

139019

T.C. CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ender BAŞARI

Ana Bilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Geoteknik

MANİSA 2003

139019
T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
BURSA İL MERKEZİ

T.C. CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Ender BAŞARI

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.10.2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 25.09.2003

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet GÜZEL

Diğer Jüri Üyeleri : Yard. Doç. Dr. Gürkan ÖZDEN

Yard. Doç. Dr. Semih KÜÇÜKARSLAN

Alınışıl
Gürkan Özen
Şiş

MANİSA 2003

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	I
SEMBOL LİSTESİ	III
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÇİZELGE VE TABLO LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
ÖNSÖZ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. İVME AZALIM (SÖNÜMLEME) İLİŞKİSİ	5
2.1. Bursa İl Merkezi Taban Kayası İvme Değerlerinin Belirlenmesi	6
3. DOĞRUSAL ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ	11
3.1. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ İÇİN EŞDEĞER DOĞRUSAL MODELLEME	12
3.1.1. Bir Boyutlu Gerilme Deformasyon İlişkisi	12
3.1.2. Doğrusal Olmayan Gerilme – Deformasyon Analizi İçin Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım	14
3.2. BİR BOYUTLU ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ	19
3.2.1. Yapılan Kabuller Ve Tanımlar	19
3.2.2. Transfer Fonksiyonları	20
3.2.3. Bir Boyutlu Eşdeğer Doğrusal Zemin Davranış Analizleri	23
3.2.4. Sönümlü (Geçici) Hareketler	26
3.2.5. Eşdeğer Doğrusal Analiz İçin İteratif Yaklaşım	27
3.3. BURSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ	29
4. SIVILAŞMA	34
4.1. SIVILAŞMA ANALİZİ	36
4.1.1. Zeminin Tekrarlı Yükleme Karşı Direnci (CRR)	36
4.1.1.1. İnce Malzeme Oranı (F_c) Ve Düzeltmesi	38
4.1.1.2. Plastiklik İndeksi (I_p) Düzeltmesi	42
4.1.2. CSR: Tekrarlı Yükleme Esnasında Zeminde Oluşan Kayma Gerilme Oranı (τ_d/σ'_v)	46
4.1.3. Zeminin Sıvılaşma Analizi	47
4.1.4. Sıvılaşma Analizi İçin İşlem Adımları	47
4.1.5. Bursa İl Merkezi İçin Yapılan Analiz Sonuçları	49

5. KUMLU ZEMİNLERİN DİNAMİK YÜKLER ETKİSİ ALTINDA OTURMASI	51
SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKÇA	58
EKLER	62
EK-1. SIVILAŞMA VE OTURMA ANALİZİ İÇİN OLUŞTURULAN BİLGİSAYAR PROGRAMININ AKIŞ DİYAGRAMI	63
EK-2. ANALİZLERDE KULLANILAN ZEMİN PROFİLLERİ	65
EK-3. ANALİZLERDE EERA PROGRAMI İÇİN BİLGİSAYARA GİRİLEN ZEMİN PROFİL BİLGİLERİ	88
EK-4. BURSA İL MERKEZİ TABAN KAYASI İÇİN SÖNÜMLEME İLİŞKİLERİNDEN ELDE EDİLEN İVME GRAFİĞİ	92
EK-5. BURSA İL MERKEZİ ZEMİN YÜZEYİ İÇİN ELDE EDİLEN YATAY İVME DEĞERLERİ	94
EK-6. YATAY İVMENİN DERİNLİKLE DEĞİŞİMİ	98
EK-7. SIVILAŞMA VE OTURMA ANALİZLERİ İÇİN GİRİLEN GENEL VERİLER	101
EK-8. SIVILAŞMA ANALİZLERİ	102
EK-9. OTURMA ANALİZLERİ	114
EK-10 ÖZGEÇMİŞ	126
EK-11 TANITICI BİLGİ	127
EK-12 TEZİN CD'DE KAYITLI BİR ÖRNEĞİ VE TEZDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMLARI	129

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.
- 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_{IP} : Plastisite düzeltme katsayısı
- K_S : İnce malzeme düzeltme katsayısı
- M : Deprem büyüklüğü
- $(N_1)_{60}$: %60 enerji seviyesine göre düzeltilmiş SPT-N değeri
- R_γ : Efektif kayma deformasyonunun, maksimum kayma deformasyonuna oranı
- r : Düzeltilmiş fay kırığı mesafesi
- r_d : Derinlik düzeltmesi
- r_{jb} : Fay kırığı ile ölçüm noktası arasındaki en kısa yatay 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
ω	: Frekans
ε	: Deformasyon oranı
σ'_v	: Düşey efektif gerilme
σ_v	: Düşey toplam gerilme
γ	: Birim hacim ağırlık
γ	: Kayma deformasyonu
$\dot{\gamma}$: Kayma deformasyonu değişim oranı
ρ	: Yoğunluk
τ	: Kayma gerilmesi
η	: Viskozite
ξ	: Sönüm oranı
Γ	: Kayma deformasyon genliği
Γ_z	: Jeolojik faktör katsayısı (Kaya/Zemin)

ŞEKİLLER VE GRAFİKLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Bursa il merkezinin konumu (ölçeksiz). (http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay1.asp , 2003).	2
Şekil 1.2. Bursa il merkezi zeminlerinde büyütme analizi yapılan sondaj kuyuları ve isimleri (ölçeksiz).	3
Şekil 1.3. Bursa il merkezi zeminlerinde sıvılaşma ve oturma analizi yapılan sondaj kuyuları ve isimleri (ölçeksiz).	4
Grafik 2.1. 17 Ağustos 1999 Gebze – Kocaeli (GBZ) İstasyonundaki ivme kaydı.	7
Grafik 2.2. Sönümlenme ilişkisinin kullanılmasından sonra Bursa il merkezi taban kayası için elde edilen ivme değerleri (ölçeksiz).	7
Şekil 3.1. Eşdeğer doğrusal yaklaşımda kullanılan gerilme – deformasyon modelinin şematik temsili.	12
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 (ξ) kayma deformasyon (γ) büyüklüğü ile değişimi.	15
Şekil 3.3. τ/τ_{mak} ve G/G_{maks} eğrileri deformasyon yumuşamasına bir örnek olarak doğrusal ve yarı logaritmik olarak gösterilmiştir.	16
Şekil 3.4. Kompleks kayma modülü genişliğinin kritik sönüm oranı ile değişiminin normalize edilmesi (Model 1).	17
Şekil 3.5. Her tekrarlı yüklemeye için model 1 ve model 2 de kritik sönüm oranının fonksiyonu olarak tanımlanan enerji kaybındaki değişimin normalize edilmesi ile elde edilen grafik.	18
Şekil 3.6. Bir kırılmadan kaynaklanan dalgaların zemin yüzeyine yaklaştıkça düşeyleşmesi.	19
Şekil 3.7. Analizlerde kullanılan terimler.	20
Şekil 3.8. Periyodik ve periyodik olmayan hareketlere örnekler.	21
Şekil 3.9. Bir boyutlu olarak tabakalanmış zemin tabakaları (Schnabel, 1972).	23
Şekil 3.10. Eşdeğer doğrusal analizde kayma deformasyonu ile kayma modüllerinin ve sönümlenme oranlarının iterasyonu.	28
Şekil 3.11. Bursa il merkezi zeminlerinde büyütme analizi yapılan noktalar ve elde edilen büyütme oranları.	32

Şekil 4.1. Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) ile kumlu zeminlerdeki SPT-N arasındaki ilişki (Seed et al, 1985)	35
Şekil 4.2. İnce malzeme (-No.200) artışının, Tekrarlı Gerilme Direnci üzerindeki etkisi.	38
Şekil 4.3. İnce malzeme oranına bağlı olarak ΔN_1 artışı.	39
Şekil 4.4. $I_p \leq 5$ için ince malzeme içeren zeminin temiz kumdaki eşdeğer SPT direnci için düzeltme katsayısı.	40
Şekil 4.5. Plastiklik indeksinin (I_p) Tekrarlı Gerilme Direnci üzerindeki etkisi	42
Şekil 4.6. $I_p > 5$ için $K_{I_p} = CRR / CRR_{I_p = 5}$ değerinin okunması.	43
Şekil 4.7. Denklem 4.6 ile verilen fonksiyonun grafiği.	45
Şekil 4.8. Birim en kesit alanlı kum kolonunda oluşan kayma gerilmesi (τ_{mak}).	46
Şekil 4.9. Bursa il merkezi zeminlerinde (Nilüfer – Yıldırım İlçelerinde) $M = 7,5$ ve $a_{maks} = 0,4g$ için sıvılaşma riski bulunan noktalar (ölçeksiz).	50
Şekil 5.1. Sıvılaşma Güvenlik faktörüne (G_F) ve SPT-N değerine bağlı olarak, kumlu zeminlerde sıvılaşma sonrası deformasyon oranı ilişkisi (Ishihara and Yoshime, 1992).	52
Şekil 5.2. Oturma analizleri yapılan noktalar ve elde edilen oturma miktarları (ölçeksiz).	54

ÇİZELGE VE TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Sönümlenme ilişkisi denklem 2.1 için katsayılar.	6
Tablo 2.2. 17 Ağustos 1999 00:02 7.4 depreminin 24 istasyondan alınmış ivme kayıtları (http://angora.deprem.gov.tr/17agustos.htm , 2003).	9
Tablo 2.3. Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri (bakınız Bölüm 3).	10
Tablo 3.1. Zemin türüne göre ortalama Vs değerleri (Das, 1993).	30
Tablo 3.2. Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yüzey ivme değerleri.	31
Tablo 4.1. SPT için düzeltme katsayıları (NCEER, 1997).	37
Tablo 4.2. Sondaj kuyularının sıvılaşma riski ($a = 0,4g$ vs $M = 7,5$).	49
Tablo 5.1. Sondaj kuyularında deprem etkisi ile oluşabilecek oturma miktarları ($a = 0,4g$ vs $M = 7,5$).	53

KISALTMALAR LİSTESİ

- CRR : (Cyclic Resistance Ratio) Tekrarlı yükleme direnci oranı
CPT : Koni penetrasyon testi
CSR : Tekrarlı gerilme oranı
DFT : Ayrık Fourier Dönüşümü
 D_r : Sıkılık oranı
 F_c : (Fines Content) İnce malzeme oranı
FFT : Kısa Fourier Dönüşümü
 G_F : Güvenlik faktörü (sıvılaşmaya karşı)
IDFT : Ters Fourier dönüşümü
 I_p : Plastisite indeksi
N : Standart Penetrasyon Testi (SPT-N) darbe sayısı
 $(N_1)_{60CS}$: Bütün düzeltmeler uygulanmış N değeri
-No.200 : No.200 eleğinden geçen malzeme oranı
MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme faktörü
SH : Yatay deprem kayma dalgası
SPT : Standart Penetrasyon Testi
SPT-N : Standart penetrasyon testi (SPT-N) darbe sayısı
EERA : (Equivalent-linear Earthquake Response Analysis) Eşdeğer-Doğrusal
Deprem Tepki Analizi

ÖNSÖZ

Anadolu'nun yerkürede kazandığı doğal jeolojik yapı nedeniyle deprem, bu ülkede yaşayanlar için kaçınılmazı mümkün olmayan bir olaydır. Dolayısıyla ülkemizdeki yerleşim birimleri mutlaka bir deprem tehdidi altındadır. Ülkemizdeki bu deprem tehlikesinin biz bilim adamları ve mühendisler tarafından geliştireceğimiz yada dünyada geliştirilmiş son teknikleri kullanarak gerekli bilimsel araştırmaları yapmamız ve elde edeceğimiz sonuçları pratik hayata uygulamamız gerekir. Geliştirilen teknikler ve yöntemler henüz mühendislere ulaşmış uygulama safhasına ulaşmadan daha yeni teknikler ve yöntemler geliştirilmektedir. Bu değişimi seyredip, nasıl olsa kısa bir süre sonra bu teknik ve yöntemler değişecek, bu günkü bir kenarda dursun yenilerini bekleyeyim diyerek hep beklemede kalmamak yada yeni gelişmeleri takip etmek imkansız diyerek, sürekli eski yöntemleri kullanmamak gerekir. Bir yerden başlayıp yeni teknikler ile yöntemleri kullanarak sürekli kendimizi yenilememiz gerekmektedir. Tezimi hazırlarken analizlerde kullandığım yöntemlerde tezimin başlangıcından bitişine kadar olan kısa bir süre içinde bile bazı değişiklikler olmuştur. Bu değişiklikleri takip etmeye çalıştım ve analizlerimde tezim bitmeden önce en son geliştirilen yöntemleri kullandım. Kullandığım bu yöntemlerde kısa bir süre içinde yerini yeni geliştirilen yöntemlere bırakacaktır. Umarım bu süre içerisinde bu tez kapsamında yapılan analiz ve çalışmalar benzer çalışmalara kaynaklık ve örnek teşkil eder.

Tez çalışmamdaki araştırmalarımda bana her türlü imkanı ve olanağı tanıyan sayın danışman hocam Prof. Dr. Ahmet GÜZEL'e, benden yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Gürkan ÖZDEN'e, sürekli bilgi alışverişinde bulunduğum sayın Dr. Mehmet KURUOĞLU'na, bana ihtiyacım olan her türlü bilgiyi sağlamada gösterdikleri yardımlarından dolayı Bursa Büyük Şehir Belediyesi Zemin Etüt Şefi sayın Rüstem AKTAŞ'a, sayın Dr. Fazilet ALTINIŞIK'a ve ismini burada saymadığım tezimin ortaya çıkmasında katkısı olan herkese teşekkür ederim.

Bundan sonraki araştırma ve çalışmalarında bilim ve teknikteki en son gelişmelerin sürekli takipçisi olacağımı ve bunu görevim olarak benimseyeceğimi burada belirtmek isterim.

Ender BAŞARI

2003

ÖZET

Bu tez kapsamında, Bursa il merkezinin sıvılaşma olasılığı bulunan bir kısım zeminlerinde deprem hareketini büyütme özelliği, sıvılaşma riski ve kumlu zeminlerde meydana gelebilecek oturmalar analiz edilmeye çalışılmıştır.

Analizlerde bu yöre çevresinde meydana gelen 17 Ağustos 1999 deprem ivme kayıtları esas alınmıştır. Bursa il merkezi taban kayası yüzeyinde oluşacak maksimum yatay ivmeler, P. Spudich, J.B. Fletcher et al, (1997), tarafından önerilen sönümlenme ilişkileri kullanılarak belirlenmiştir. Sönümlenme ilişkilerinde, zemin yapısından dolayı Kocaeli-Gebze (GBZ) istasyonundaki ivme kayıtları kaynak veri olarak alınmıştır. Bursa 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 bir boyutlu eşdeğer-doğrusal zemin davranış modelinin esasları Bölüm 3. de verilmektedir.

Deprem sırasında sismik dalgalar zeminde ilerlerken tekrarlı ve birbirine göre ters yönde kuvvet çiftleri (kayma gerilmesi) yaratarak, daneleri boşluk hacmini küçültecek şekilde yer değiştirmeye zorlar. Bu tekrarlı hareketler çok kısa sürelerde yön 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. CRR nin belirlenmesi için arazi deneylerine dayanan çeşitli korelasyonlar geliştirilmiştir. Bu tezde, sıvılaşma analizleri esas olarak NCEER – 1997'nin önerdiği SPT-N korelasyonlarına dayanmaktadır. Ancak ince malzeme (-No.200) oranının %35< (-No 200) <%45 olduğu durumlar için Seed and De Alba (1986), Seed and Harder (1990)'nın önerdikleri yöntemlerden yararlanılmıştır. Zeminin plastiklik indeksinin, $I_p > %5$ olması durumunda ise Seed et al, (1990), Ishihara et al, (1992) geliştirdikleri yöntemlerden yararlanılmıştır.

Deprem etkisi ile zeminde oluşan gerilmelerden dolayı, kumlu zeminlerde sıkışmalar oluşur. Bursa il merkezi zeminlerinde deprem etkisi ile oluşacak sıkışmaları (oturmaları) tahmin etmek için, G_f (sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü) ve SPT-N değerine (veya CPT veya Sıklık-Dr değerine) bağlı olarak Ishihara and Yoshimine (1992) 'nin geliştirdikleri yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile G_f ve SPT-N değer çiftlerine karşılık gelen deformasyon oranı (ϵ) belirlenerek oturmalar tahmin edilebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen sıvılaşma ve oturma analizleri, ekler kısmında verilen ve bu tez çalışması için oluşturulan bir Excell programı ile yapılmıştır.

ABSTRACT

In the scope of this thesis, the amplification and, the liquefaction analysis and the sandy soil settlement analysis of selected locations of Central Bursa has been illustrated.

In the analysis the 17 August 1999 Kocaeli Earthquake records have been considered. In the region, the maximum horizontal accelerations in the bed rock have been determined by the damping relations which is offered by P. Spudich, J.B. Fletcher et al, (1997). In this process Kocaeli-Gebze (GBZ) station records have been used. In the analysis of amplification of central Bursa region the software EERA (Equivalent – Linear Earthquake Response Analysis) has been used. Additional information about the software can be found on the web site: <http://geoinfo.usc.edu/gees>. The information about the software which is used for the analysis of the soil amplification has been given in Section 3. In Section 3 "One Dimensional Equivalent Linear Soil Response Analysis" has been illustrated which is the basic principle of the soil amplification.

During the earthquakes, seismic waves travel through the soil and they cause harmonic pair of forces. Those pair of forces force the soil particles to be dense. The direction of the harmonic motion changes in short periods and this causes an increase in the pore water pressure of the soils. When the pore water pressure is equal to vertical effective stress the soil behaves as liquid and this is called liquefaction. The ratio of shear stress and vertical effective stress during the earthquake is called Cyclic Stress Ratio (CSR). Liquefaction occurs when the ratio of CSR is greater than the Cyclic Resistance Ratio (CRR) in saturated sandy soils. Some correlations have been developed depending on the results of in situ tests. In the thesis, liquefaction analysis has been done according to SPT-N correlations which are proposed by NCEER – 1997. On the other hand, for the soils which have thin grain size ($35\% < (-No.200) < 45\%$) methods which are proposed by Seed and De Alba (1986), Seed and Harder (1990) have been used. In the situation which the plasticity index $I_p > 5\%$ the methods which are proposed by Seed et. al. (1990), and Ishihara et. al. (1992) have been used.

During the earthquakes, because of the harmonic motion densification occurs in sandy soils. In central Bursa region the prediction of densification (and settlement) due to earthquake has been done by the method which is proposed by Ishihara and Yoshimine (1992) by using the Safe Factor for liquefaction (S_F) and SPT-N. By this method for each S_F and SPT-N values the strain (ϵ) of the soil can be calculated. By (ϵ) the settlements can be calculated.

Liquefaction and settlement analysis are done by a computer program. This computer program is constituted for this thesis.

1. GİRİŞ

Bursa il merkezi Uludağ eteklerinden başlayarak Bursa Ovası'na doğru gelişim göstermiştir. Özellikle alüvyon zemin üzerinde bulunan il merkezi zeminlerinin deprem hareketini büyütme özelliği, sıvılaşma riski ve deprem etkisi ile oturma potansiyelleri vardır. Bu tez kapsamında kumlu zeminlerin bu riskleri üzerinde çalışılmıştır.

