	5	7.50		8.30		CL	2.186	45	23	22	94	81	39	306
		Ölçüm No:	6	8.70		9.10	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	26	270
		Ölçüm No:	7	9.50		9.90		CL	2.186	45	23	22	94	81	54	339
		Ölçüm No:	8	10.15		10.40	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46	26	270
		Ölçüm No:	9	10.70		11.00		CL	2.186	45	23	22	94	81	60	351
		Ölçüm No:	10	11.25		11.50	SİLTİLİ KUM	SC	2.197	21	11	10	90	46		300
		Ölçüm No:	11	12.00		12.50		CL	2.186	45	23	22	94	81		400
						150.00	ŞEYL									850
							KAYA									1100

EK-1-6. Kuyu No:6 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		7	SK-7	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m <sup>3</sup> )	LL	PL	I <sub>p</sub>	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	3	Ölçüm No:	1	0.05		0.10	KİL		1.900							152
		Ölçüm No:	2	1.60		3.20	AYRIŞMIŞ KIRIKLI ÇATLAKLI ŞEYL		1.889						107	421
		Ölçüm No:	3	6.60		10.00	ŞEYL			55	40	15	99	63		850
						150.00	ŞEYL									850
							KAYA									1100

EK-1-7. Kuyu No:7 İçin Analizlerde Kullanılan Zemin Profilleri

## EK-2. ANALİZLERDE EERA PROGRAMI İÇİN BİLGİSAYARA GİRİLEN ZEMİN PROFİL BİLGİLERİ

### EK-2-1. EERA Programına Kuyu No:1 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri

Fundamental period (s) = 0.73  
Average shear wave velocity (m/sec.) = 821.75  
Total number of sublayers = 105

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1	0.1			19.00	152				
	2	2	1	0.6			21.97	499				
	3	1	1	1.0			21.86	323				
	4	2	1	0.5			21.97	433				
	5	1	1	0.5			21.86	382				
	6	2	1	0.4			21.97	414				
	7	1	2	1.7			21.86	403				
	8	2	1	0.6			21.97	416				
	9	1	1	3.6			21.86	360				
	10	2	94	140.0			22.00	850				
Bedrock	11	0					22.02	1100	Outcrop			

Fundamental period (s) = 0.72  
Average shear wave velocity (m/sec) = 828.35  
Total number of sublayers = 106

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1	0.1			19.00	152				
	2	2	1	0.6			21.97	499				
	3	1	1	0.5			21.86	384				
	4	2	1	0.5			21.97	483				
	5	1	1	1.0			21.86	368				
	6	2	1	0.5			21.97	432				
	7	1	2	2.3			21.86	353				
	8	1	1	1.5			21.86	372				
	9	1	2	3.0			21.86	850				
	10	2	94	140.0			22.00	850				
Bedrock	11	0					22.02	1100	Outcrop			

**EK-2-3: EERA Programına Kuyu No:3 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri**

Fundamental period (s) = 0.70  
Average shear wave velocity (m/sec) = 850.00  
Total number of sublayers = 101

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	2	6	8.0			22.00	850				
	2	94	140.0			22.00	850				
Bedrock	0				1	22.02	1100	Outcrop			

**EK-2-4. EERA Programına Kuyu No:4 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri**

Fundamental period (s) = 0.70  
 Average shear wave velocity (m/sec) = 850.00  
 Total number of sublayers = 101

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	2	6	9.0			22.00	850				
	2	2	94	140.0			22.00	850				
Bedrock	3	0				1	22.02	1100	Outcrop			



Fundamental period (s) = 0.71  
Average shear wave velocity (m/sec) = 845.13  
Total number of sublayers = 103

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1	0.2			19.00	152				
	2	2	1	1.3			20.84	353				
	3	2	6	7.6			22.00	850				
	4	2	94	140.0			22.00	850				
Bedrock	5	0				1	22.02	1100	Outcrop			

**EK-2-5. EERA Programına Kuyu No:5 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri**

**EK-2-6: EERA Programına Kuyu No:6 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri**

Fundamental period (s) = 0.75  
Average shear wave velocity (m/sec.) = 809.02  
Total number of sublayers = 109