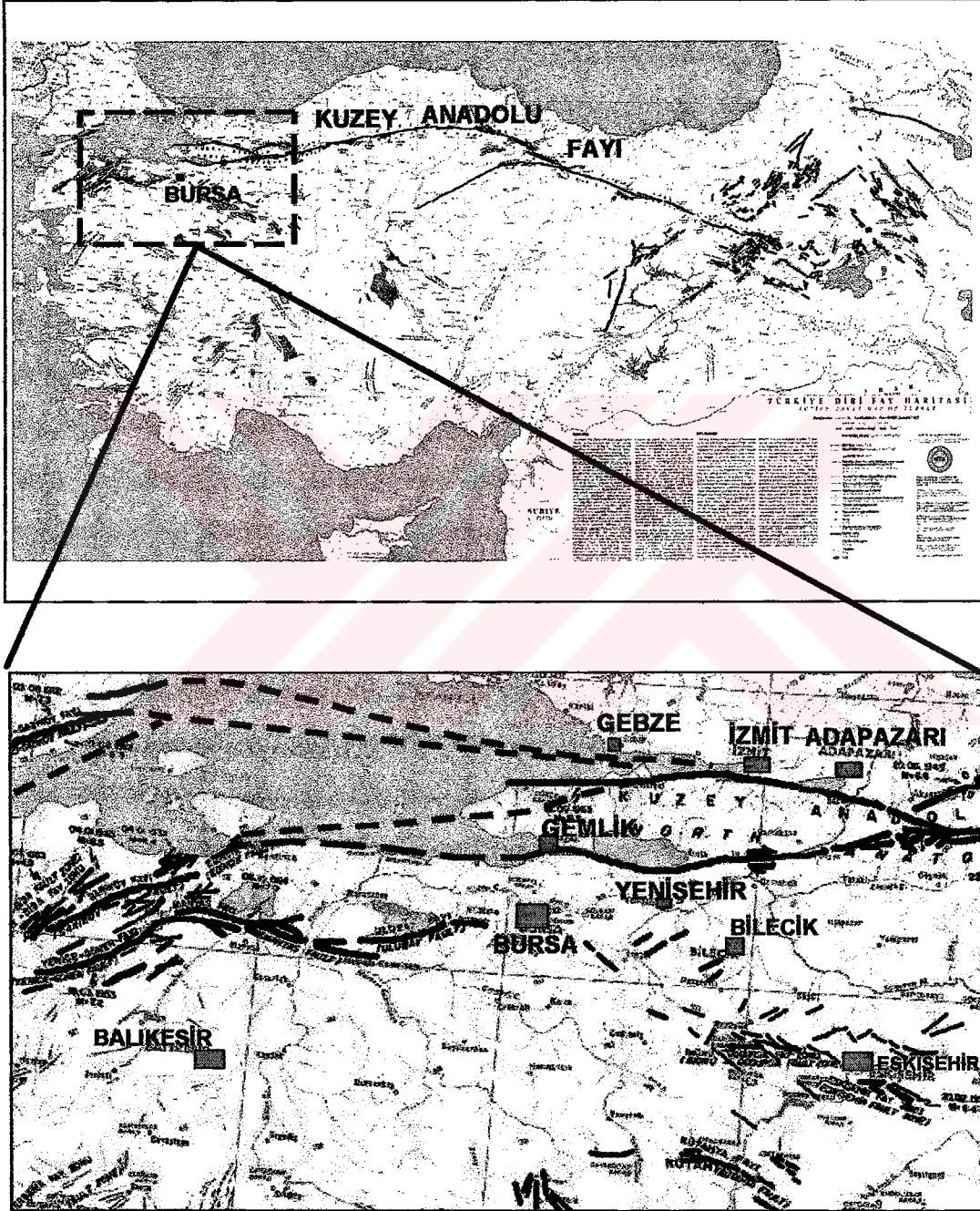
Bursa il merkezinde geçmiş yıllarda bazı büyük depremler olmasına rağmen, Bursa il merkezi doğrudan bir deprem tehdidi altında değildir. Yakın bölgelerdeki fayların (özellikle Kuzey Anadolu Fay'ı) etkisi altındadır. Bundan ötürü tez kapsamında Kuzey Anadolu Fay sisteminde oluşan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, Bursa il merkezini etkileyebilecek depremlere örnek olarak ele alınmıştır. Bursa il merkezinin Kuzey Anadolu Fay sistemine göre konumu Şekil 1.1'de verilmiştir. Bursa il merkezinin yakın civarında oluşacak bir depremin etkisini belirlemek için kullanılan sönümlenme ilişkileri ve Bursa için yapılan hesaplar Bölüm 2'de verilmiştir.

Zeminler belirli şartlar bir araya geldiğinde büyütme neden olabilirler. Zeminin deprem hareketini hangi oranlarda büyüttüğünü belirlemek için doğrusal modelleme, eğrisel modelleme ve arazinin topografyasını dikkate alan üç boyutlu modellemeler mevcuttur. Bursa il merkezi alüvyon zeminlerinin kalın bir tabaka oluşturmasından ve geniş bir alanı kaplamasından dolayı, zemin içinde yayılan kayma dalgalarının düşey yönde hareket edeceği kabul edilmiş ve bu kabulden dolayı büyütme analizleri, eş değer doğrusal modelleme ile yapılmıştır. Büyütme analizleri için eş değer modellemeyi esas alan EERA (Bardet et al, 2000) hazır bilgisayar programı kullanılmıştır. Büyütme analizleri, Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden ilk aşamada verileri elde edilebilen ve Şekil 1.2'de görülen on sondaj kuyusu için yapılmıştır. Burada yapılan analizlerde frekansın büyütme üzerine etkisi ayrıca ele alınmamış olup, analizler sonucunda ulaşılan büyütme oranları, model ivme kaydı olarak kullanılan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremine ait değerler (frekans, ivme...) içindir.

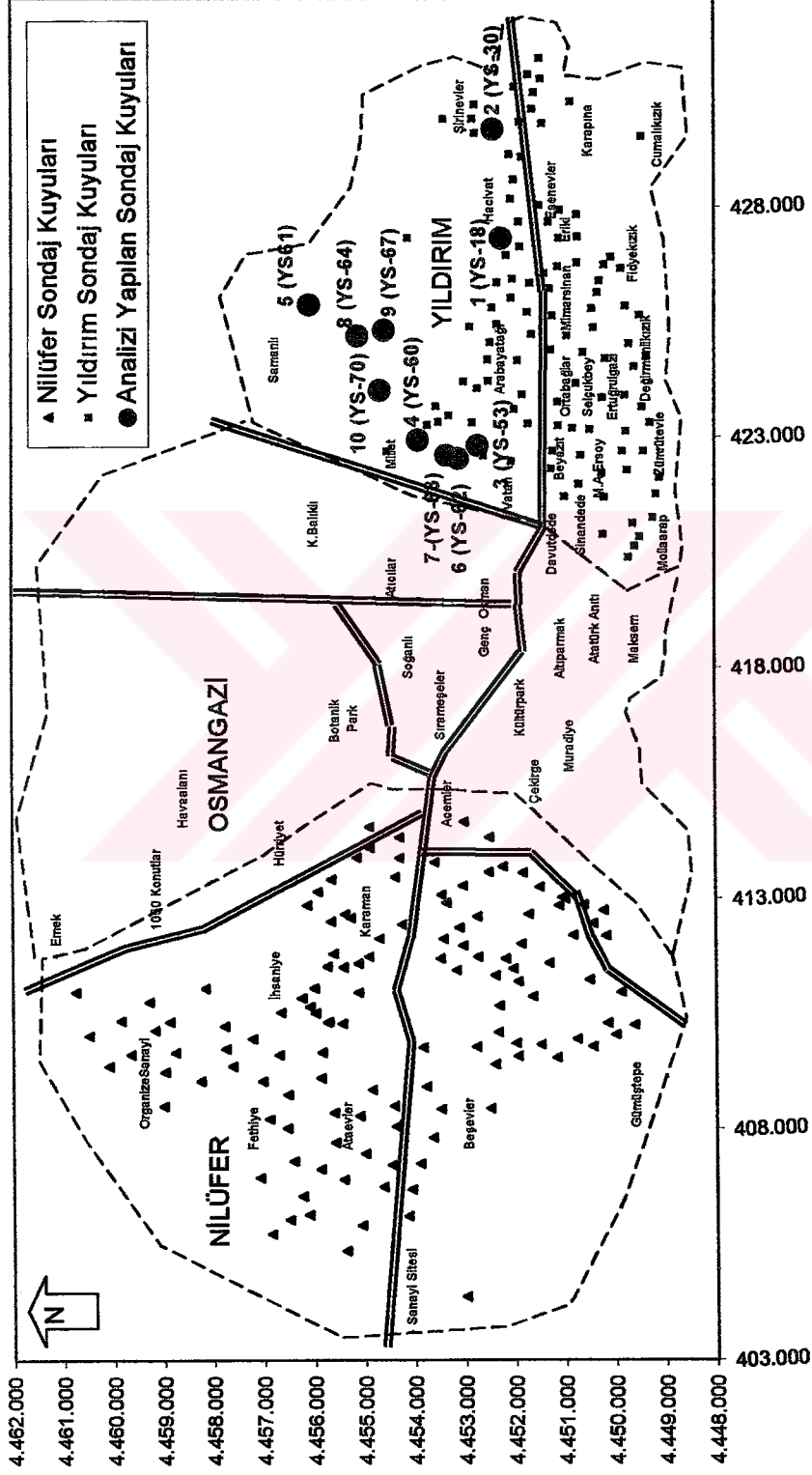
Deprem etkisi ile zeminlerin sıvılaşma ve oturma analizleri için geliştirilmiş farklı yöntemler literatürlerde mevcuttur. Sıvılaşma ve oturma analizleri Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden elde edilen yeni veriler ile birlikte, sıvılaşma ve oturma analizlerine uygun olan Şekil 1.3'de görülen yirmiüç sondaj kuyusu için yapılmıştır. Tez çalışması sırasında Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden yeni veriler elde edilmiş olup, tez çalışmasının sona erdiği tarih itibarı ile bu konular üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir.

Oturma analizi, SPT-N ve G_F (sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü) elde mevcut olduğundan (Bölüm 4'ün analiz sonuçları) bu verilere dayanan Ishihara and Yoshimine, 1992 de geliştirdikleri grafiksel bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile G_F ve SPT-N değer çiftlerine karşılık gelen deformasyon oranı (ϵ) belirlenerek oturmalar tahmin edilebilmektedir.

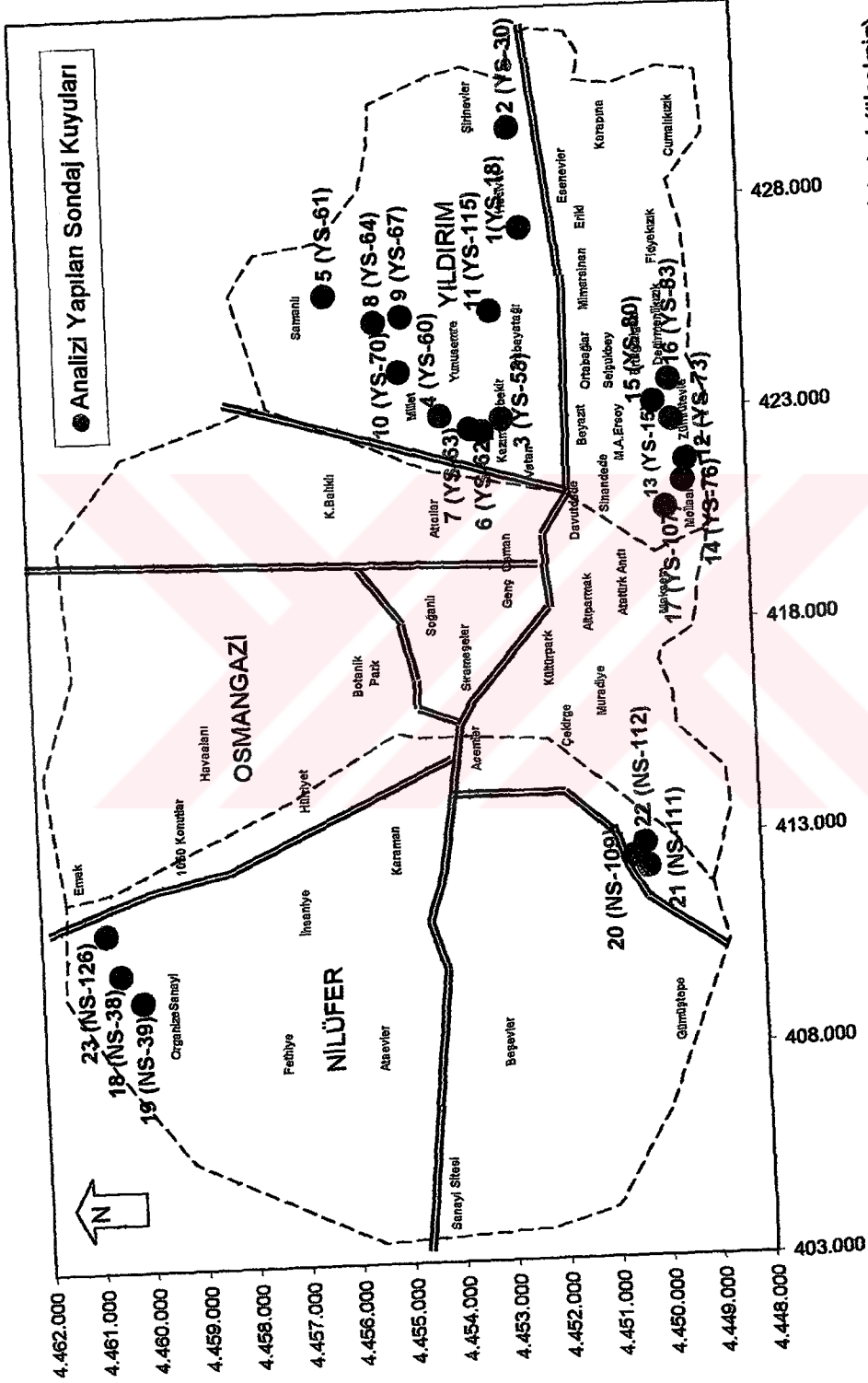
Sıvılaşma ve oturma analizleri sırası ile Bölüm 4 ve Bölüm 5'de ele alınmıştır. Sondaj kuyuları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Ekler kısmında verilmiş olup yeri geldikçe değinilmiştir.



Şekil 1.1. Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Bursa il merkezinin konumu (ölçeksiz).
(http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay1.asp, 2003).



Şekil 1.2. Bursa il merkezi zeminlerinde bütümte analizi yapılan sondaj kuyuları ve isimleri (ölçeksiz).



Şekil 1.3. Bursa il merkezi زمینlerinde sivilaşma ve oturma analizi yapılan sondaj kuyuları ve isimleri (ölçeksiz).

2. İVME AZALIM (SÖNÜMLEME) İLİŞKİSİ

Literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiş korelasyonlara dayanan ivme azalım ilişkileri mevcuttur. Burada verilen ilişkiler ilk olarak nükleer atıkların bulunduğu bir bölgeyi tehdit edebilecek depremler üzerine yapılan bir projede Spudich P. et al, (1996) tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra Spudich P. et al, (1997) bu ilişkileri tekrar gözden geçirmişlerdir. Korelasyonlarda; $5 < M < 7.7$ büyüklüğündeki, fay kırığı ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin 105 km den küçük olan ve aşağıda verilen bölgelerdeki deprem kayıtları kullanılmıştır (Spudich et al., 1997).

- 1- Avrupa'daki, Yeni Zelanda'daki, Orta Amerika'daki depremler,
- 2- Türkiye Anadolu fay sistemindeki depremler,
- 3- Amerika Birleşik Devletleri'nin batı bölgesindeki depremler.

Spudich P. et al, (1997) ortaya koydukları bu ilişki normal, doğrultu atımlı ve ters atımlı fay sistemlerine uygulanabilmektedir. Verilen bu ilişkide kaya ve zemin olarak iki temel jeolojik sınıflandırma yapılmış ve korelasyonlar bu sınıflandırmaya göre düzenlenmiştir (Spudich P. et al, 1997).

$$\log_{10} Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_4r + b_5 \log_{10} r + b_6\Gamma_Z \quad (2.1)$$

$$r = \sqrt{\left(r_{jb}^2 + h^2\right)} \quad (2.2)$$

Y : Yer çekim ivmesi (g) cinsinden yatay bileşke ivme

M : Depremin büyüklüğü (Magnitüdü)

r_{jb} : Fayın kırıldığı nokta ile hesap yapılan nokta arasında, planda ki en yakın yatay mesafe (km)

r : Düzeltilmiş mesafe

h : Mesafe düzeltme katsayısı (Tablo 2.1)

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$: Denklemin katsayıları (Tablo 2.1)

Γ_Z : Zemin türü katsayısı , (Kaya için $\Gamma_Z = 0$, Diğer Zeminler için $\Gamma_Z = 1$)

Denklemdaki $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ ve h katsayıları, periyoda (Pd(s)) bağlı olarak Tablo 2.1'den belirlenebilir. Hesaplamalarda rijit taban kayası yüzeyi için Pd(s)=0 katsayıları kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Sönümlenme ilişkisi denklem 2.1 için katsayılar (P. Spudich, J.B. Fletcher ve et all, 1997).

Pd(s)	b₁	b₂	b₃	b₅	b₆	h
0.00	0.156	0.229	0.00	-0.945	0.077	5.57
0.10	1.772	0.327	-0.098	-1.051	0.079	6.27
0.12	1.876	0.313	-0.101	-1.035	0.102	6.91
0.15	1.964	0.305	-0.099	-1.009	0.127	7.23
0.17	1.996	0.305	-0.096	-0.994	0.139	7.21
0.20	2.023	0.309	-0.09	-0.972	0.154	7.02
0.24	2.035	0.318	-0.082	-0.946	0.168	6.62
0.30	2.03	0.334	-0.07	-0.915	0.183	5.94
0.40	2.001	0.361	-0.052	-0.879	0.198	4.91
0.50	1.971	0.384	-0.039	-0.857	0.206	4.13
0.75	1.922	0.425	-0.02	-0.833	0.214	3.07
1.00	1.912	0.450	-0.014	-0.837	0.214	2.9
1.50	1.964	0.471	-0.019	-0.879	0.209	3.92
2.00	2.068	0.471	-0.037	-0.94	0.2	5.85

$b_4=0$

2.1 Bursa İl Merkezi Taban Kayası İvme Değerlerinin Belirlenmesi

Bursa il merkezi taban kayası değerlerini belirlemek için Gebze – Kocaeli (GBZ) istasyonu ivme kayıtları kullanılmıştır.

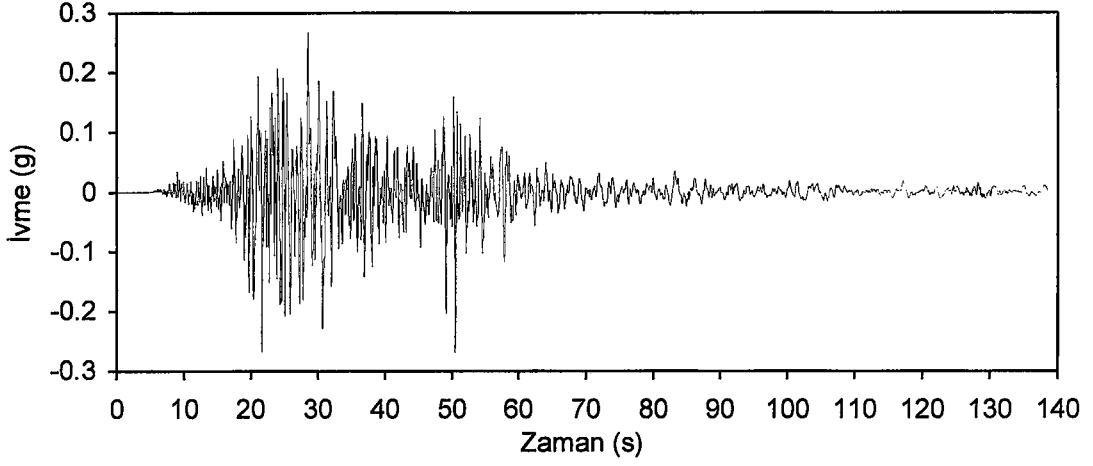
$$r_{jb} = 70, \quad M = 7.4, \quad \Gamma = 0, \quad h = 5.57,$$

$$b_1 = 0.156, \quad b_2 = 0.229, \quad b_3 = 0, \quad b_4 = 0 \quad b_5 = -0.945, \quad b_6 = 0.077$$

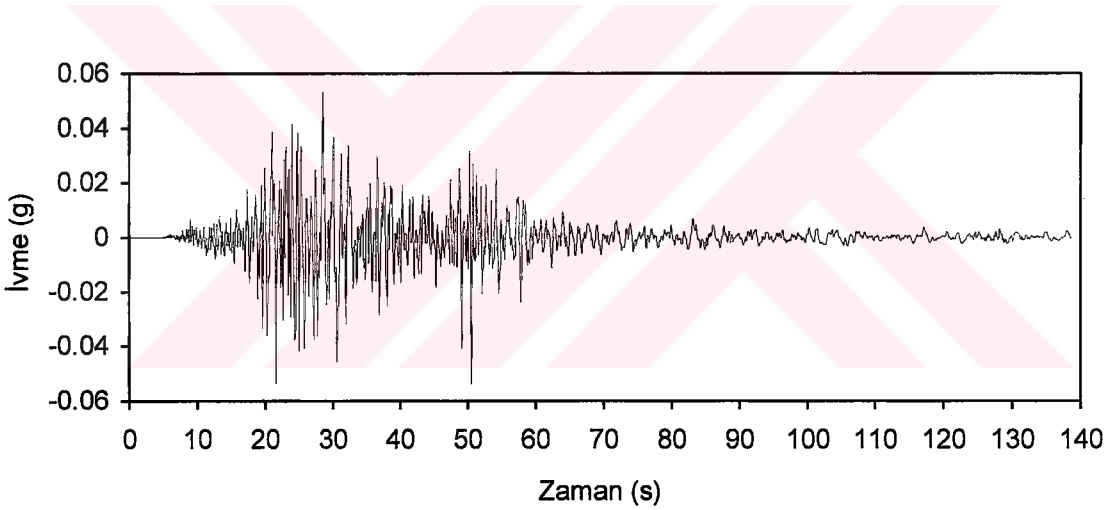
$$r = 70,221, \quad \log_{10} Y = -1,2683$$

$$Y = 0,05395 \text{ g} \Rightarrow Y = a_{maks} = 52,92 \text{ cm/s}^2 = 0,5292 \text{ m/s}^2$$

Grafik 2.1 de 17 Ağustos 1997 depremine ait Gebze – Kocaeli (GBZ) istasyonu deprem ivme kayıtları görülmektedir. Grafik 2.2 de ise yukarıda verilen ivme azalım ilişkisi kullanılarak, Bursa il merkezi taban kayası için elde edilen ivme değerleri görülmektedir.



Grafik 2.1. 17 Ağustos 1999 Gebze - Kocaeli (GBZ) istasyonundaki ivme kaydı.



Grafik 2.2. Sönümlenme ilişkisinin kullanılmasından sonra Bursa il merkezi taban kayası için elde edilen ivme değerleri.

Gebze – Kocaeli (GBZ) ve Bursa (BRS) il merkezinde bulunan ivme kayıt istasyonları hakkında ve buldukları zemin ile ilgili özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

GEBZE (KOCAELİ)

İstasyon Kısaltması: GBZ

Cihazın Kurulduğu Yer : Tübitak Marmara Araştırma Merkezi

Cihazın Adı : SMA-1

Cihazın Koordinatları : 40.820N - 29.440E

Genel Jeolojisi : İlçenin zemin yapısı genel olarak kayalık ve dolgu olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Kayalık zemin kısmen molozla örtülü, Paleozoyik yaşlı, kuvarsitler, siyah renkli kalsit damarlı kireçtaşları ve şistlerden (kalkşist, grovak, arkoz, marn ve kuvarsit karışımı) ibarettir. Dolgu zemin ise, Neojen yaşlı alüvyondan oluşmuştur(Tabban, 2000).

Deprem Durumu : I. derece (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998)

BURSA

İstasyon Kısaltması: BRS

Cihazın Kurulduğu Yer : Sivil Savunma Müdürlüğü

Cihazın Adı : GSR-16

Cihazın Koordinatları : 40.183N - 29.131E

Genel Jeolojisi : Bursa şehri, Uludağ masifinin kuzey eteğinde ve Apolyont ve Manyas gölleri çukurluğunun güney kenarında kurulmuştur. Uludağ masifi; Paleozoyik yaşlı kristalin şist, mermer, kireçtaşı ve granitten oluşmuştur. Bursa-Apolyont-Manyas çukurluğu jeolojik devirdeki bir çökme sonucunda oluşmuş ve Neojen yaşlı kil, marn, killi şist, tuf ve volkanik kayalarla dolmuştur. Şehrin ova kısmı, Kuvaterner yaşlı kumlu, çakıllı birimlerden oluşan genç alüvyonla kaplıdır. Yeraltı su seviyesi, genel olarak ovada 2-3 m derinliktedir (Tabban, 2000).

Deprem Durumu : I. derece (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998). Geçmişte değişik tarihlerde yaşanmış depremler ve büyüklükleri aşağıdaki gibidir.

28.02.1855 M=6.7, 29.04.1855 M=6.7, 06.11.1863 M=6.7, 15.04.1905 M=5.6, 02.08.1939 M=5.3, 03.06.1953 M=5.3

Tablo 2.2. 17 Ağustos 1999 00:02 7.4 depreminin 24 istasyondan alınmış ivme kayıtları
(<http://angora.deprem.gov.tr/17agustos.htm>, 2003)

NO	Tarih	Zaman (GMT)	L (Gal)	T (Gal)	V (Gal)	S-P (Sn)	Cihaz Tipi	Depremin Merkezi	Cihaz Yeri
13	17.08.1999	00:05:14	0.8	1.2	0.4	N/A	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	TKT
13	17.08.1999	00:05:04	50	59.7	23.2	N/A	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	KUT
13	17.08.1999	00:04:54	2	3	1.5	N/A	SM-2	Golcuk-Kocaeli	CYH
13	17.08.1999	00:03:26	5.9	5.2	3.3	46	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	AYD
13	17.08.1999	00:02:56	1	2	1	N/A	SM-2	Golcuk-Kocaeli	KOY
13	17.08.1999	00:02:47	5.9	11.7	3.7	N/A	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	DNZ
13	17.08.1999	00:02:41	9.9	10.8	3.3	42	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	BRN
13	17.08.1999	00:02:39	11.7	8.9	4.4	43.87	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	TOS
13	17.08.1999	00:02:36	24.6	28.6	7.9	38	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	CNK
13	17.08.1999	00:02:25	8.9	7.2	3.4	30.53	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	USK
13	17.08.1999	00:02:19	17.8	18.2	7.6	26.24	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	BLK
13	17.08.1999	00:02:05	13.5	15	5	27.9	SM-2	Golcuk-Kocaeli	AFY
13	17.08.1999	00:01:58	12.5	6.5	4.5	40.43	SM-2	Golcuk-Kocaeli	MNS
13	17.08.1999	00:01:56	54.3	45.8	25.7	13	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	BRS
13	17.08.1999	00:01:54	60.7	42.7	36.2	12.36	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	IST
13	17.08.1999	00:01:51		407	259	N/A	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	SKR
13	17.08.1999	00:01:48	32.2	33.5	10.2	24.15	GSR-16	Golcuk-Kocaeli	TKR
13	17.08.1999	00:01:39	29.4	33.6	14.5	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	SRK
13	17.08.1999	00:01:39	91.8	123	82.3	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	IZN
13	17.08.1999	00:01:39	91.4	101	57	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	ERG
13	17.08.1999	00:01:39	118	89.6	49.8	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	CEK
13	17.08.1999	00:01:39	171	225	146	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	IZT
13	17.08.1999	00:01:39	265	142	199	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	GBZ
13	17.08.1999	00:01:39	374	315	480	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	DZC
13	17.08.1999	00:01:39	118	138	130	N/A	SMA-1	Golcuk-Kocaeli	GYN

L : Kuzey-Güney Yönündeki Maksimum Yatay İvme.

T : Doğu-Batı Yönündeki Maksimum Yatay İvme.

V : Düşey Yöndeki Maksimum İvme

Gal : Yer İvmesi Birimi "Yer ivmesi $g = 980 \text{ cm/sn}^2$ (gal)"

S-P : Depremin P ve S dalgalarının istasyona varış sürelerinin farkı

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Bursa il merkezinde maksimum yatay yüzey ivmesinin bileşke değeri;

$$a_{\text{maks-L}} = 54.3 \text{ cm/sn}^2, \quad a_{\text{maks-T}} = 45.8 \text{ cm/sn}^2 \quad (\text{bakınız Tablo 2.2})$$

$$a_{\text{maks}} = \sqrt{(54.3)^2 + (45.8)^2} = 71.04 \text{ cm/sn}^2$$

Bursa il merkezinde sismograf tarafından kaydedilen maksimum yüzey ivme değerleri ile Bölüm 2 ve Bölüm 3 de yapılan analizlerden Bursa il merkezi zemin yüzeyi için elde edilen maksimum yüzey ivme değerleri uyum içindedir. Bölüm 2 ve Bölüm 3 deki 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 (Bakınız Bölüm 3).

Sondaj Kuyu No	Analizlerden Elde Edilen Maksimum Yatay Yüzey İvmesi	
	a_{maks} (g)	a_{maks} (cm/sn ²)
1 (YS-18)	0.077	75.46
2 (YS-30)	0.071	69.58
3 (YS-53)	0,070	68.60
4 (YS-60)	0.071	69.58
5 (YS-61)	0.091	89.18
6 (YS-62)	0.092	90.16
7 (YS-63)	0.090	88.20
8 (YS-64)	0.091	89.18
9 (YS-67)	0.072	70.56
10 (YS-70)	0.071	69.58

$$a_{maks-sismograf} = 0.072 \text{ g} = 71.04 \text{ cm/sn}^2$$

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, Bursa Ovasının geniş bir alanı kaplaması ve kalın bir alüvyon birikintiden oluşmasından dolayı 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 Bursa il merkezinde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile zemin parametreleri hakkında sayısal bilgiler elde edilmiş olan, yüzeyden itibaren 10 m –15 m kalınlıktaki sıvılaşma olasılığı bulunan (kum içeren)

zeminler için analizler yapılmıştır. Analizleri yapılan sondaj kuyularına ait zemin profilleri EK-2 ve EK-3 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. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ İÇİN EŞDEĞER DOĞRUSAL MODELLEME

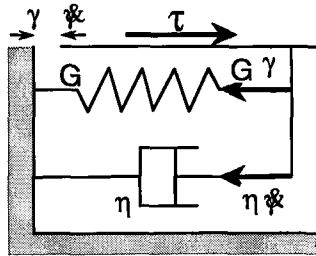
3.1.1. Bir Boyutlu Gerilme – Deformasyon İlişkisi

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

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

G kayma modülü, η 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 yk 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 sönümlleme 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 yüklemedeki enerji kaybı W_d gerilme – deformasyonun oluşturduğu kapalı alanına eşittir.

$$W_d = \oint \tau_c d\gamma \quad (3.6)$$

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 n 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 düzenlendięinde

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

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 ξ , W_d ve W_s terimleri ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

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

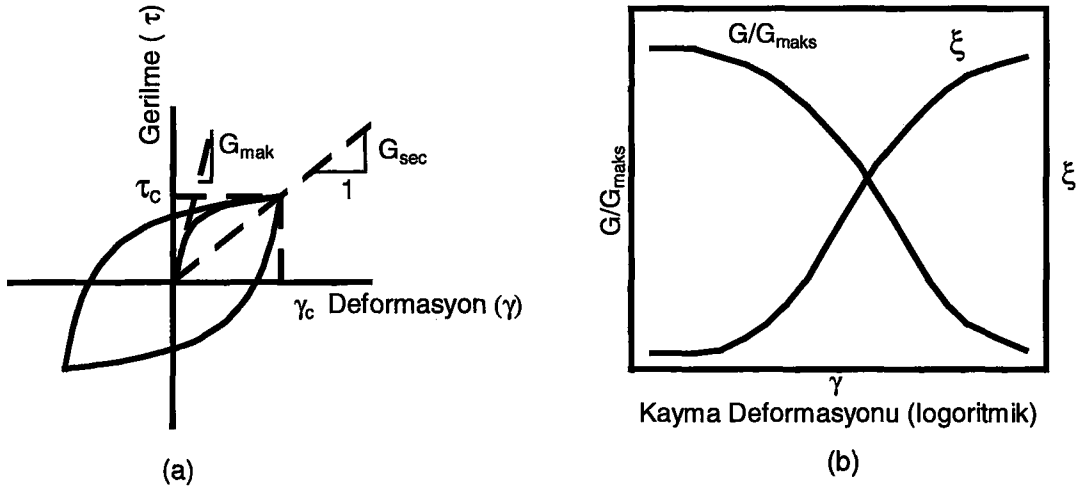
3.1.2. Doğrusal Olmayan Gerilme-Deformasyon Analizi İçin Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım

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 (τ_c) büyüklüğüne bağlı olan kayma modülünün sekanti (G_s) olarak alınır.

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

τ_c ve γ_c sırasıyla kayma gerilmesi ve kayma deformasyonun genliğidir. Eşdeğer doğrusal sönümlenme oranı ξ , kapalı histeritik gerilme deformasyon eğrisinin bir devrinde oluşan enerji kaybı oranına eşittir. Bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi ve örnekler Hardin and Drnevitch (1972), Kramer (1996), Seed and Idriss (1970), Seed et al, (1986), ve Vucetic and 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 sifıra 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 (ξ) kayma deformasyonu (γ) 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.

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

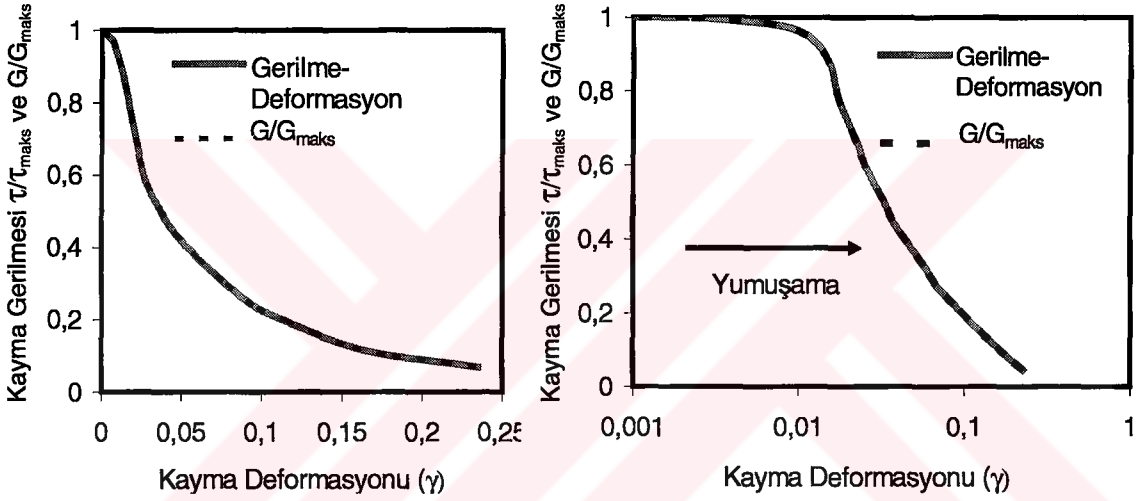
(G_i, γ) değerleri, $(G_s - \gamma)$ değer çiftinden farklı olduğunda denklem 3.13 şu hale gelir;

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

ΔG_s , γ deki $\Delta\gamma$ artma miktarına karşılık gelen G_s deki azalma miktarıdır. G_{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. τ/τ_{maks} ve G/G_{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.

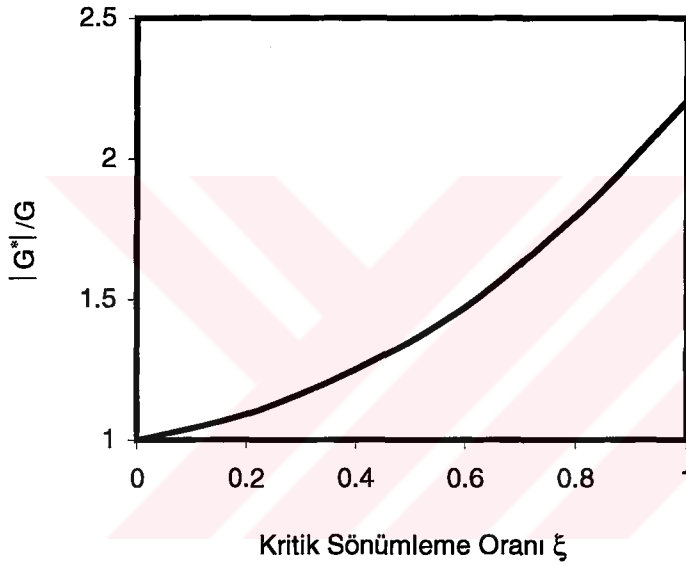
Model 1

Model 1 de ξ sabit ve ω dan bağımsız olduğu varsayılır ve dolayısı ile kompleks G^* modülü de ω dan bağımsız olur (Schnabel et al, 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 ξ ile doğrusal olarak artar ve ω dan bağımsızdır, dolayısı ile gerilme – deformasyon alanı frekanstan bağımsızdır. Kompleks ve reel kayma modüllerinin genlikleri arasındaki ilişki şöyledir.

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



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

$|G^*|$, ξ ye bağlı olarak artmaktadır. Şekil 3.4 $|G^*|/G$ 'nin ξ ile değişimini göstermektedir.

Kompleks kayma modülünün büyüklüğü, ξ %25'e ulaştığında %12 kadar değişebilmektedir.

Model 2

(G^*) Kompleks kayma modülü ξ nin bir fonksiyonu olduğu kabul edilir (Idriss and Sun, 1992).

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

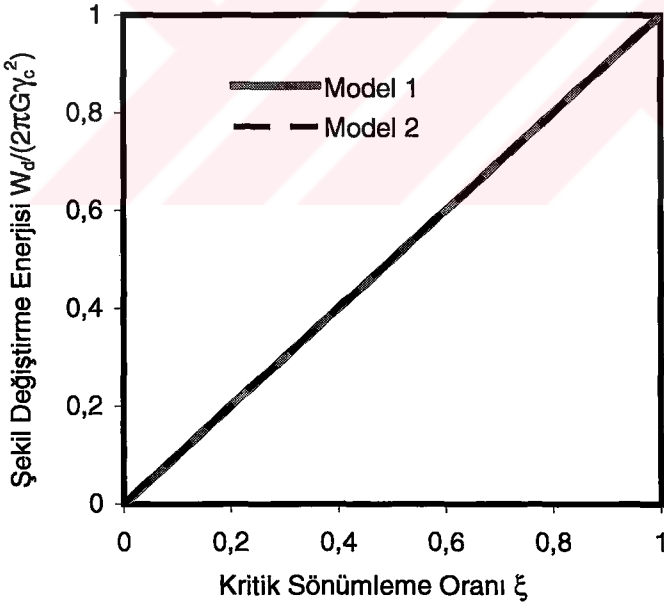
Yukarıdaki varsayım, malzeme davranışının tanımı ile ilgili bir kabuldür. Burada kompleks ve reel modüller aynı büyüklüktedir.

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

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



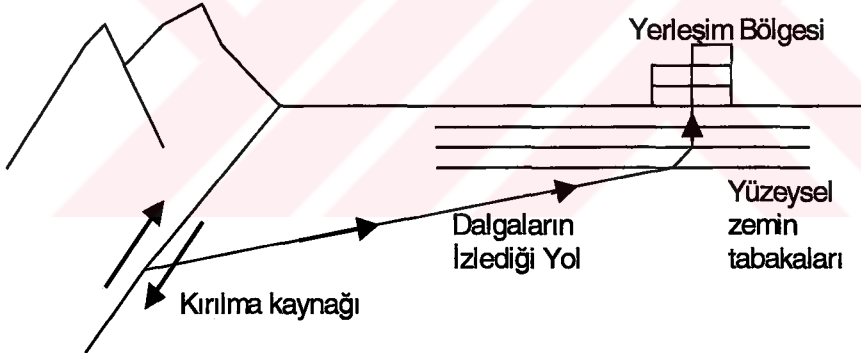
Şekil 3.5. Her tekrarlı yükleme için model 1 ve model 2 de kritik sönüm oranının fonksiyonu olarak tanımlanan enerji kaybındaki değişimin normalize edilmesi ile elde edilen grafik.

3.2. BİR BOYUTLU ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ

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.



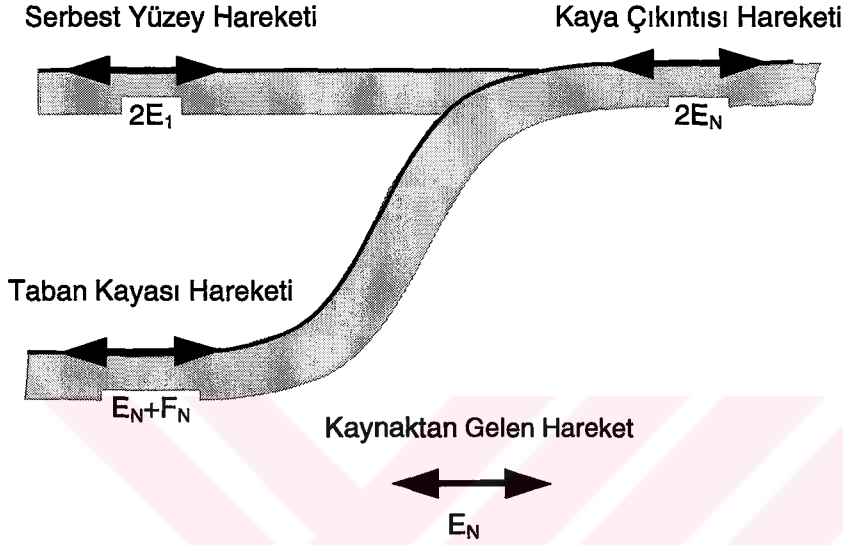
Şekil 3.6. Bir kırılmadan kaynaklanan dalgaların zemin yüzeyine yaklaştıkça düşeyleşmesi.

Zemin davranışı analizlerinde kullanılan terimler:

- Serbest Yüze 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.

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

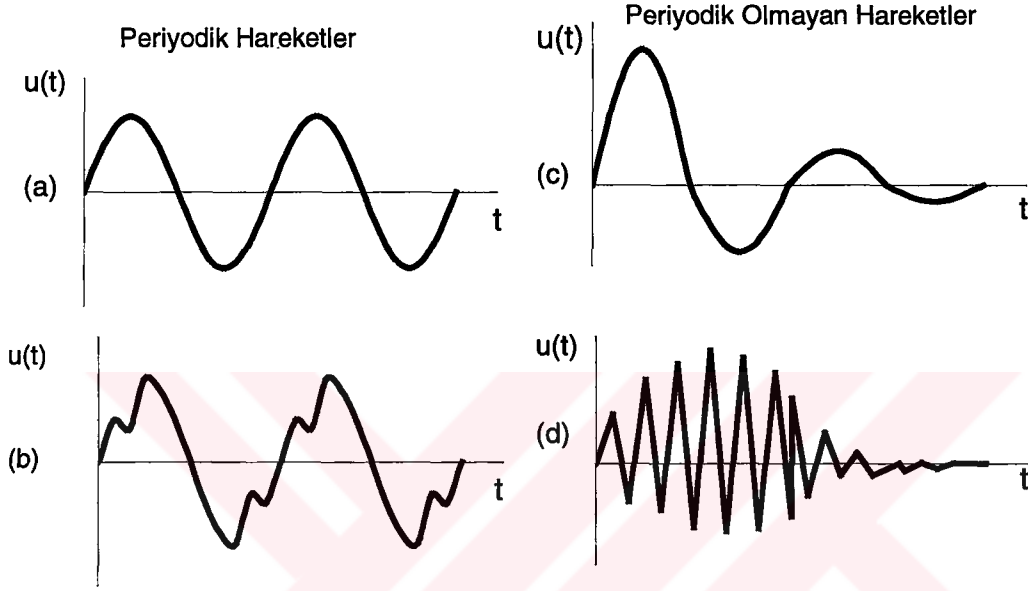
Zemin yüzeyinde $E_1=F_1=1$ olduğu varsayılırsa; Taban kayası hareketi ile zemin yüzeyi hareketi arasındaki transfer fonksiyonu denklem 3.22 gibi olur.