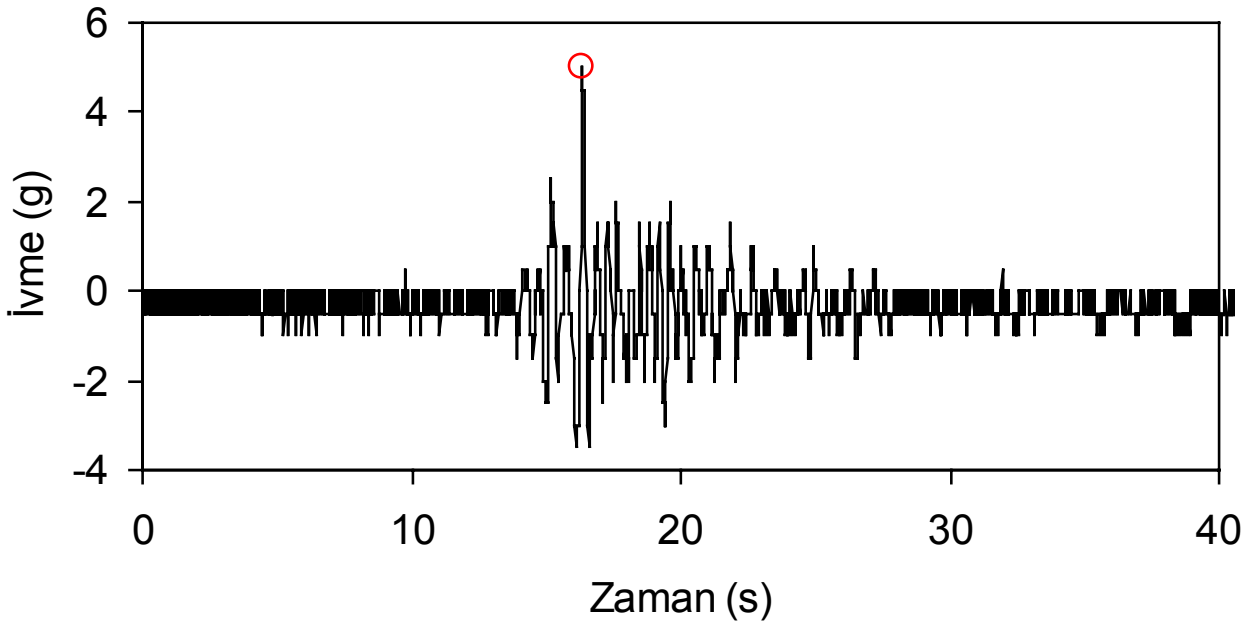
	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1	0.2			19.00	152				
	2	2	2	2.9			21.97	380				
	3	1	2	2.7			21.86	407				
	4	2	1	0.6			21.97	288				
	5	1	2	2.0			21.86	307				
	6	2	1	0.8			21.97	270				
	7	1	1	0.8			21.86	340				
	8	2	1	0.5			21.97	270				
	9	1	1	0.6			21.86	351				
	10	2	1	0.5			21.97	300				
	11	1	1	1.0			21.86	400				
Bedrock	12	2	94	140.0			22.00	850				
	13	0				1	22.02	1100	Outcrop			

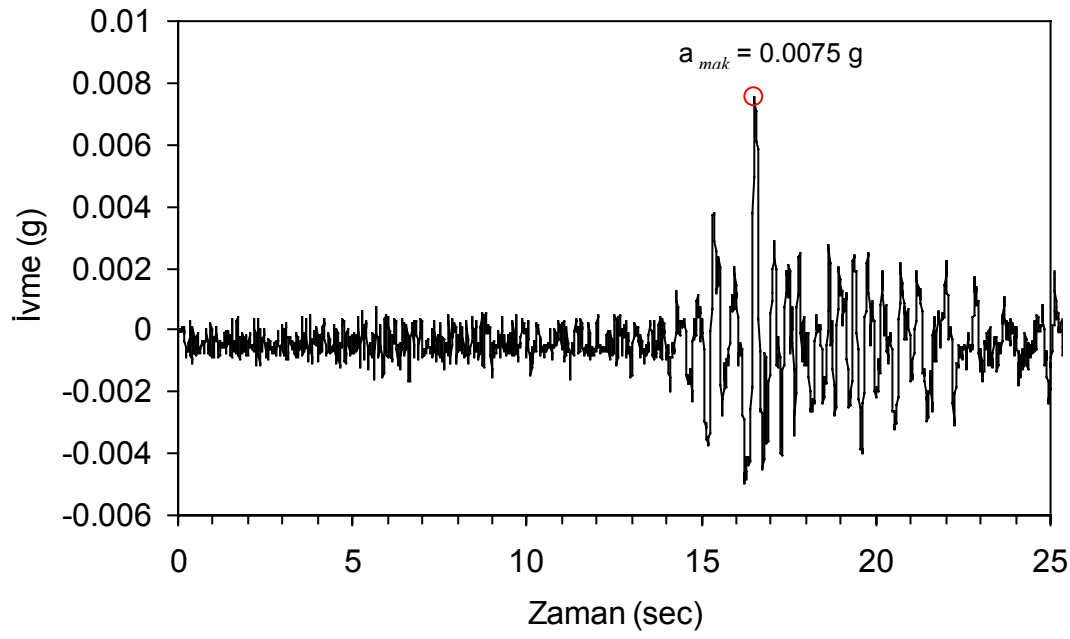
**EK-2-7. EERA Programına Kuyu No:7 İçin Girilen Zemin Profil Bilgileri**