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

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_1) 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 örnektirler. 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 gözükken 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

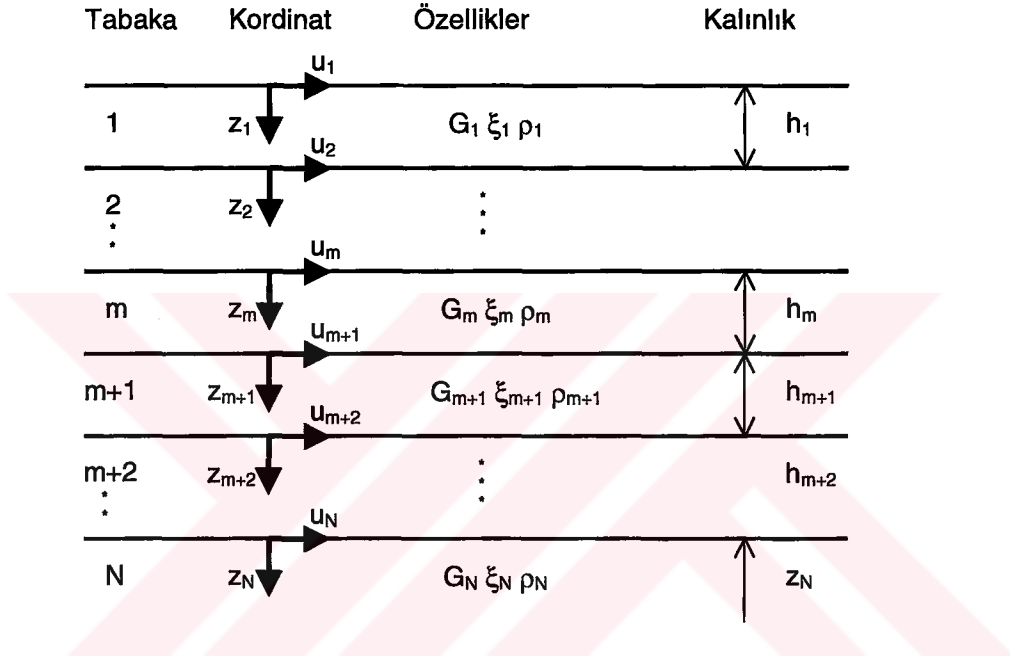
$$x(\omega_n) = \Delta t \sum_{k=1}^N [x(t_k) \cos(\omega_n t_k) - ix(t_k) \sin(\omega_n t_k)] \quad (3.25)$$

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, et al, 2000)

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

ρ : Ele alınan tabakanın birim yoğunluğudur.

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

Bütün tabakaların Kelvin – Voig modeline uyduğu kabul edildiğinde;

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

G : Kayma Modülü,

η : 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;

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

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

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

m tabakasının üst yüzeyi ve alt yüzeyi için kayma gerilmeleri;

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

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

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

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;

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

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

α_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.

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = ik^* (Ee^{ik^*z} - Fe^{-ik^*z}) e^{i\omega t} \quad (3.47)$$

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 and 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 Δt sabit zaman aralığıdır ($X(n\Delta t) = X_n$), ($n = 0, 1, 2, \dots, N-1$) dir. Farklı frekanslar ω_k ;

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

Fourier bileşenleri;

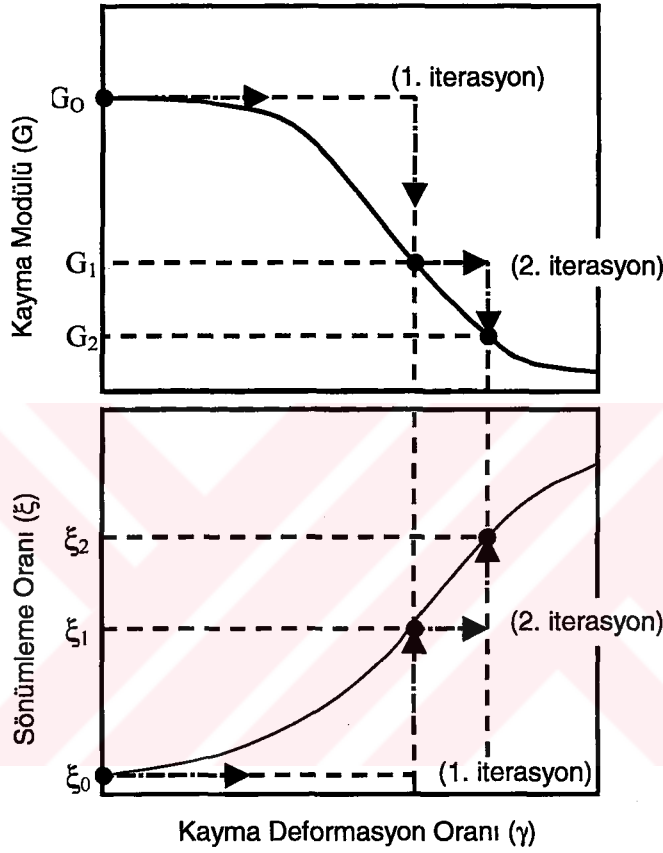
$$X_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_n e^{-2\pi i k m / N} \quad m = 0, \dots, N-1 \quad (3.51)$$

X_m katsayısı Fast Fourier Transfer işlemleri ile hesaplanır. Fast Fourier Transfer fonksiyonlarını ilk olarak Cooley and 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_{sek}) sekant kayma modülü olarak, histerisis eğrisinin bir devrinde oluşan enerji kaybı oranı da sönümlenme oranı (ξ) olarak alınır. Doğrusal yaklaşım modelinde G ve ξ değerleri her tabaka için sabit değerler olduğundan problem, her tabakadaki deformasyon miktarları ile tutarlı G ve ξ değerlerinin belirlenmesi şekline dönüşür. Deformasyon oranları ile tutarlı G ve ξ değerleri, aşağıda işlem adımları verilen ve Şekil 3.10 da görülen iterasyonlar ile belirlenir. İterasyona küçük deformasyonlara karşılık gelen başlangıç değerlerinden G_0 ve ξ_0 başlanarak, maksimum kayma deformasyonu γ_{mak1} ve efektif kayma deformasyonu γ_{eff1} , hesaplanır. Sonraki iterasyonda γ_{eff1} değerine karşılık gelen uygun G_1 ve ξ_1 değerleri bulunur. Daha sonra G_1 ve ξ_1 değerleri kullanılarak maksimum kayma deformasyonu γ_{mak2} , efektif kayma deformasyonu γ_{eff2} , hesaplanır. Eşdeğer doğrusal analizde, G ve ξ değerleri

tüm tabakalardaki deformasyonlar ile uyumlu oluncaya kadar, her defasında işlemler yeni bulunan G ve ξ 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 ξ_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_γ efektif kayma deformasyonunun maksimum kayma deformasyonuna oranıdır. R_γ depremin büyüklüğüne bağlı olarak denklem (3.53) de verilen bağıntı ile tahmin edilebilir (Idriss and Sun, 1992). R_γ 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 ξ_{i+1}^j eşdeğer doğrusal değerleri hesaplanır.
5. Tüm tabakalardaki deformasyonlar ile G ve ξ değerleri uyumlu ve aynı zamanda ard arda yapılan iki iterasyonda tüm tabakaların hesaplanan kayma modülleri ve sönümlleme 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. BURSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNDE DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

Bu bölümde; Bölüm 3.1 de verilen ilişki ve modellemeler, Bursa il merkezi zeminlerinde on noktaya uygulanmıştır.

Analizler için Bölüm 3.1. de ki esaslara dayanan EERA (Equivalent-linear Earthquake Response Analysis) (Bardet et al, 2000) bilgisayar programı kullanılmıştır.

Taban kayası ivme kaydı için Bölüm 2.1 de elde edilen ve Grafik 2.2 de verilen ivme değerleri kullanılmıştır.

Analizleri yapılan noktaların zemin kesitleri ve zemin özellikleri EK-2 de, analiz için EERA programında oluşturulan zemin profilleri EK-3 de, analizler sonucunda elde edilen yatay yüzey ivme grafikleri EK-5 de, yatay ivmenin derinlikle değişim grafikleri EK-6 da verilmiştir.

Zemin tabakaların kayma dalgası (V_s) hızlarının belirlenmesinde Tonouchi et al (1983) tarafından önerilen (3.53) bağıntısı kullanılmıştır (Bakınız EK-2).

$$V_s = 97 \times N^{0,314} \text{ m/s} \quad (N : \text{SPT-N değeri}) \quad (3.53)$$

SPT-N değeri mevcut olmayan tabakaların V_s değeri için Tablo 3.1 ile verilen uygun değerler kullanılmıştır.

Bursa il merkezinde kaya tabakasının zemin yüzeyinden itibaren ortalama olarak 150 m derinde olduğu kabul edilmiştir (Bursa Büyükşehir Belediyesi Zemin Etüt Raporları, 2000). Taban kayası için kayma dalgası hızı $V_s=1500$ m/s olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.1. Zemin türüne göre ortalama V_s değerleri (Das,1993).

Zemin Türü	Kayma Dalgası Hızı (V_s) (m/s)
Temiz Kum	91,4 – 152,4
Sıkı Kum	228,6
Çakıl	182,9 – 228,6
Doygun Kil	152,4
Granit	2133,5 – 3352,6
Kumtaşı	609,6

Yüzeyden itibaren yaklaşık ilk 15 m deki zemin parametrelerinin belirlenmesinde Bursa Büyükşehir Belediyesinin Zemin Etüt raporları kullanılmıştır (Bakınız Ek-2).

Yüzeyden itibaren 15 m ile 150 m (taban kayası) arasındaki zemin silt-kil-kum karışımı olarak kabul edilmiş ve $V_s=350$ m/s alınmıştır.

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde sismograf tarafından Bursa İl Merkezinde zemin yüzeyinde kaydedilen ivme değerleri Tablo 3.2 de BSR istasyonu olarak verilmiştir.

$$\text{Kuzey – Güney} \quad a_{\text{mak-L}} = 54,3 \text{ cm/s}$$

$$\text{Doğu – Batı} \quad a_{\text{mak-T}} = 45,8 \text{ cm/s}$$

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Bursa il merkezi zemin yüzeyinde kaydedilen bileşke yatay yüzey ivme:

$$a_{\text{mak-yatay}} = \sqrt{(a_{\text{mak-L}})^2 + (a_{\text{mak-T}})^2} \quad (3.54)$$

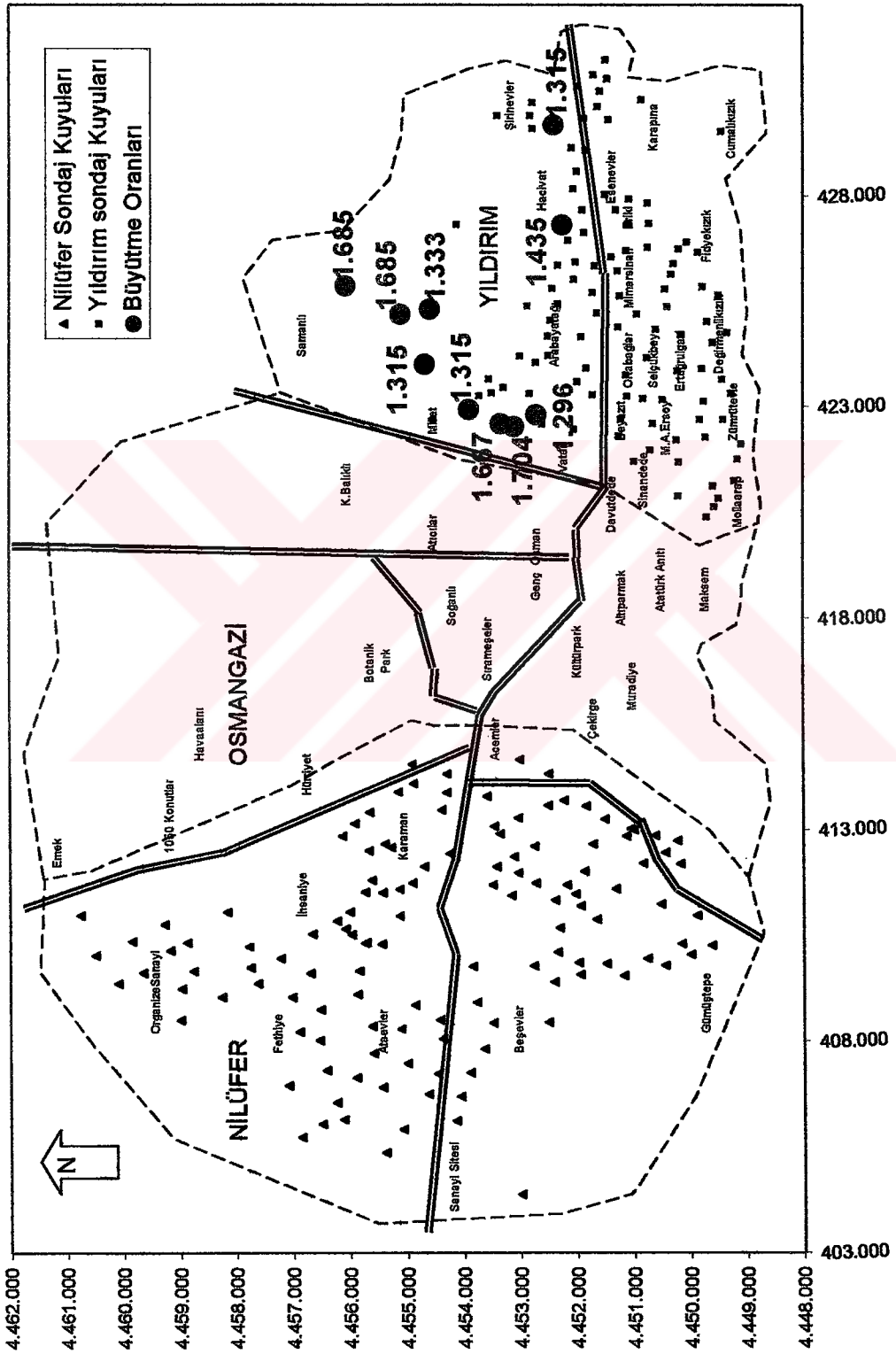
$$a_{\text{mak-yatay}} = 71,036 \text{ cm/s} = 0,07241 \text{ g} \quad \text{dir.}$$

Analizlerden elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri toplu olarak Tablo 3.2 ve Şekil 3.11 de görülmektedir (ayrıntılar için EK-5 ve EK-6 ya bakınız). 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Bursa il merkezi zemin yüzeyinde sismograf tarafından ölçülen $a_{\text{mak-yatay}} = 0,07241 \text{ g}$ değeri ile analizlerden elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri uyumludur.

Tablo 3.2. Analizleri yapılan sondaj kuyuları için elde edilen maksimum yatay yüzey ivme değerleri.

Sondaj Kuyu No	Analizlerden Elde Edilen Maksimum Yatay Yüzey İvmesi		Taban Kayası İvme Değeri $a_{\text{Tab. Kay.}}$ (cm/sn ²)	Zeminin Büyütme Oranı $a_{\text{maks}}/a_{\text{Tab. Kay}}$
	a_{maks} (g)	a_{maks} (cm/sn ²)		
1 (YS-18)	0.077	75.46	52.92	1.435
2 (YS-30)	0.071	69.58	52.92	1.315
3 (YS-53)	0,070	68.60	52.92	1.296
4 (YS-60)	0.071	69.58	52.92	1.315
5 (YS-61)	0.091	89.18	52.92	1.685
6 (YS-62)	0.092	90.16	52.92	1.704
7 (YS-63)	0.090	88.20	52.92	1.667
8 (YS-64)	0.091	89.18	52.92	1.685
9 (YS-67)	0.072	70.56	52.92	1.333
10 (YS-70)	0.071	69.58	52.92	1.315

$$a_{\text{maks-sismograf}} = 0.072 \text{ g} = 71.04 \text{ cm/sn}^2$$



Şekil 3.11. Bursa il merkezi zeminlerinde büyüme analizi yapılan noktalar ve elde edilen büyüme oranları (ölçeksiz).

Bu tez kapsamında esas olarak analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi (tabakalardaki maksimum ivmenin derinlikle değişim grafikleri EK-6) zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık ilk 15 m deki zemin davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Daha derinlerdeki zemin tabakaları hakkında daha kesin bilgiler elde edildikçe 15 m nin altındaki zemin davranışları da burada verilen yöntemler ve bilgisayar programları kullanılarak kolaylıkla belirlenebilir.

Sonuç olarak; Bursa il merkezi zeminleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.11 den görüldüğü gibi deprem etkisini artırıcı özelliktedir ve büyütme oranları, Bursa il merkezi zeminlerinin özelliklerine göre farklılıklar gösterebilmektedir (bakınız Tablo 3.2, Şekil 3.11).

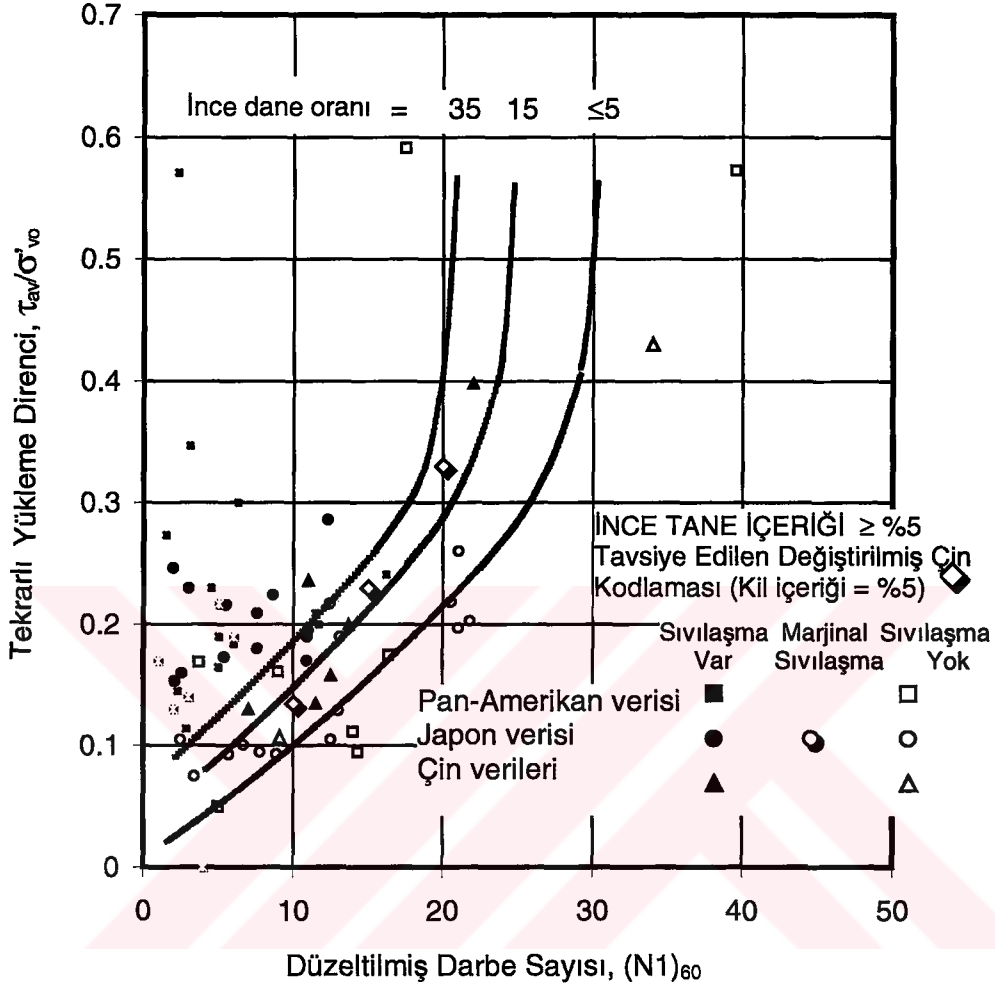
Analizler için Bursa Büyükşehir Belediyesi Zemin Etüt raporlarından yararlanılarak oluşturulan zemin kesitleri (EK-2), EERA bilgisayar programında profil sayfasına girilen zemin profil bilgileri (EK-3), analizde veri olarak kullanılan taban kayası ivme kaydı (EK-4), analizler sonucunda elde edilen bileşke yatay yüzey ivme grafikleri (EK-5), maksimum bileşke yatay ivmelerin derinlikle değişimi (EK-6) (yüzeyden itibaren ilk 15-20 m için), ekler kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir.

4. SIVILAŞMA

Zemin sıvılaşmaları deprem esnasında yapılarda meydana gelen hasarların ana nedenlerinden biridir. Suya doymuş 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.

Sıvılaşma analizleri için geliştirilen hesap metodlarının 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.

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, 1997 nin önerdiği yöntem, genel olarak Seed et al,1985'te sıvılaşma üzerine yaptıkları çalışmalara dayanmaktadır. Seed et al., ile NCEER, 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. 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)

NCEER, 1997 tarafından önerilen bu yöntem, ince malzeme oranının %35 den büyük (-No.200>%35) ve zeminin plastiklik indisinin $I_p > %5$ olması durumunu içermemektedir. Tez kapsamında esas olarak NCEER, 1997 de önerilen bu yöntemin kullanılmasının yanında, (-No.200 > %35) ve $I_p > %5$ için bu durumları da göz önüne alan Seed and De Alba (1986), Seed and Harder (1990), Ishihara et al, (1991), önerdikleri ve geliştirdikleri yöntemlerde kullanılmıştır.

Sıvılaşma analizi yöntemlerinde önemli parametrelerden biride yüzey ivmesidir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik – 1998 belirtildiği gibi Bursa il merkezi 1. derece deprem bölgesidir. Spektral ivme katsayısı (yüzey ivmesi / yer çekim ivmesi) sözü edilen afet yönetmeliği göz önüne alınarak 0,4g alınmıştır. Tez kapsamında sıvılaşma ve oturma analizleri için maksimum yatay yüzey ivmesi olarak 0,4g değeri kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında kumlu zeminlerde deprem etkisi ile sıvılaşma ve deprem sonrası oturma analizleri için bir bilgisayar programı geliştirilmiş olup programın akış diyagramı ve kendisi (CD de kayıtlı olarak) ekte sunulmuştur. Geliştirilen bilgisayar programında yüzey ivmesi, zemin verileri ve analiz için gerekli diğer veriler değiştirilebilmekte ve girilen yeni veriler için analiz sonuçları elde edilebilmektedir.

Aşağıda NCEER, 1997 gurubu tarafından oluşturulan sıvılaşma analizi yöntemi ve diğer yöntemlerin neler olduğu ve tez kapsamında nasıl kullanıldığı anlatılmaktadır.

4.1. SIVILAŞMA ANALİZİ

4.1.1. Zeminin Tekrarlı Yükleme Karşı Direnci (CRR)

Zemin deprem sırasında tekrarlı bir yüklemeye maruz kalır. Zeminin tekrarlı yüklemeye 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 yüklemeye karşı direnci literatürde CRR olarak ifade edilmektedir. CRR laboratuarda 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.

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 yapılış şekli (elle yada otomatik araçlarla yapılması), açık hava basıncının etkisi, ince malzeme oranının etkisi, zeminin plastiklik özelliği etkileridir. 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.

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

Etki	Ekipmanlar ve Yöntemler	Terim	Katsayı
Efektif Gerilme Düzeltilmesi		C_N	$(P_v/\sigma'_{vo})^2 \leq 2 \Rightarrow (P_v/\sigma'_{vo})^2$ $(P_v/\sigma'_{vo})^2 > 2 \Rightarrow 2$
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

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. $(P_v/\sigma'_{vo})^2 \leq 2 \Rightarrow (P_v/\sigma'_{vo})^2$; $(P_v/\sigma'_{vo})^2 > 2 \Rightarrow 2$ dir.

P_v : Deniz seviyesindeki açık hava basıncı, σ'_{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.

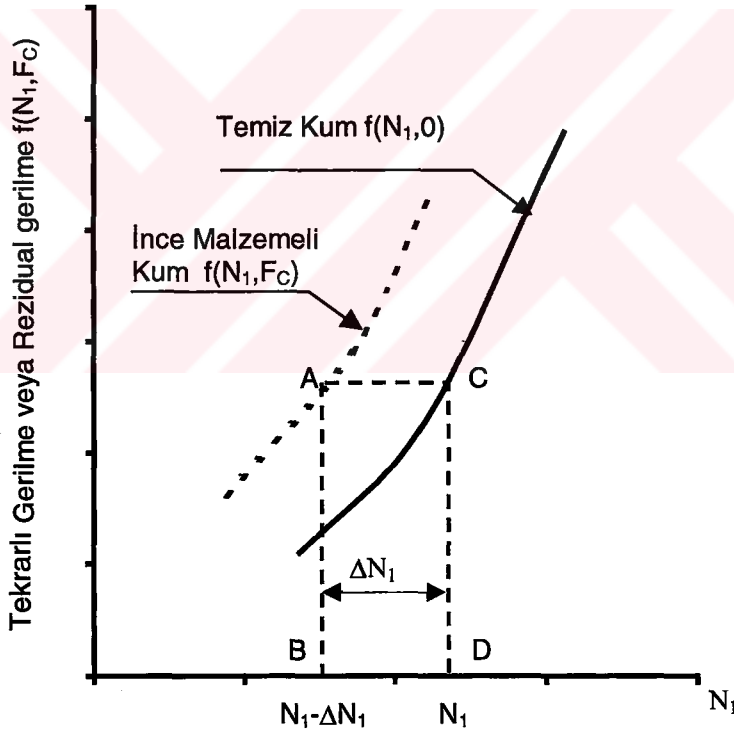
C_R : Sondaj uzunluğu düzeltmesi.

C_S : Deney yöntemi düzeltmesi.

$(N_1)_{60}$: %60 enerji seviyesine göre düzeltilmiş SPT-N değeri.

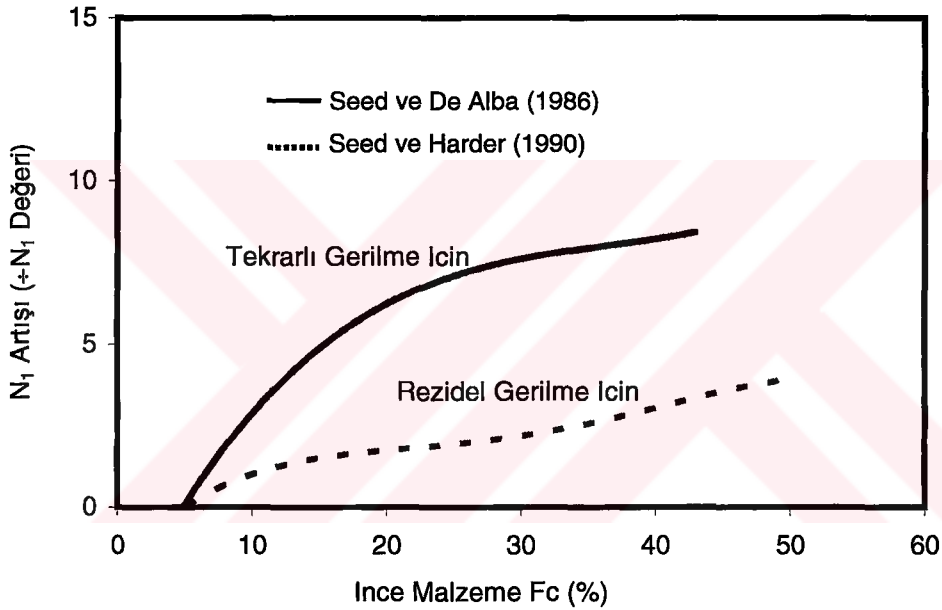
4.1.1.1. İnce Malzeme Oranı (F_c) Düzeltmesi:

Burada İnce Malzeme Olarak kastedilen malzeme (No.200) eleğinden geçen malzemedir. Sıvılaştırılabilir zeminlerde bulunan ince malzeme miktarı zeminin sıvılaştırma 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 4.2. İnce malzeme (-No.200) artışının, Tekrarlı Gerilme direnci üzerindeki etkisi.

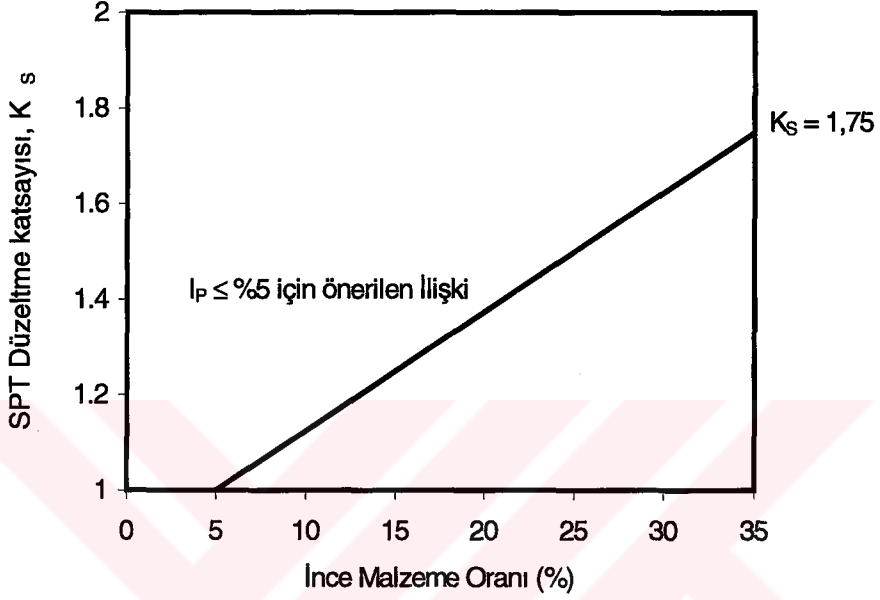
Şekil 4.1 deki grafiklerde görüldüğü gibi ince malzeme oranı arttıkça eğriler yaklaşık paralel olarak kendinden bir önceki eğrinin soluna kaymaktadır. Bu kayma (ΔN_1) ince malzeme oranının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Seed and De Alba (1986), kum içinde bulunan ince malzeme oranının temiz kumun Tekrarlı Gerilme Direncinde meydana getirdiği artışı incelemişlerdir. Yine Seed and Harder (1990) ince malzeme oranının Rezidual zemin direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmaların sonucunda Şekil 4.3 de gösterilen eğrileri elde etmişlerdir.



Şekil 4.3. İnce malzeme oranına bağlı olarak ΔN_1 artışı.

Tez kapsamında sıvılaşma analizleri NCEER, 1997'nin önerdiği hesaplamalar ile yapılmıştır. Ancak $F_c > \%35$ için Seed and De Alba (1986), Seed and 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 sıvılaşmayacağı kabul edilmiştir. $F_c \leq \%35$ 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.

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

$$F_C \leq \%5 \Rightarrow K_s = 1,00 \text{ olarak belirlenir (denklem 4.2.)}$$

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.

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

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

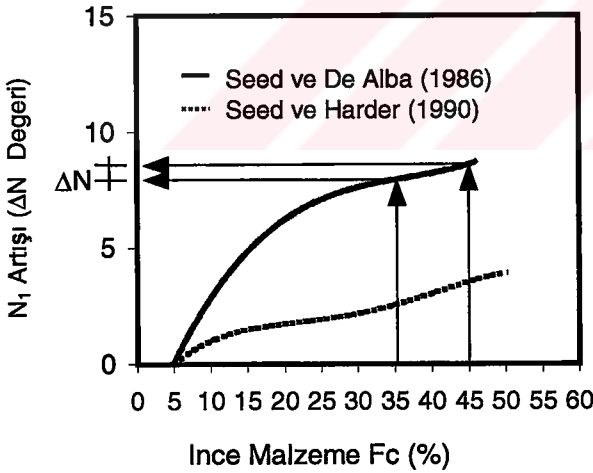
Analizlerde kullanılmak üzere $(N_1)'_{60CS} = (N_1)'_{60} \times K_s$ değeri belirlenir.

Örnek 3:

$F_C = \%45$ için

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

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



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

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

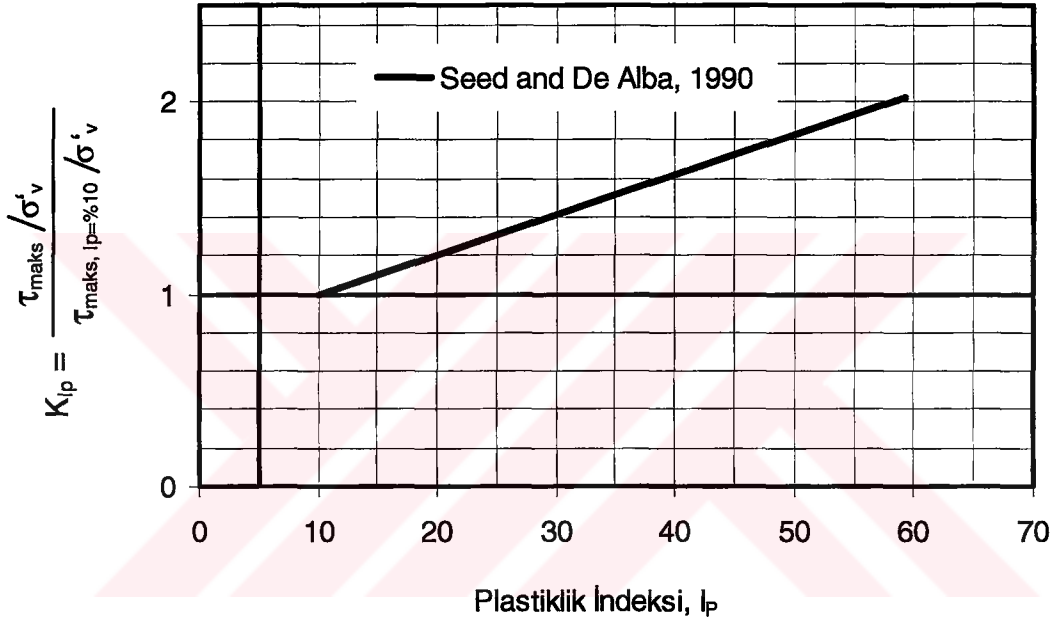
Daha sonra NCEER, 1997'nin $F_C = \%35$ için önerdiği prosedür uygulanır.

$$F_C = \%35 \Rightarrow K_s = 1,75 \text{ (denklem 4.2).}$$

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

4.1.1.2. Plastiklik İndeksi (I_p) Düzeltmesi:

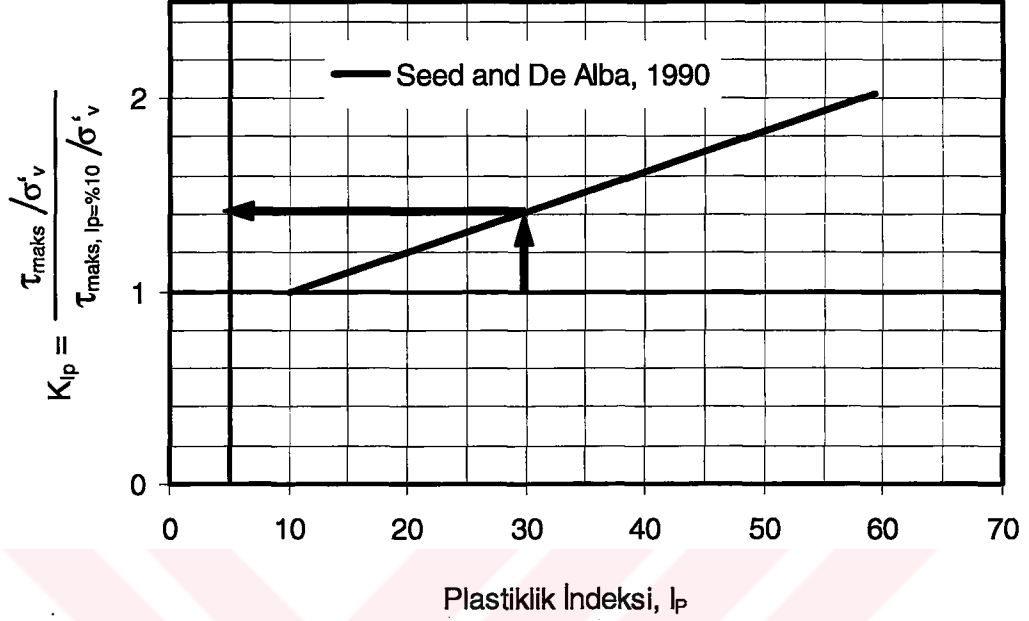
Tez kapsamında zeminin plastiklik indisinin $I_p > \%10$ olması durumunda NCEER, 1997'nin önerdiği Tekrarlı Gerilme Direnci (CRR) üzerinde, Seed and De Alba (1990) yaptığı çalışmalardan elde ettikleri Şekil 4.5 de ki grafikten yararlanılarak düzeltmeler uygulanmıştır.



Şekil 4.5. Plastiklik indeksinin (I_p) Tekrarlı Gerilme Direnci üzerindeki etkisi

Şekil 4.5. de Seed and De Alba'nın yaptıkları çalışmalar sonucunda önerdikleri grafikte I_p -(CRR / CRR $_{I_p = \%10}$) ilişkisinin $I_p < \%10$ için 1,0 olarak verilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan sıvılaşma analizlerinde plastisite düzeltmesi için Seed and De Alba'nın önerdikleri I_p - (CRR / CRR $_{I_p = \%10}$) ilişkisi esas alınmıştır.

Aşağıda anlatılan NCEER, 1997'nin önerdiği yöntem ile CRR $_{p \leq \%5}$ hesaplanmaktadır. $I_p > \%5$ için Şekil 4.5 de verilen grafik yardımı ile her hangi bir I_p değeri için CRR/CRR $_{I_p = \%10}$ belirlenebilir. $\%5 < I_p < \%10$ için $K_{ip} = 1.0$ ve dolayısı ile CRR $_{I_p = \%10} = CRR_{I_p = \%5}$ (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.6. $I_p > \%10$ için $K_{Ip} = CRR / CRR_{I_p = \%5}$ değerinin okunması.

Şekil 4.6 da görüldüğü gibi grafikten $I_p \geq \%10$ için

$K_{Ip} = \frac{CRR}{CRR_{I_p = \%5}}$ belirlenir. (K_{Ip} : Plastisite düzeltme katsayısı)

$$CRR = CRR_{I_p = \%5} \times K_{Ip} \quad (4.3)$$

Şeklinde CRR belirlenir.

Farklı büyüklükteki depremler için zeminin Tekrarlı Gerilme Direnci ($CRR_{I_p = \%5}$) denklem 4.4 ve denklem 4.5 ile hesaplanabilir.

$$CRR_{I_p = \%5} = (CRR_{I_p = \%5, m = 7,5})(MSF) \quad (4.4)$$

MSF : Magnitüd düzeltme faktörü (Youd et al, 1997)

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad (4.5)$$

M : Sıvılaşma analizi için göz önüne alınan deprem büyüklüğü.

$$CRR_{I_p=\%5, m=7,5} = \frac{a + cx + ex^2 + gx^3}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4} \quad (4.6)$$

$$x = (N_1)'_{60CS}$$

$$a = 4,844E-02$$

$$e = 6,136E-04$$

$$b = -1,248E-01$$

$$f = -3,285E-04$$

$$c = -4,721E-03$$

$$g = -1,673E-05$$

$$d = 9,578E-03$$

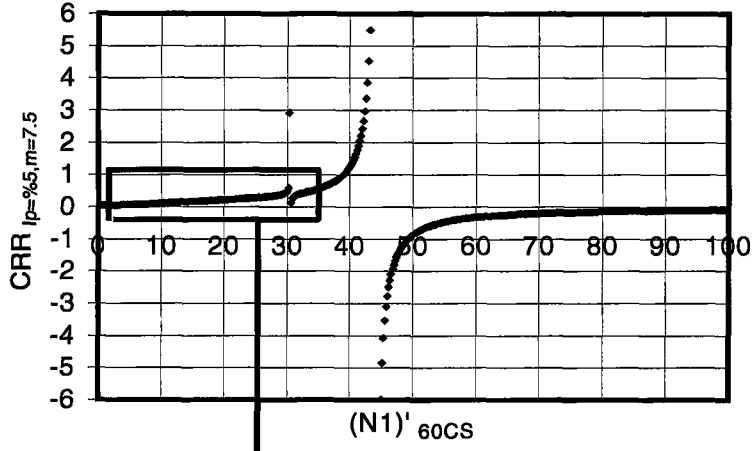
$$h = 3,714E-06$$

$CRR_{I_p=\%5, m=7,5}$: Plastisite indeksi, $I_p=\%5$ olan bir zeminde, büyüklüğü 7,5 ($M=7,5$) olan bir deprem için hesaplanan zeminin Tekrarlı Gerilme Direncidir.

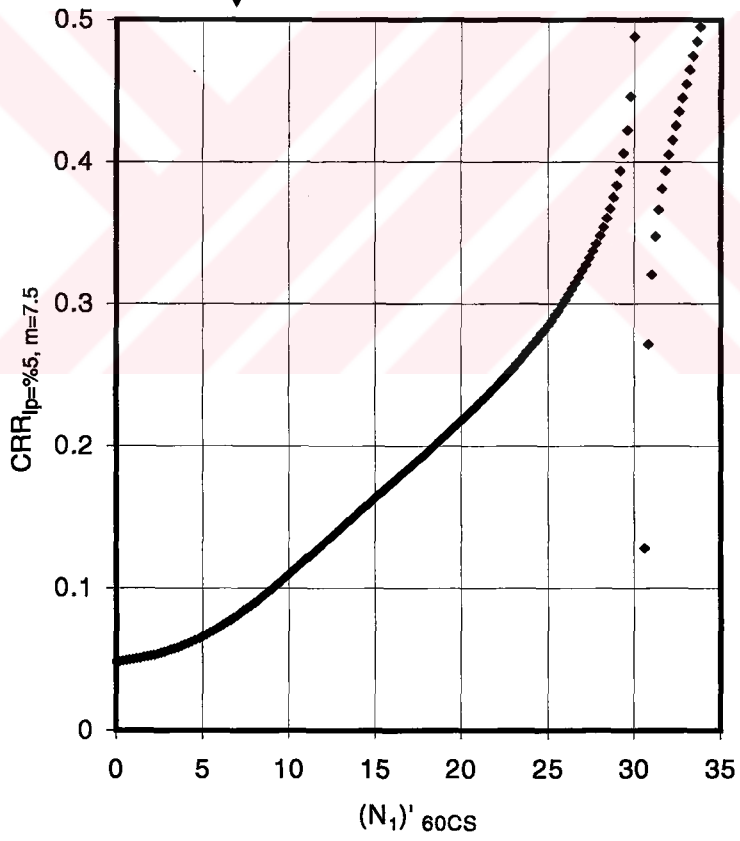
Denklem 4.6 da verilen fonksiyon, Şekil 4.1 de $F_C=\%5$ için verilen eğrinin denklemidir. Denklem 4.6 daki fonksiyonun Şekil 4.1 ve Şekil 4.7 de görüldüğü gibi $x=30$, $x=44$ ($(N_1)'_{60CS}=30$, $(N_1)'_{60CS}=44$) doğrularına asimtotlaşmakta ve $x>44$ için eksi (-) değerler almaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak, burada anlatılan veya NCEER, 1997' nin önerdiği analizin kullanılması durumunda $(N_1)'_{60CS}>30$ için zeminin sıvılaşmayacak derecede sıkı olduğu yargısına varılması gerekir. $(N_1)'_{60CS} > 30$ ve özellikle $(N_1)'_{60CS} > 43$ sayısal değerleri ile analiz yapılmaya çalışıldığında anlamsız sonuçlar çıkacaktır.