Fundamental period (s) = 0.71  
Average shear wave velocity (m/sec ) = 840.67  
Total number of sublayers = 104

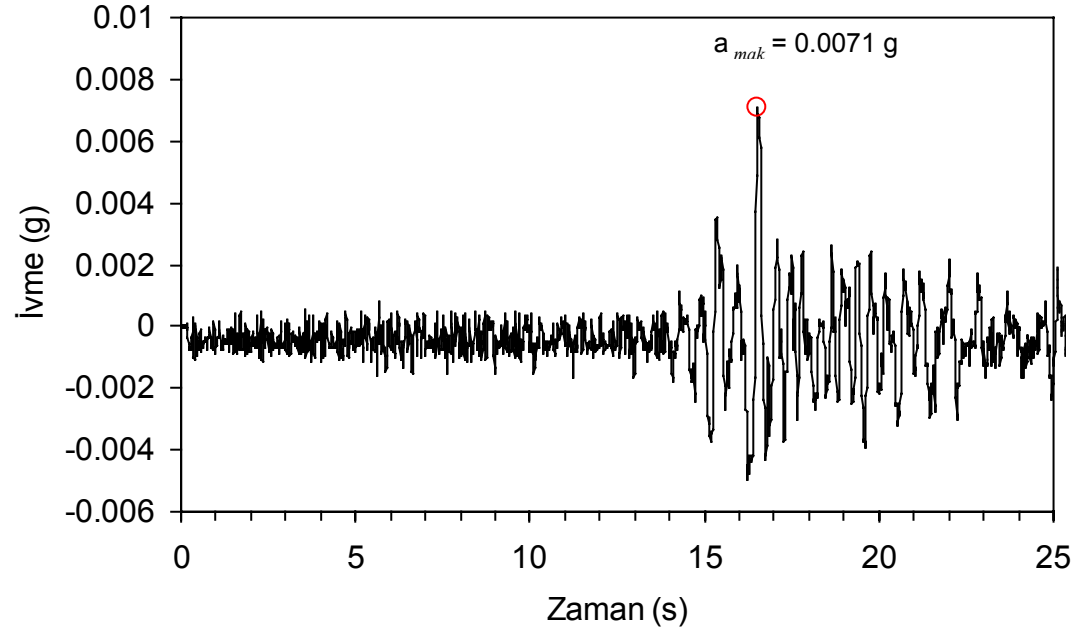
	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	1	0.1			19.00	152				
	2	2	3	3.1			18.89	421				
	3	2	5	6.8			22.00	850				
	4	2	94	140.0			22.00	850				
Bedrock	5	0				1	22.02	1100	Outcrop			