SPT-N değeri üzerinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra denklem 4.6 kullanılmadan Şekil 4.1 de verilen ilgili eğri kullanılarak $CRR_{I_p=\%5, m=7,5}$ değeri belirlenebilir. Grafikten okuma için ince malzeme oranı düzeltmesi yapılmasına gerek yoktur. Zeminin içerdiği ince malzeme oranına göre ilgili eğri seçilip okuma yapılabilir. İnce malzeme düzeltmesi yapılmışsa okumada $F_C=\%5$ için çizilen eğri kullanılmalıdır.

Sıvılaşmanın buraya kadar anlatılan kısmında arazideki SPT-N değerinden zemini temsil edebilecek CRR (Tekrarlı Gerilme Direncinin) nasıl hesaplanacağı verilmiştir.



Şekil 4.7.a.

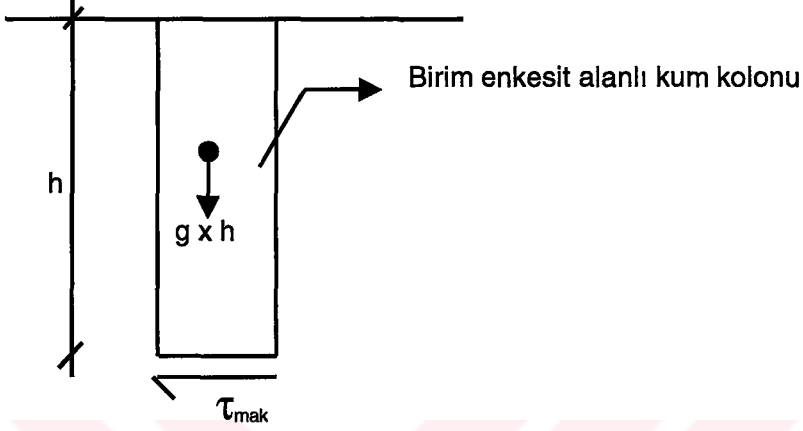


Şekil 4.7.a.

Şekil 4.7. Denklem 4.6 ile verilen fonksiyonun grafiği.

4.1.2. CSR: Tekrarlı Yükleme Esnasında Zeminde Oluşan Kayma Gerilme Oranı, (τ_o / σ'_v)

a_{maks} : Bir depremde zemin yüzeyinde oluşacağı tahmin edilen maksimum yatay ivme



Şekil 4.8. Birim en kesit alanlı kum kolonunda oluşan kayma gerilmesi (τ_{mak}).

$$\tau_{mak rijit} = \gamma h \frac{a_{mak}}{g} = \sigma_v \frac{a_{mak}}{g} \quad (4.7)$$

Zemin rijit kütle hareketi yapmadığı için $\tau_{mak rijit}$ değerine derinliğe bağlı düzeltme yapılır.

$$\tau_{mak} = \tau_{mak rijit} \times r_d \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - 0,00765.z & z < 9,15 \\ &= 1,174 - 0,0267.z & 9,15m < z < 23m \\ &= 0,744 - 0,088.z & 23m < z < 30m \\ &= 0,5 & 30m < z \end{aligned} \quad (4.9)$$

r_d : Derinlik düzeltme katsayısı.

z : Derinlik.

τ_{mak} : Belli bir derinlikte oluşacak maksimum kayma gerilmesi.

σ_v : Toplam düşey gerilme.

$$\tau_{mak} = \sigma_v \frac{a_{mak}}{g} r_d \quad (4.10)$$

$$\tau_o = 0,65 \cdot \tau_{\text{mak}} \quad (4.11)$$

$$\tau_o = 0,65 \sigma_v \frac{a_{\text{mak}}}{g} r_d \quad (4.12)$$

τ_o : Ortalama kayma gerilmesi.

$$\text{CSR} = \frac{\tau_o}{\sigma'_v} = 0,65 \left(\frac{a_{\text{mak}}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (4.13)$$

CSR : Tekrarlı Gerilme Oranı

σ'_v : Efektif düşey gerilme

Zeminde deprem esnasında oluşacağı tahmin edilen Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) denklem 4.13 ile hesaplanır.

4.1.3. Zeminin Sıvılaşma Analizi

Zeminin Tekrarlı Yükleme Karşı Direncinin (CRR), tekrarlı yükleme esnasında zeminde oluşacak Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) oranı (CRR/CSR), zeminin sıvılaşmaya karşı Güvenlik Faktörü (G_F) olarak tanımlanır.

$$G_F = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}} \quad (4.14)$$

$G_F \leq 1,0$ Zeminin sıvılaşma riski vardır.

$G_F > 1,0$ Zeminin sıvılaşma riski yoktur.

4.1.4. Sıvılaşma Analizi İçin İşlem Adımları

1- $F_C > \%45 \Rightarrow$ Zeminin sıvılaşma riski çok düşüktür ve burudaki analize uygun değildir.

2- $(N_1)_{60} = N_C N_E C_B C_R C_S$ belirlenir.

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

$\%35 < F_C \leq \%45$ Şekil 4.3 yardımı ile ΔN ve

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

belirlenir.

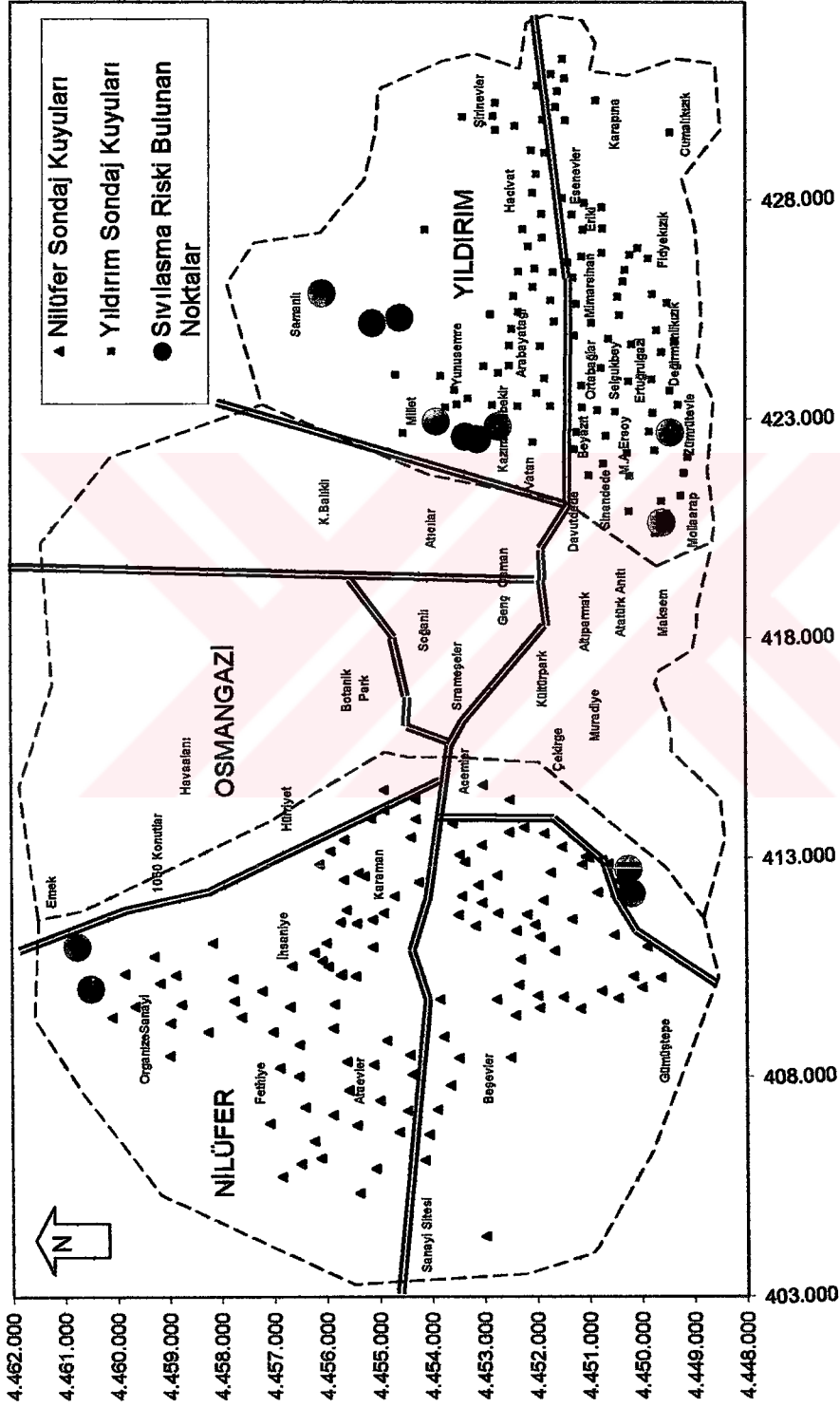
- 4- - $F_C \leq \%5 \Rightarrow K_S = 1.0$
- $\%5 < F_C \leq \%35 \Rightarrow K_S = 1 + \frac{0,75}{30}(F_C - 5)$
- $35 < F_C \leq \%45 \Rightarrow K_S = 1.75$
- $(N_1)'_{60CS} = (N_1)'_{60} \times K_S$ belirlenir.
- 5- Denklem 4.6 ile $x = (N_1)'_{60CS}$ için $CRR_{Ip=\%5;m=7,5}$ hesaplanır.
- 6- Şekil 4.5 yada Şekil 4.6 yardımı ile
- $I_p \leq \%10 \Rightarrow K_{Ip} = \frac{CRR_{m=7,5}}{CRR_{Ip=\%5;m=7,5}} = 1,0$
- $I_p > \%10 \Rightarrow K_{Ip} = \frac{CRR_{m=7,5}}{CRR_{Ip=\%5;m=7,5}}$ belirlenir.
- 7- $CRR_{m=7,5} = CRR_{Ip=\%5;m=7,5} \times K_{Ip}$ hesaplanır.
- 8- $MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}}$ hesaplanır (M: analizde göz önünde tutulacak deprem büyüklüğü).
- 9- $CRR = CRR_{m=7,5} \times MSF$ hesaplanır.
- 10- $CSR = \frac{\tau_o}{\sigma'_v} = 0,65 \left(\frac{a_{mak}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right)_r^d$ hesaplanır.
- 11- $GF = \frac{CRR}{CSR}$ belirlenir.
- 12- Gereken yorumlar yapılır.
- $G_F \leq 1,0$ için sıvılaşma vardır.
- $G_F > 1,0$ için sıvılaşma yoktur.

4.1.5. Bursa İl Merkezi İçin Yapılan Analiz Sonuçları

Burada verilen esaslara dayanarak Bursa il merkezi zeminlerinde yapılan ($a_{maks}=0,4g$ ve $M=7,5$ için) sıvılaşma analizlerinden sondaj kuyuları için elde edilen sıvılaşma riskleri Tablo 4.2 de verilmiş ve sıvılaşma riski olan noktalar Şekil 4.9 da gösterilmiştir. Tablo 4.2 ve Şekil 4.9 dan görüldüğü gibi Bursa il merkezinde sıvılaşma riski içeren zeminler vardır. Tablo 4.2 ve Şekil 4.9 da özet olarak verilen sıvılaşma analizi sonuçları ile ilgili daha ayrıntılı bilgi EK-9 de verilmiştir.

Tablo 4.2. Analizi Yapılan Sondaj kuyularının sıvılaşma riski ($a=0,4g$ ve $M=7,5$ için).

Kuyu No	Sıvılaşma Riski	Kuyu No	Sıvılaşma Riski
1(YS-18)	YOK	13(YS-75)	VAR
2 (YS-30)	YOK	14 (YS-76)	YOK
3(YS-53)	VAR	15(YS-80)	YOK
4 (YS-60)	VAR	16 (YS-83)	YOK
6(YS-62)	VAR	18(NS-38)	YOK
5(YS-61)	VAR	17(YS-107)	VAR
7 (YS-63)	VAR	19 (NS-39)	YOK
8 (YS-64)	VAR	20 (NS-109)	YOK
9(YS-67)	VAR	21(NS-111)	VAR
10 (YS-70)	YOK	22 (NS-112)	VAR
11 (YS-115)	YOK	23 (NS-126)	VAR
12 (YS-73)	YOK		



Şekil 4.9. Bursa il merkezi zeminlerinde (Nilüfer – Yıldırım ilçelerinde) $M = 7$ ve $a_{maks} = 0.4g$ için sıvılaşma riski bulunan noktalar (dışçeksiz).

5. KUMLU ZEMİNLERİN DİNAMİK YÜKLER ETKİSİ ALTINDA OTURMASI

Kumların deprem sarsıntısının etkisi ile sıkılaşma eğilimleri üzerinde bolca çalışılmış ve bu çalışmalar literatürlere geçmiştir. Alt tabakalardaki sıkılaşmalar, yüzeyde oturmalar şeklinde kendini gösterir. Deprem etkisi ile oluşan oturmalar sıklıkla sığ temelli yapılar için tehlikeye sebep olur, boru hatlarında hasarlar oluşturur, zemin yüzeyine yakın bulunan alt yapı tesislerine hasar verir.

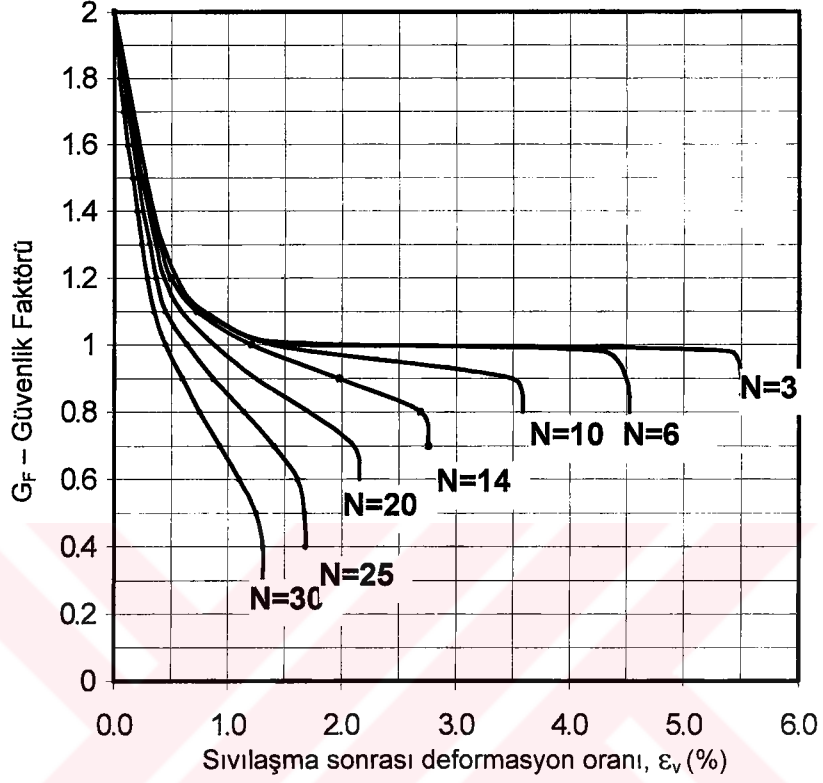
Kuru kumlar çok çabuk sıkışırlar; kuru kum birikintilerindeki sıkışmalar genellikle deprem ile birlikte sona erer. Suya doymun kum birikintilerinin oturması geneide daha fazla zaman gerektirir. Suya doymun kumlu zeminlerdeki oturma deprem etkisi ile oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönmülenmesi ile oluşur. Bu tür oturmalar için gerekli süre zeminin geçirgenliğine, sıklığına ve drenaj mesafesine bağlıdır. Bu süre birkaç dakika ile bir gün arasında değişim gösterebilir.

Kumların deprem etkisi ile oturmasını tahmin etmek oldukça zordur. Yapılan oturma hesaplarında yanılma payı %25 – %50 arasında olabilir. Sismik hareketin daha karmaşık olması durumunda doğruluk payı daha da azalabilir. Bütün bu olumsuzluklara rağmen aşağıda verilen yöntem ile makul sonuçlar elde edilebilmektedir (Kramer, 1996).

Burada yapılan oturma analizlerinde Ishihara and Yoshimine, (1992)'nin geliştirdikleri yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile kumlu zeminlerin sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü
$$G_F = \frac{CRR}{CSR}$$

ile birlikte, zemine ait SPT-N, CPT veya sıklık (Dr) değerlerinden birinin bilinmesi ile kum tabakasının oturma miktarı Şekil 5.1 yardımıyla tahmin edilebilmektedir. Bu tez kapsamında bir önceki bölümde G_F değeri hesaplandığından ve analiz yapılan zeminlere ait SPT-N değerleri elde mevcut olduğundan Ishihara and Yoshimine (1992)'nin geliştirdikleri bu yöntem kullanılmıştır.

Bu yöntemde; önce Şekil 5.1 den zeminin SPT-N direncine karşılık gelen eğri seçilir (SPT-N değeri şekil üzerindeki ilgili eğrilerin arasına denk geliyor ise doğrusal enterpolasyon yapılır). G_F değerleri düşey eksenden girilerek, ilgili eğri kestirilir. Eğrinin kestirildiği noktanın düşeyinde zeminin deformasyon yüzdesi okunur. Tabaka kalınlığı ile deformasyon yüzdesi çarpılarak ilgili tabakanın oturma miktarı tahmin edilir. Tüm tabakaların oturma miktarları aynı şekilde belirlenerek toplanır ve bu şekilde toplam oturma belirlenmiş olur.



Şekil 5.1. Sıvılaşma Güvenlik faktörüne (G_F) ve SPT-N değerine bağlı olarak, kumlu zeminlerde sıvılaşma sonrası deformasyon oranı ilişkisi (Ishihara and Yoshime, 1992).

Yukarıda anlatılan bu işlemler için, Şekil 5.1. deki eğriler sayısallaştırılmış ve analizler akış diyagramı EK-1 de verilen bilgisayar programı ile yapılmıştır (bilgisayar programı CD de kayıtlı olarak ekler kısmında verilmiştir).

Oturma analizi yapılan sondaj kuyularına ait oturma miktarları Tablo 5.1 de verilmiş ve Şekil 5.2 de gösterilmiştir. Oturma analizi sonuçları ile ilgili ayrıntılı bilgiler EK-9 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Sondaj kuyularında deprem etkisi ile oluşabilecek oturma miktarları ($a=0,4$ g ve $M=7,5$ için).

Kuyu No	Oturma Miktarı (m)	Kuyu No	Oturma Miktarı (m)
1 (YS-18)	0.000	13 (YS-75)	0.035
2 (YS-30)	0.007	14 (YS-76)	0.000
3 (YS-53)	0.000	15 (YS-80)	0.000
4 (YS-60)	0.139	16 (YS-83)	0.005
5 (YS-61)	0.146	17 (YS-107)	0.037
6 (YS-62)	0.139	18 (NS-38)	0.000
7 (YS-63)	0.008	19 (NS-39)	0.004
8 (YS-64)	0.074	20 (NS-109)	0.002
9 (YS-67)	0.125	21(NS-111)	0.110
10 (YS-70)	0.006	22 (NS-112)	0.141
11 (YS-115)	0.000	23 (NS-126)	0.039
12 (YS-73)	0.000		

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan hesaplamalardan da görüldüğü gibi alüvyon istiflerinde deprem etkisi ile zemin büyütmesi, sıvılaşma ve oturmalar ile karşılaşılabilir. Eğer bu tür etkiler yerleşim alanlarının seçiminde ve yapıların projelendirilmesinde göz önünde bulundurulmaz ise; yapılarda geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilir. Dahası can ve mal kayıplarına neden olabilir ve meydana gelecek hasarları da arttırabilir.

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

Bursa geçmiş yıllarda tarihi büyük depremler yaşamıştır. Bununla beraber Bursa, Bursa il merkezinde meydana gelecek bir depremden ziyade yakın bölgede özellikle Kuzey Anadolu Fay sisteminde oluşacak depremlerin etkisi altındadır. Tez çalışmasında, Bursa'ya yakın bir bölgede Kuzey Anadolu Fay sisteminden kaynaklanacak depremin, Bursa'ya etkisini göstermek için Spudich et al, (1997) ortaya koydukları sönümlenme ilişkisi kullanılmıştır. Kuzey Anadolu Fay sisteminin Bursa'ya olan uzaklığı, bu fay sisteminde oluşacak depremlerin muhtemel büyüklükleri (magnitütleri), fayların kırılma mekanizması bakımından, Spudich et al, (1997) ortaya koyduğu ve Bölüm 2'de verilen sönümlenme ilişkisinin kullanılmasına uygundur. Ayrıca Bölüm 2'de verilen sönümlenme ilişkisini Spudich et al, ortaya koyma çalışmalarında Türkiye Anadolu Fay Sistemi'ndeki depremleri de kullanmışlardır. Sayılan bu unsurlar Bölüm 2'de yapılan analizin doğruluğunu arttırıcı özelliktedir. Aynı şekilde Bursa il merkezi zeminlerinin dinamik zemin davranış analizleri, dalgaların taban kayasından yukarı doğru düşey yönde yayıldığı durum için yapılması, analizi yapılan zeminlerin alüvyon birikintilerden oluşması ve ele alınan depremin (17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi) Bursa il merkezinde orta şiddette bir deprem olarak etki göstermesi şeklinde sıralanabilecek olan unsurlar da Bölüm 3'de kullanılan Bir Boyutlu Eşdeğer Doğrusal Dinamik Zemin Davranış Analizinin doğruluğunu arttırıcı özelliktedir. Nitekim Bölüm 2'de taban kayası yüzeyi için elde edilen $a_{maks}=0,0595g$ değerine sahip ivme grafiği modeli (Grafik 2.2), Bölüm 3'de girdi olarak kullanılmış ve zemin yüzeyi için hesaplanan yatay yüzey ivme değerleri ($a_{maks,(YS-18)}=0,077g$, $a_{maks,(YS-30)}=0,071g$, $a_{maks,(YS-53)}=0,070g$, $a_{maks,(YS-60)}=0,071g$, $a_{maks,(YS-61)}=0,091$, $a_{maks,(YS-62)}=0,092g$, $a_{maks,(YS-63)}=0,090g$, $a_{maks,(YS-64)}=0,091g$, $a_{maks,(YS-67)}=0,072g$, $a_{maks,(YS-70)}=0,071g$) Bursa il merkezinde sismograf tarafından kaydedilen yatay yüzey ivme değerine ($a_{maks-sismograf}=0,072g$) oldukça yakın çıkmıştır. Bu da Bölüm 2 ve Bölüm 3'de analiz için seçilen yöntemlerin yukarıda sayılan nedenlerden dolayı uygunluğunu ve tutarlılığını göstermektedir.

Bölüm 4'de ele alınan sıvılaşma analizi için deprem büyüklüğü (magnitüdü) $M=7,5$ ve maksimum yatay yüzey ivme değeri için $a_{maks} = 0,4g$ öngörülmüştür. Kuzey Anadolu Fayı'nın Bursa'ya 60 – 70 km mesafeden daha uzak olan noktalarında meydana gelecek bir kırılma muhtemelen ön görülen bu durumu oluşturmuyacak, dolayısı ile sıvılaşma ve deprem etkisi ile oturmalar açısından tehlikeli bir durum ortaya çıkarmayacaktır. Bu durum, Bölüm 2 ve bölüm 3'de yapılan analizler sonucunda taban kayası ile zemin yüzeyi için elde edilen ivme değerlerinden ($a_{maks,(YS-18)}=0,077g$, $a_{maks,(YS-30)}=0,071g$, $a_{maks,(YS-53)}=0,070g$, $a_{maks,(YS-60)}=0,071g$, $a_{maks,(YS-61)}=0,091g$, $a_{maks,(YS-62)}=0,092g$, $a_{maks,(YS-63)}=0,090g$, $a_{maks,(YS-64)}=0,091g$, $a_{maks,(YS-67)}=0,072g$, $a_{maks,(YS-70)}=0,071g$) ve yaşanan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden görülebilmektedir. Analiz kapsamında öngörülen bu durumun ortaya çıkması için deprem merkezinin Bursa il merkezinde veya Bursa il merkezine çok yakın bir noktada meydana gelmesi gerekmektedir. Bursa il merkezi doğrudan büyük bir deprem tehlikesine maruz değilse de bu durum ihtimal dahilindedir. Ayrıca Şekil 1.1'den görüldüğü gibi kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara bölgesinde çatallanan kollarından Yenişehir-Gemlik kolu Bursa il merkezine çok yakın bir konumdan geçmektedir. Bu kolda oluşacak bir kırılma Bölüm 4'de öngörülen durumları ortaya çıkarabilir. Öngörülen bu durum için meydana gelebilecek sıvılaşmalar Şekil 4.9'da verilmiştir. Sıvılaşma analizleri ilk aşamada Şekil 1.3'de verilen sondaj kuyuları için ele alınmıştır. Diğer kuyular için bu tez kapsamındaki analizlerin yapılmasına Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden alınan veriler ışığında devam edilecektir.

Sıvılaşmayı etkileyen önemli parametrelerden birisi de zeminin plastikiğidir. Genel olarak plastikiğin sıvılaşmaya olan etkisi analizlerde, arazi ve laboratuvar deneylerinde ihmal edilmekte ve göz önünde bulundurulmamaktadır. Zeminin plastikiğinin artması sıvılaşmayı güçleştirici bir etkidir. Bu durumun göz önünde bulundurulmaması ekonomik yönden daha maliyetli sonuçların elde edilmesine neden olabilir. Örneğin plastikiği dikkate alındığında sıvılaşmayan bir zemin, plastikiği dikkate alınmadığında sıvılaşıyor çıktığında, bu bölgede yapılacak yapılar ve alt yapı için fazladan ve gereksiz yere kaynak harcanmasına neden olabilir. Zeminlerin çeşitli özelliklerinin (İnce malzeme, plastiklik, dane çapı dağılımı...) sıvılaşmaya olan etkileri üzerine araştırmalar devam etmektedir. Ancak şu ana kadar geliştirilen ve literatürlerde mevcut olan yöntemlerde zeminlerin ince malzeme oranı ve plastiklik özellikleri sıvılaşma riskini azaltıcı yöndedir. Mevcut durum göz önüne alındığında zeminlerin bu özelliklerinin dikkate alınması ekonomik kazanımlar sağlayabilir. Bundan dolayı arazi ve laboratuvar deneylerinde zeminlerin bu özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneylerin yapılmasına önem verilmeli ve sıvılaşma analizlerinde zeminlerin ince malzeme ve plastiklik özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bölüm 5'de, Bölüm 4'den elde edilen sonuçlar ile suya doymun kumlu zeminlerin deprem etkisi ile oturma analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen oturma değerleri Tablo 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Analizi yapılan sondaj kuyuları yerleşim alanlarında yer aldığından elde edilen oturma değerleri önem kazanmaktadır. Tablo 5.1 ve Şekil 5.2'den görüldüğü gibi bazı noktalarda 7 cm – 14 cm değerlerinde oturmalar oluşabilmektedir (4(YS-60), 5(YS-61), 6(YS-62), 8(YS-64), 9(YS-67), 21(NS-111), 22(NS-112) sondaj kuyularında). Bu noktalar yukarıda da belirtildiği gibi yerleşim alanlarında bulduklarından meydana gelecek bu değerdeki oturmalar alt yapı tesislerine ve yapılara zarar verebilir mertebelere dır. Şunu da belirtmek gerekir ki, bu tez çalışmasında elde edilen oturma değerlerine kuru kum tabakalarının oturmaları ve kil tabakalarından kaynaklanacak uzun dönemli oturmalar dahil değildir. Bu durumda göz önüne alındığı da oturma değerlerinin daha da artacağı unutulmamalıdır.

Bir çok yerleşim alanı gibi Bursa İl Merkezide sürekli ve hızlı bir şekilde alüvyon özellikteki Bursa Ovası'na doğru gelişmektedir. Bu tür bir gelişme hem tarım arazilerinin ortadan kalkmasına neden olmakta hem de yapılara yukarıda sayılan ve gösterilmeye çalışılan bazı ilave riskler getirmektedir.

Bu günün teknolojisi ile elverişsiz zeminlerde de yapılar inşa edilebilir. Ancak bu, elverişsiz zeminlerdeki yapılara gelen ek riskleri tümüyle ortadan kaldırmadığı gibi maliyeti de artırmaktadır. Ayrıca yakın zamanda zeminlerin sıvılaşma ve büyütme gibi özellikleri yeterince dikkate alınmadan, zemine uygunsuz inşa edilen yapıların birçok can ve mal kaybına neden olduğunu gördük (17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi, 2000, Bolu-Düzce depremi...).

Bursa il merkezi zeminlerinde ki analizler şu anda yerleşim alanı olan bölgelerde yapılmıştır. Analizler sonuçlarından Bursa il merkezi zeminlerinin deprem etkisini büyütebileceği ve sıvılaşma riski taşıdığı görülmüştür (sıvılaşma riski taşıyan noktalar Şekil 4.9'da verilmiştir). Olumsuz sonuçlarla karşılaşılan bu bölgelerdeki yapılar için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Bu tez kapsamında Bursa il merkezi zeminlerinin bir kısmı üzerinde çalışılmıştır. Burada verilen analizlerin daha gelişmiş ve ayrıntılısı, yeni veriler ile güncellenerek yapı projelendiren mühendisler ve ilgili kurumlar tarafından yapılabilir.

KAYNAKÇA

- 1- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, sayfa: 11-13, 78,79, 1998.
- 2- 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.
- 3- BENDAT, J., S., and PIERSAOL, A., G., 1986, Random Data, "Analysis and Measurement Procedures", John Wiley & Sons, New York, Page: 334-383.
- 4- Bursa Büyükşehir Belediyesi Nilüfer İlçesi Zemin Araştırma Raporu-2000 , Bursa, 2000.
- 5- Bursa Büyükşehir Belediyesi Yıldırım İlçesi Zemin Araştırma Raporu-2000, Bursa, 2000
- 6- 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.
- 7- 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.
- 8- DAS, B.M., 1993, "Principles of Soils Dynamics", Pws-Kent Publusing, Boston, USC, Page:52-86, 87-178, 301-325, 1993.
- 9- 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.
- 10- HARDIN, B. O. And DRNEVITCH, V. P. 1972 "Shear Modulus and Damping In Soil I. Measurement and Parameter Effects" Journal Of Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol.98, No.6, Page: 603-624.

- 11- HARDIN, B. O. And DRNEVITCH, V. P., 1972 "Shear Modulus and Damping In Soil II. Design Equations and Curves," Journal Of Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol.98, No.7, Page: 667-691.
- 12- 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.
- 13- 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.
- 14- ISHIHARA, K. and YOSHIMINE, M., 1992, "Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefection During Earthquakes", Soils and Foundations, Vol.32, No.1, Page:173-188,1992.
- 15- KAPAR, M., 2001, "Tek Boyutlu Lineer Dinamik Zemin Davranışı", Dokuz Eylül Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı Bitirme Projesi No:GEOBP2001G04, 2001.
- 16- KRAMER, S.L.,1996. "Geotechnical Eearthquake Engineering", Prentice Hall, Upper Seddle River, New Jersey, 254-300, Page:348-400, 401-409, 1996.
- 17- MEIROVITCH, L., 1967, "Analytical Methods in Vibrations" The MacMillan Company, NY, Page: 400-401.
- 18- NCEER Worksop, 1997, Proceeding of the NCEER Worksop on Evalution of Liquefaction Resistance of Soils", Edited by Youd, T.L., Idriss, I.M., Technical Report No.NCEER-97-0022, December 31, 1997.
- 19- 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.
- 20- SCHANABEL, P., B., LYSMER, j., and SEED, H., B., (1972), "SHAKE: A Computer Program For Earthquake Response Analysis Of Horizontallly Layerd Sites", Report No. UCB/EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, University Of California, Berkeley, December, Page: 102.

- 21- 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.
- 22- 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.
- 23- 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.
- 24- 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.
- 25- SPUDICH P., J. B. FLETCHER, M. HELLWEG, J. BOATWRIGHT, C. SULLIVAN, W. B. JOYNER, T. C. HANKS, D. M. BOORE, A. McGARR, L. M. BAKER and A. G. LINDH, 1997, "SEA96 – A New Predictive Relation For Earthquake Ground Motions In Extensional Tectonic Regimes", Journal Of Seismological Research Letters, Vol.68, January/February 1997, Page: 190 – 198.
- 26- TABBAN , A., 2000, "Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu", Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara,2000
- 27- TOKIMATSU, K. and SEED, H.B., 1987, "Evaluation of Settlements in Sand Due to Earthquake Shaking", Journal of Geotechnical Engineering, ASCEE, Vol.113, No.8, Page:861-878, 1987.
- 28- TONOUCHE, K., SAKAYAMA, T., IMAI, T.,1983. "S. Wave Velocity In The Ground and The Damping Factor", Bulletin Of International Association Of Engineering Geology 46, Page:331-347.
- 29- 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.

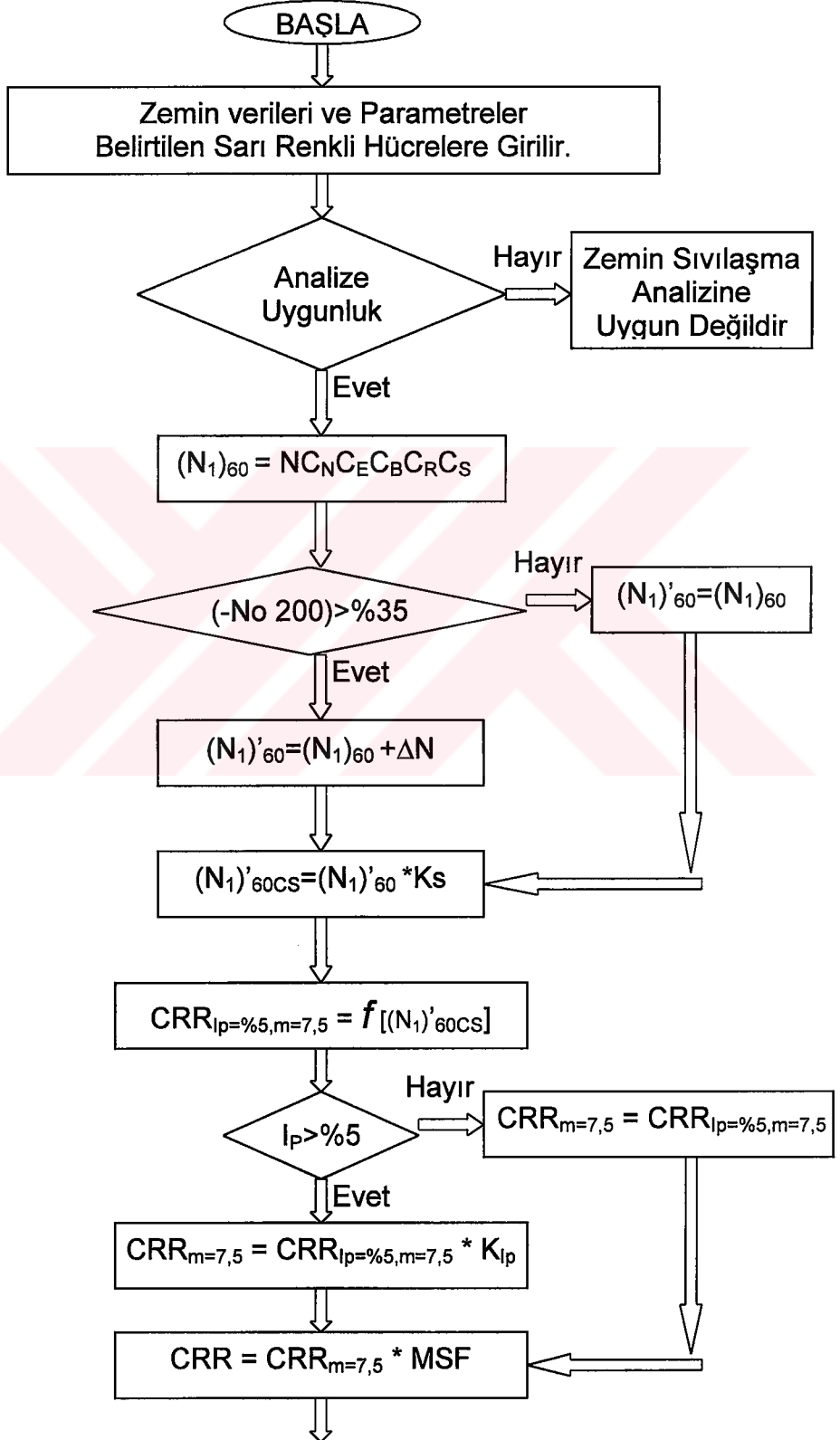
- 30- YOUNG, T., L., IDRISSE, I., M., ANDRUS, R., D., ARANGO, I., CASTRO, G., CHRISTIAN, J., T., DOBRY, R., FINN, W., D., L., HARDER, L., F., Jr., HYNES, M., E., ISHIHARA, K., KOESTER, J., P., LIAO, S., S., C., MARCUSAN, W., F., III. MARTIN, G., R., MITCHELL, J., K., MORIWAKI, Y., POWER, M., S., ROBERTSON, 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.

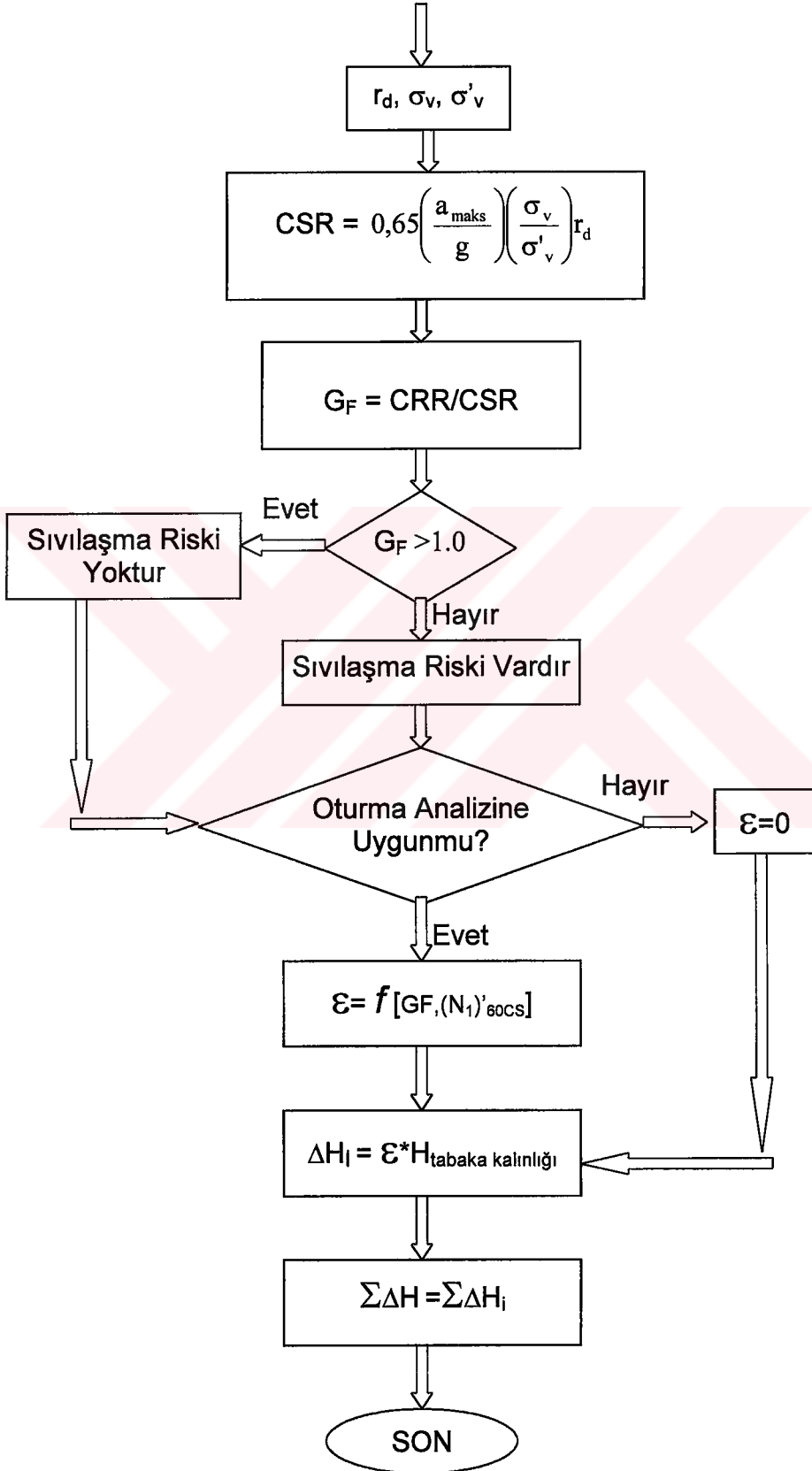


EKLER



**EK 1. SIVILAŞMA VE OTURMA ANALİZİ İÇİN OLUŞTURULAN
BİLGİSAYAR PROGRAMININ AKIŞ DİYAGRAMI**





EK-2 : ANALİZLERDE KULLANILAN ZEMİN PROFİLLERİ

EK-2-1: 1 nolu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili.

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		1	YS-18	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m ³)	Doğru B.H.A. (t/m ³)	LL	PL	I _p	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	V _s	
Ölçüm Sayısı:	5	Ölçüm No:	1	4,80		0,00												
						1,70	SILTYLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80						25	48	327,101
Su Derinliği:	1,70	Ölçüm No:	2	6,30		5,55	SILTYLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80						25	38	303,965
X	Y	Ölçüm No:	3	7,80		7,05	SILTYLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80						25	38	303,965
427312,19	4452234,45	Ölçüm No:	4	9,30		8,55	SILTYLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80						25	39	306,455
		Ölçüm No:	5	10,80	10,05	SILTYLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80						25	42	313,669	
					11,55													
					150		KAYA										350	1500

EK-2-2: 2 nolu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili.