**EK-3. MANİSA İL MERKEZİ TABAN KAYASI İÇİN SÖNÜMLEME İLİŞKİLERİNDEN ELDE  
EDİLEN İVME GRAFİĞİ**

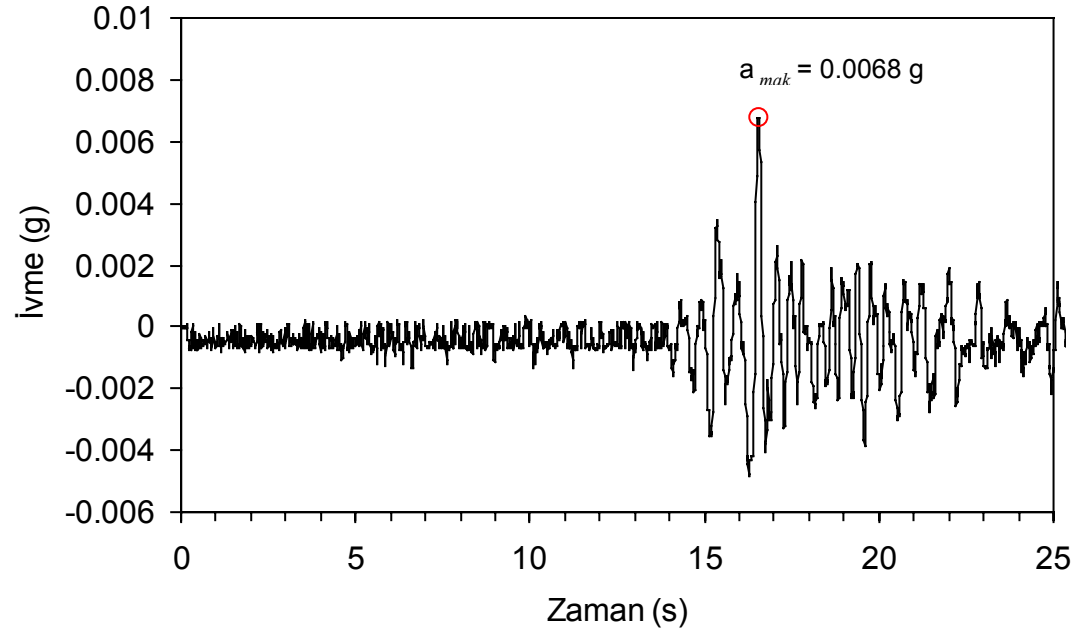


**EK-4. MANİSA İL MERKEZİ ZEMİN YÜZEYLERİ İÇİN ELDE EDİLEN YATAY İVME DEĞERLERİ****EK-4-1. Kuyu No:1 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri**

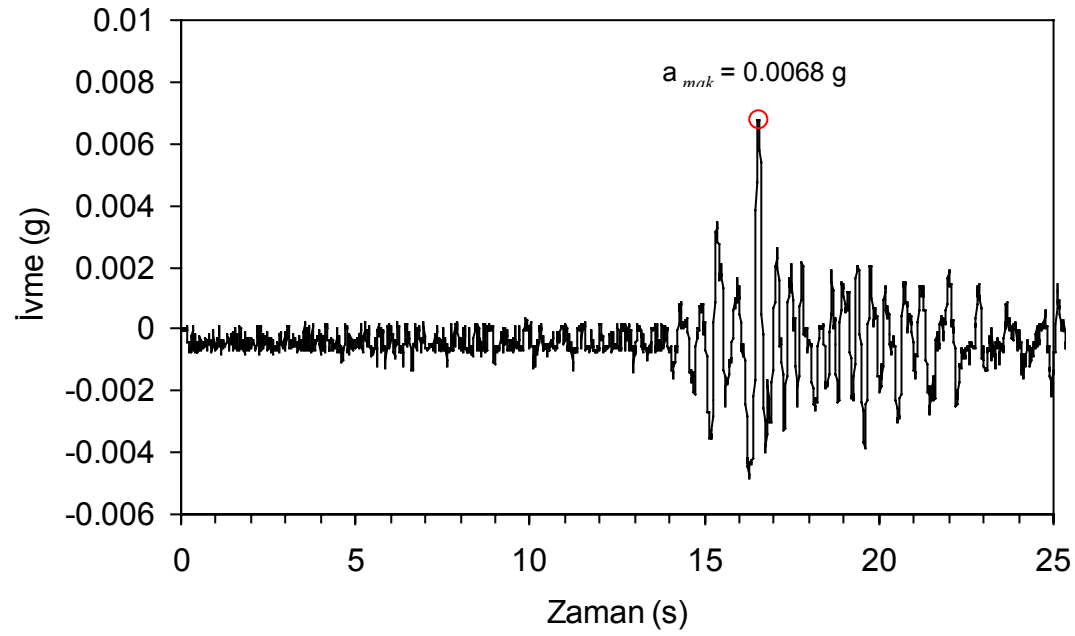
EK-4-2: Kuyu No:2 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri



EK-4-3. Kuyu No:3 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri

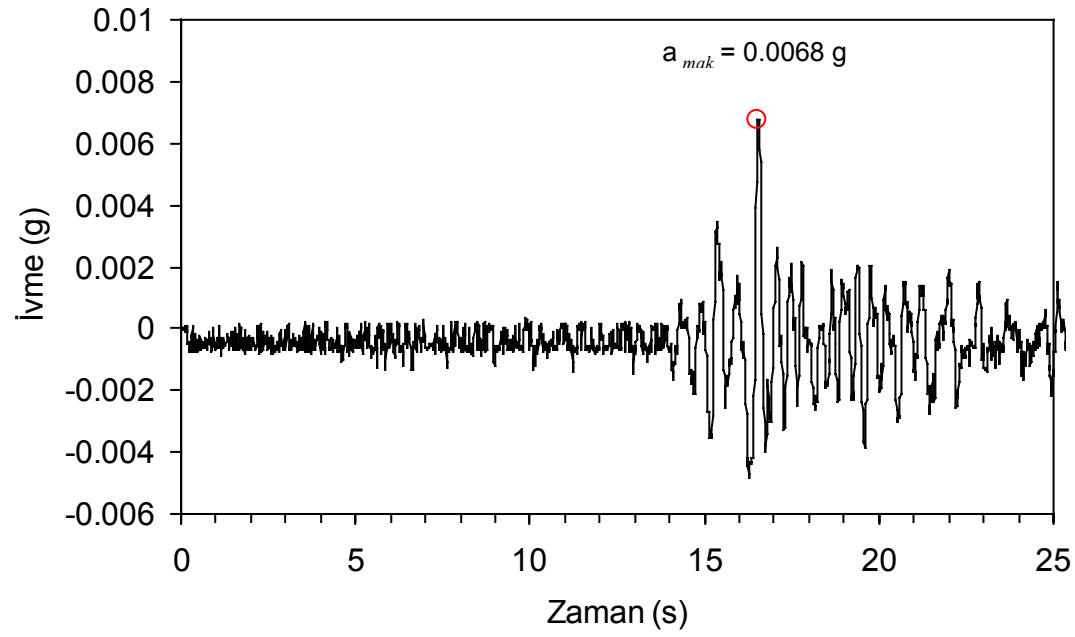


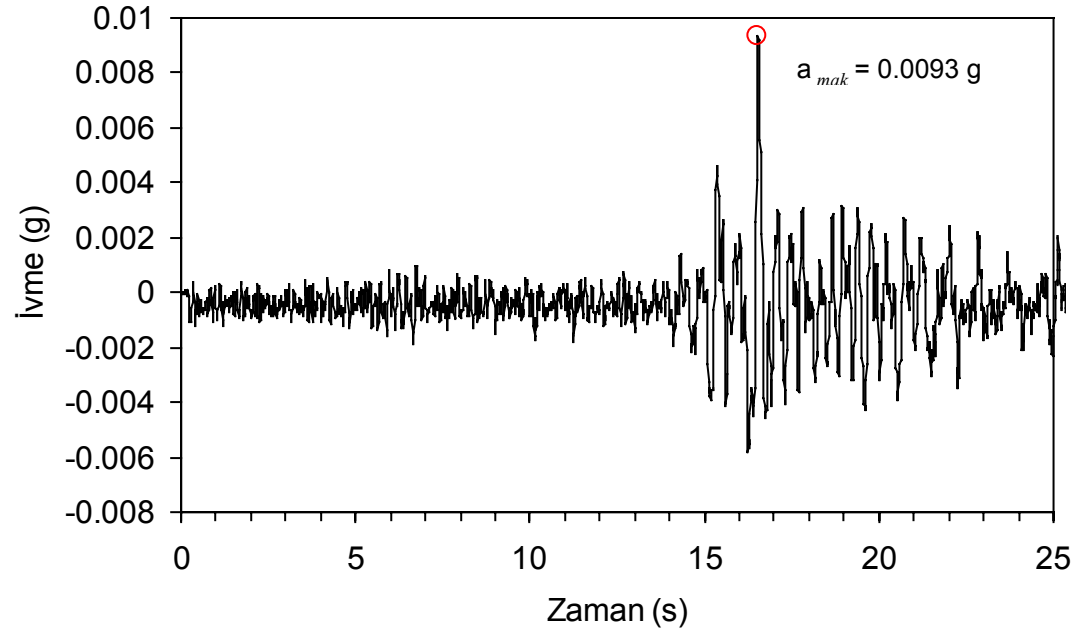
EK-4-4. Kuyu No:4 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri





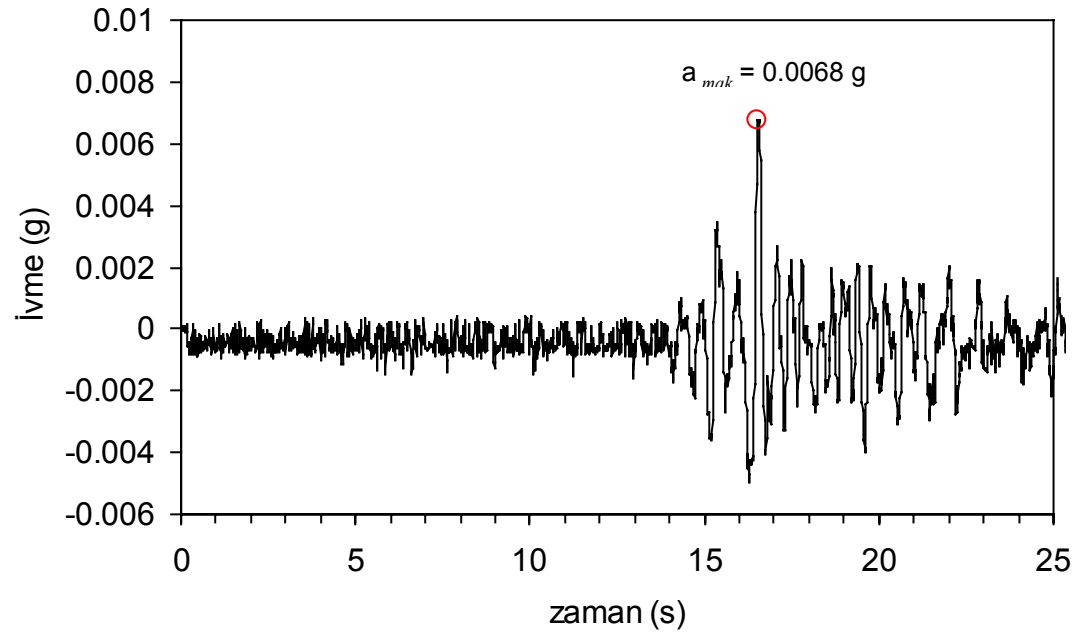
EK-4-5. Kuyu No:5 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri

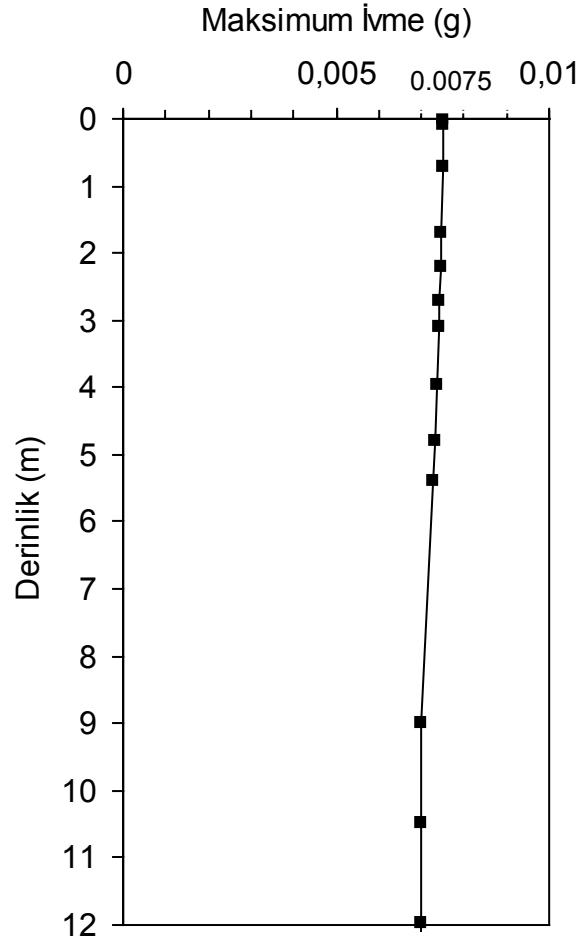


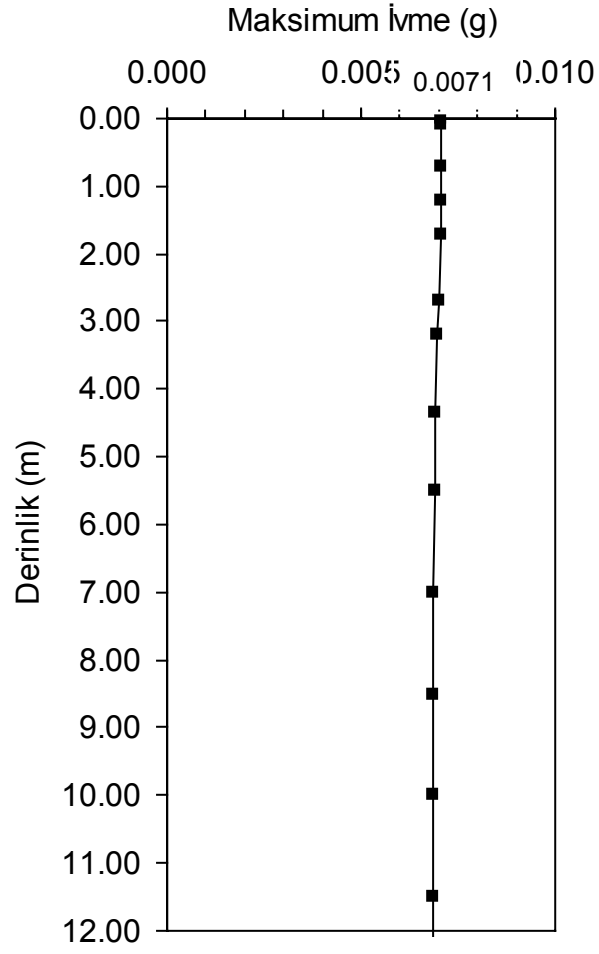


EK-4-6. Kuyu No:6 İçin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri

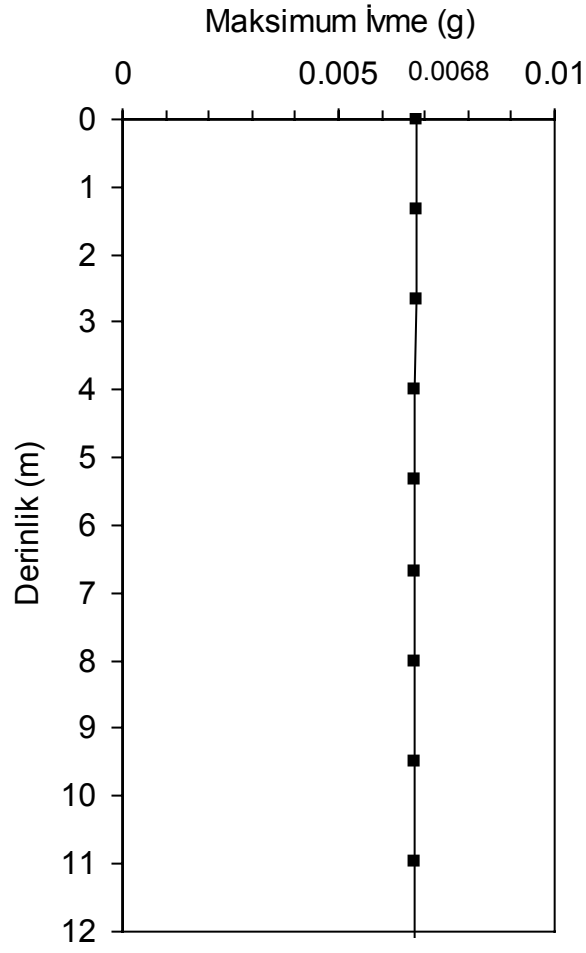
EK-4-7. Kuyu No:7 İin Zemin Yüzeyinde Elde Edilen İvme Değeri

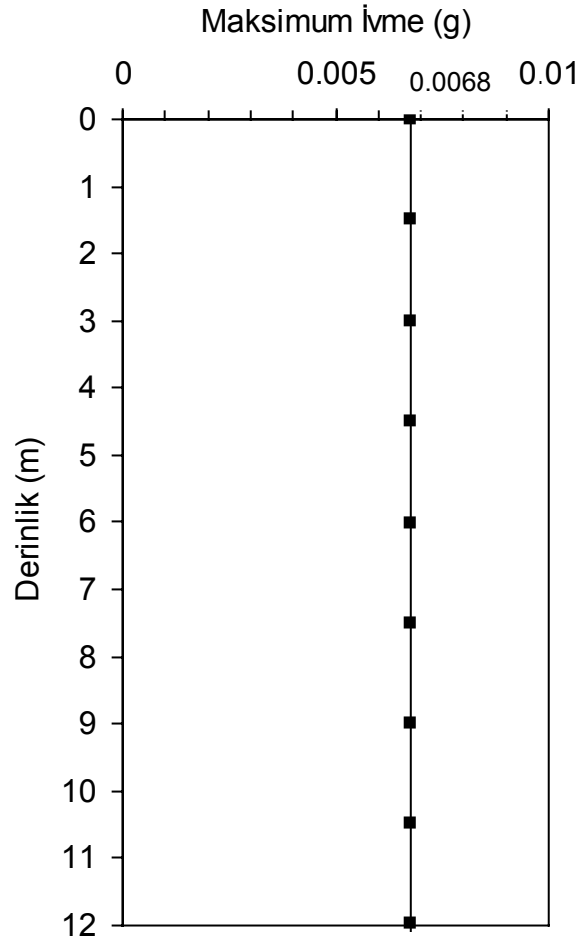


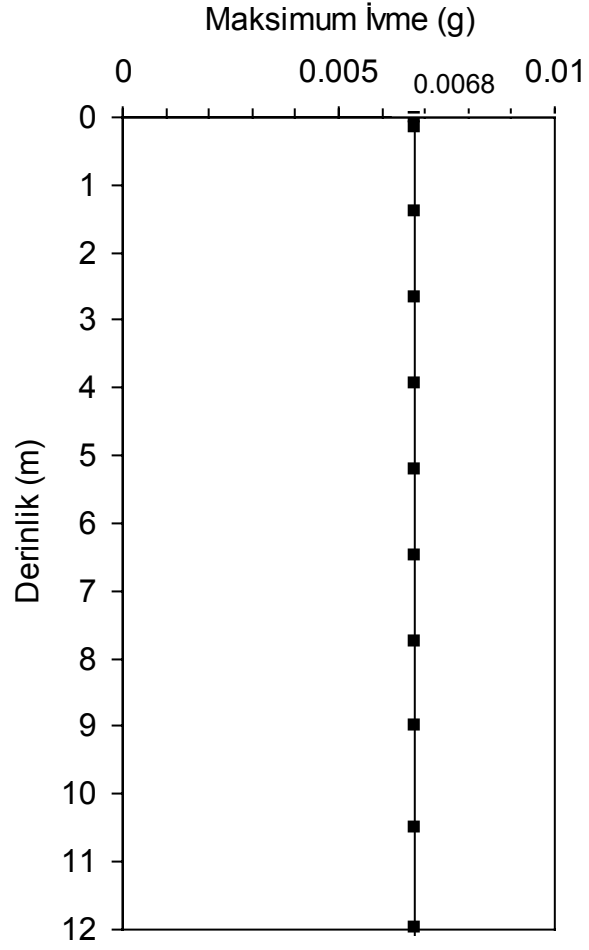
**EK-5. YATAY İVMENİN DERİNLİKLE DEĞİŞİMİ****Ek-5-1. Kuyu No:1 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi**

**Ek-5-2. Kuyu No:2 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi**

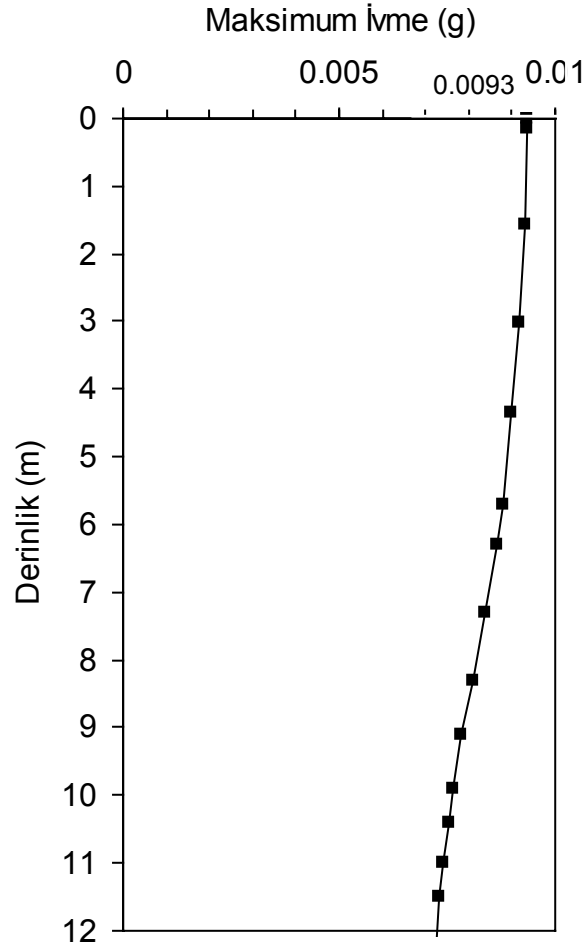
Ek-5-3. Kuyu No:3 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi



**Ek-5-4. Kuyu No:4 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi**

**Ek-5-5. Kuyu No:5 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi**



**Ek-5-6. Kuyu No:6 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi**

**Ek-5-7. Kuyu No:7 İçin Yatay İvmenin Derinlikle Değişimi**