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		2		YS-30	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m ³)	Doğgun B.H.A. (t/m ³)	LL	PL	I _p	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs	
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1																2,30
							0,00												
							2,80	KİL	C	1,70	1,89		NP			25	26	269,82	
							4,05	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	27	279,038	
							5,25	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	26	269,82	
							5,55	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	46	322,759	
							7,05	SİLTİLİ KUM	SM	1,70	1,91					30	50	331,321	
							8,55	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	40	308,9	
							10,05	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	42	313,669	
							11,55	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	42	313,669	
							150,00	SİLTİLİ-KİLLİ KUM										350	
								KAYA										1500	

EK-2-5: 5 nolu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili.

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		5		YS-61	Ölçüm Derinliği (m)	Zemin Profili	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m ³)	Deygin B.H.A. (t/m ³)	LL	PL	I _p	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	9	Ölçüm No:	1															
					2,30		0,00	SİLTİLİ KUM	SM	1,70	1,80		NP		86	12	45	320,539
					3,30		2,80	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					15	21	252,318
					4,80		3,00	SİLTİLİ KUM	SM	1,70	1,80		NP		100	31	18	240,396
					6,25		4,05	SİLTİLİ KUM	SM	2,03	2,02		NP					246,1
					7,80		5,53	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	20	248,482
					9,30		7,03	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	19	244,512
					10,80		8,55	SİLTİLİ KUM	SM	1,70	1,80		NP		100	39	20	248,482
					12,30		10,05	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					25	29	279,232
					13,80		11,55	SİLTİLİ KUM	SM	1,70	1,80		NP		100	34	45	320,539
							13,05	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80							
							14,55	SİLTİLİ KUM	SM	1,70	1,80		NP		100	34	45	320,539
							150,00	SİLTİLİ-KİLLİ KUM										350
								KAYA										1500

EK-2-15: 15 nolu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili.

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		15		YS-80		Derinlik (m)		Apıkama		Derinlik (m)		USCS Grup Sembolü		Doğal B.H.A. (t/m ³)		Doğru B.H.A. (t/m ³)		LL		PL		I _p		-No.4 (%)		-No.200 (%)		SPT-N		Vs	
Ölçüm Sayısı:		7	Ölçüm No:	1	2,30					0,00		KILLI ÇAKIL		GC	1,70	1,80	35	13	22	64	29	25	266,517								
Su Derinliği:		6,80	Ölçüm No:	2	2,75					2,525		SILTİLİ KUM		SM	2,02	2,01		NP					228								
X		Y	Ölçüm No:	3	3,30					3,025		KILLI KUM		SC	1,70	1,80	35	10	25	77	33	30	282,22								
423131,43		4449766,77	Ölçüm No:	4	4,80					4,05		SILTİLİ-KILLI KUM		SM-SC	1,70	1,80					25	45	320,539								
			Ölçüm No:	5	6,30					5,55		KIL		CL	1,70	1,80	35	14	21	99	67	41	311,305								
			Ölçüm No:	6	7,80					6,80		SILT		MIL	1,70	1,80		NP			61	47	324,945								
			Ölçüm No:	7	9,30					8,55		SILTİLİ-KILLI KUM		SM-SC	1,70	1,80					35	42	313,669								
										10,05		SILTİLİ-KILLI KUM											350								
										150,00		KAYA											1500								

EK-2-21: 21 nolu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili.

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		21	NS-111	Derinlik (cm)	Açıklama	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m ³)	Doğru B.H.A. (t/m ³)	LL	PL	I _p	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	Vs
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1	4,80		0,00	KİL	C	1,70	1,80					56	20	248,482
Su Derinliği:	5,30	Ölçüm No:	2	6,30		5,55	KUM	S	1,70	1,80					11	24	263,123
X	Y	Z	Ölçüm No:	3	7,80	7,05	KUM	S	1,70	1,80					14	26	269,82
4450177	412191	Ölçüm No:	4	9,30		8,55	KUM	S	1,70	1,80					16	28	276,172
		Ölçüm No:	5	10,80		10,05	KUM	S	1,70	1,80					10	28	276,172
		Ölçüm No:	6	11,80		11,30	SILTİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					20	40	308,9
		Ölçüm No:	7	12,10		11,95	SILTİ-KİLLİ KUM	SM-SC	1,70	1,80					20	50	331,321
						12,25											
							SILTİ-KİLLİ KUM										350
						150,00	KAYA										1500

EK-2-22: 22 nolu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili.

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		22	NS-112	Derinlik (m)	Açıklama	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m ³)	Doğru B.H.A. (t/m ³)	LL	PL	I _p	-No.4 (%)	-No.200 (%)	SPT-N	V _s
Ölçüm Sayısı:	6	Ölçüm No:	1	4,80		0,00	KİL	C	1,70	1,80					68	15	227,02
Su Derinliği:	5,10	Ölçüm No:	2	6,30		5,55	KUM	S	1,70	1,80					7	21	252,318
X	Y	Ölçüm No:	3	7,80		7,05	KUM	S	1,70	1,80					7	21	252,318
4450230	412740	Ölçüm No:	4	9,30		8,55	KUM	S	1,70	1,80					9	20	248,482
		Ölçüm No:	5	10,80		10,05	KUM	S	1,70	1,80					15	31	285,141
		Ölçüm No:	6	12,10		11,45	SİLTİLİ-KİLLİ KUM	SIM-SC	1,70	1,80					15	50	331,321
						12,75	SİLTİLİ-KİLLİ KUM										
						150,00	KAYA										1500

EK-3 ANALİZLERDE EERA PROGRAMI İÇİN BİLGİSAYARA GİRİLEN ZEMİN PROFİL BİLGİLERİ

EK-3-1: 1, 2, 3 nolu sondaj kuyuları için girilen zemin profil bilgileri

Kuyu No: 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Fundamental period (s) = 1,99												
3	Average shear wave velocity (m/sec) = 301,28												
4	Total number of sublayers = 54												
5		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^3)	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)
6	Surface	1	2	1	1,70			17,00	327,1				
7		2	2	2	3,85			18,00	327,1		W		
8		3	2	1	1,50			18,00	304				
9		4	2	1	1,50			18,00	304				
10		5	2	1	1,50			18,00	306,5				
11		6	2	1	1,5			18,00	313,7				
12		7	2	46	138,45			18,00	350				
13	Bedrock	8	0				1	22,70	1500	Outcrop			

Kuyu No: 2

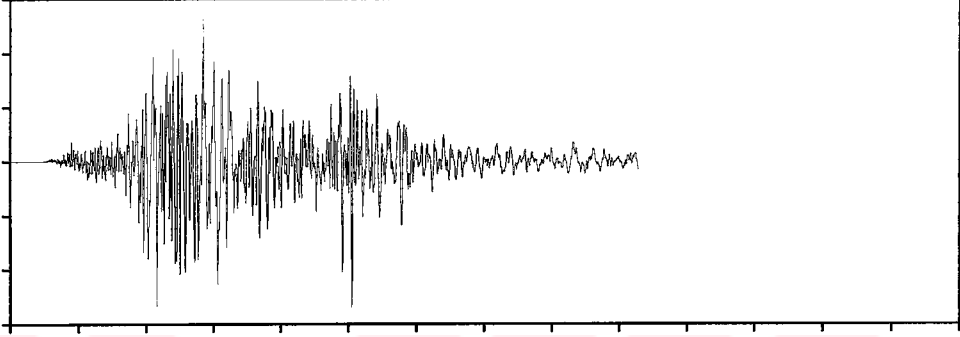
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Fundamental period (s) = 1,73												
3	Average shear wave velocity (m/sec) = 345,89												
4	Total number of sublayers = 52												
5		Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	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)
6	Surface	1	1	1	2,80			19,00	270				
7		2	2	1	1,25			17,00	273		W		
8		3	2	1	1,20			17,00	269				
9		4	2	1	1,50			18,00	322				
10		5	2	1	1,50			19,10	331				
11		6	2	1	1,50			18,00	309				
12		7	2	1	1,50			18,00	314				
13		8	2	46	138,5			18,00	350				
14	Bedrock	9	0				1	22,70	1500	Outcrop			

Kuyu No: 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Fundamental period (s) = 1,74												
3	Average shear wave velocity (m/sec) = 344,90												
4	Total number of sublayers = 56												
5		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^3)	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)
6	Surface	1	2	1	2,50			17,00	245				
7		2	2	1	0,30			19,40	245		W		
8		3	2	1	1,25			18,00	285,1				
9		4	1	1	1,00			20,00	282,2				
10		5	2	1	0,75			18,00	296				
11		6	2	1	1,3			18,00	288				
12		7	1	1	1,50			20,00	296,2				
13		8	2	1	1,50			18,00	320,5				
14		9	2	1	1,50			18,00	322,8				
15		10	2	46	138,55			18,00	350				
16	Bedrock	11	0				1	22,70	1500	Outcrop			

EK-4 : BURSA İL MERKEZİ TABAN KAYASI İÇİN SÖNÜMLEME İLİŞKİLERİNDEN
ELDE EDİLEN İVME GRAFİĞİ

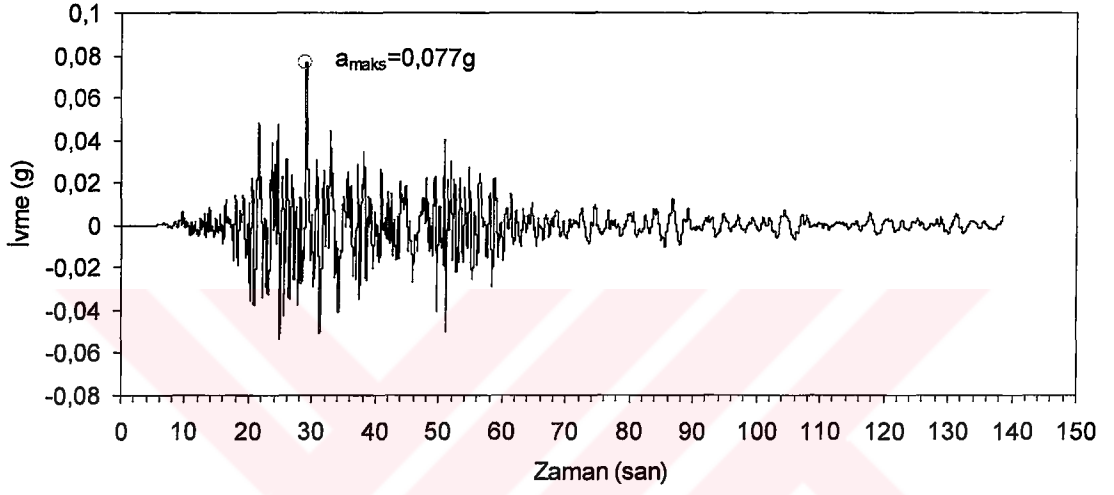
EK-4-1: Sönümlenme ilişkilerinden Bursa il merkezi taban kayası için elde edilen ivme grafiği
($a_{maks}=0,05395g$)



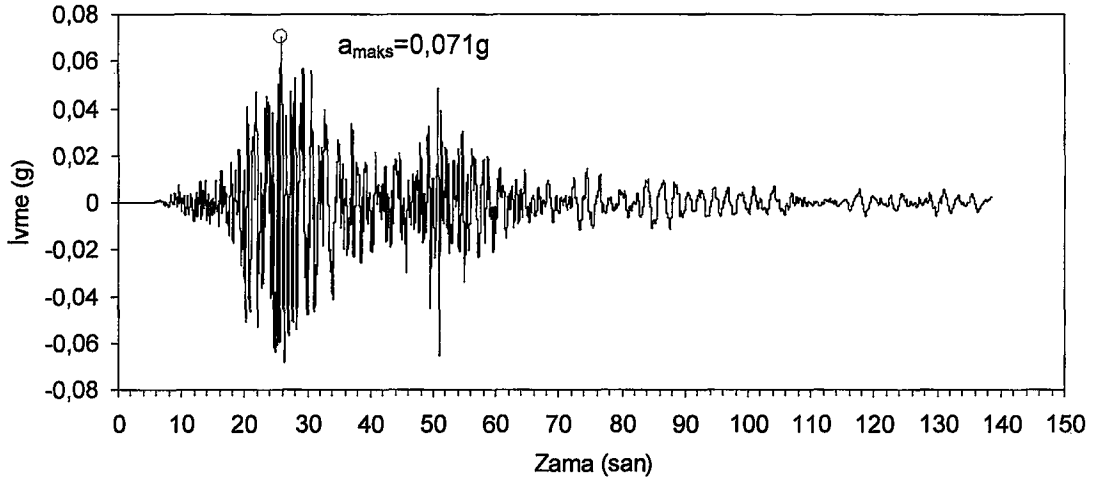
EK-5 : BURSA İL MERKEZİ ZEMİN YÜZEYİ İÇİN ELDE EDİLEN YATAY İVME DEĞERLERİ

EK-5-1: 1 ve 2 nolu sondaj kuyuları için elde edilen yatay yüzey ivme değerleri

Kuyu No: 1

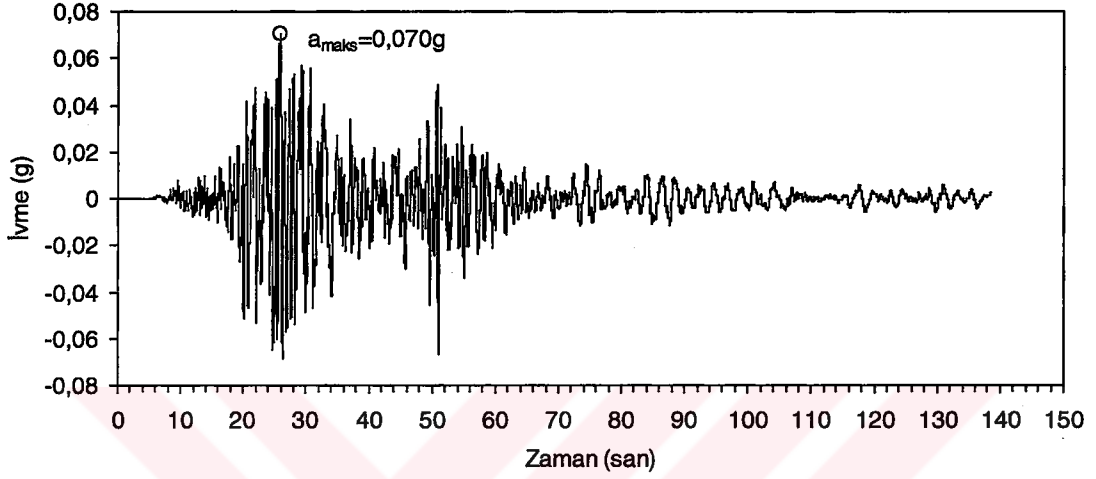


Kuyu No: 2

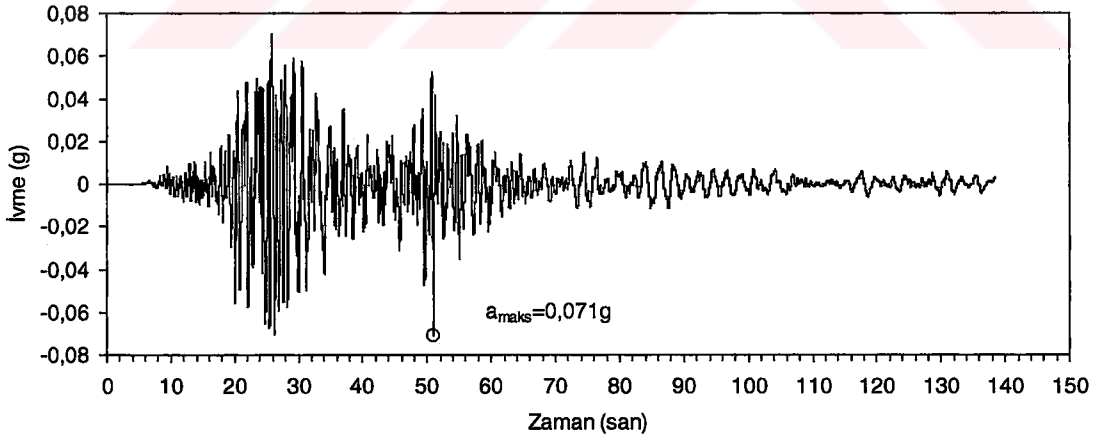


EK-5 - 2: 3 ve 4 nolu sondaj kuyuları için elde edilen yatay yüzey ivme değerleri

Kuyu No: 3

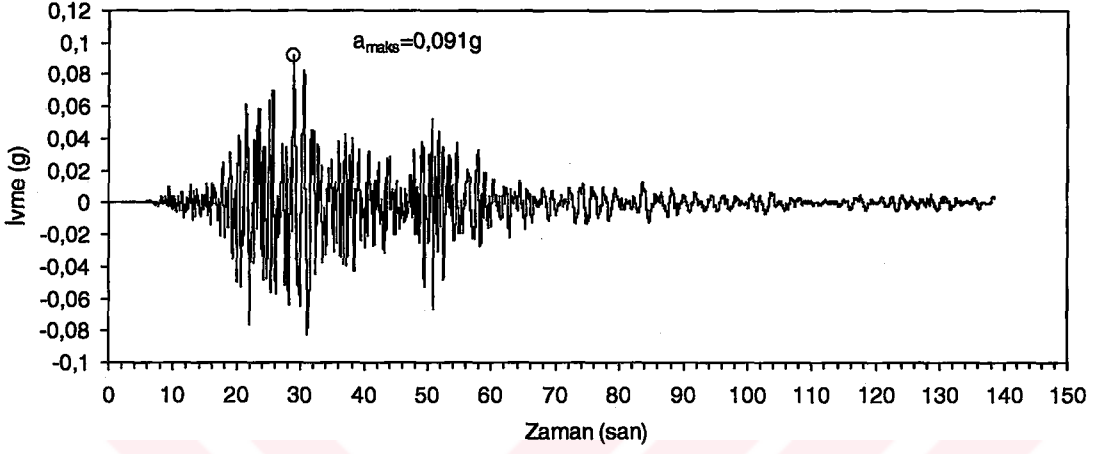


Kuyu No: 4

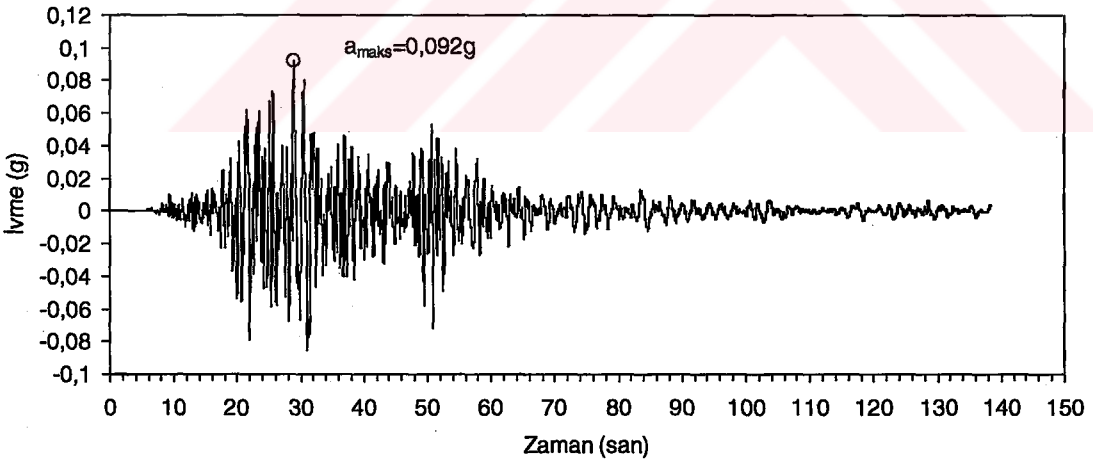


EK-5 - 3: 5 ve 6 nolu sondaj kuyuları için elde edilen yatay yüzey ivme değerleri

Kuyu No: 5

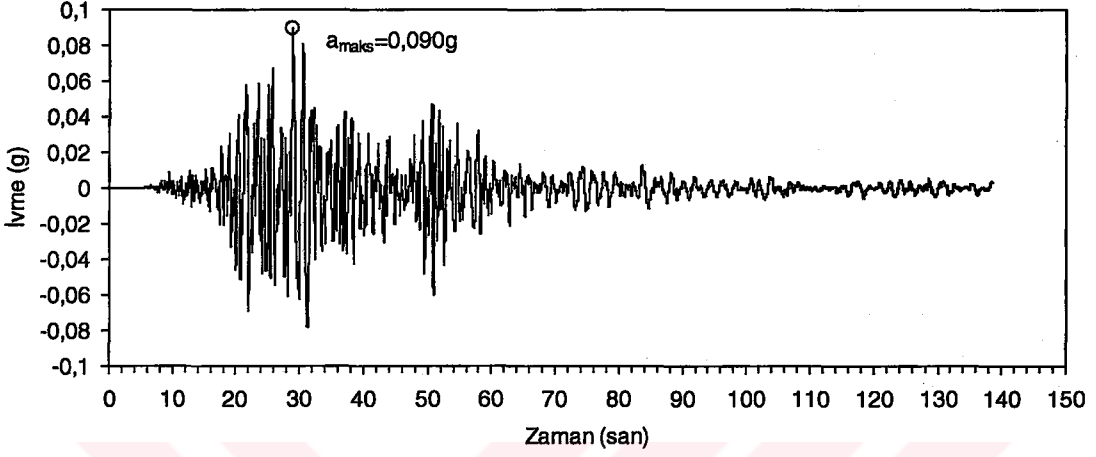


Kuyu No: 6

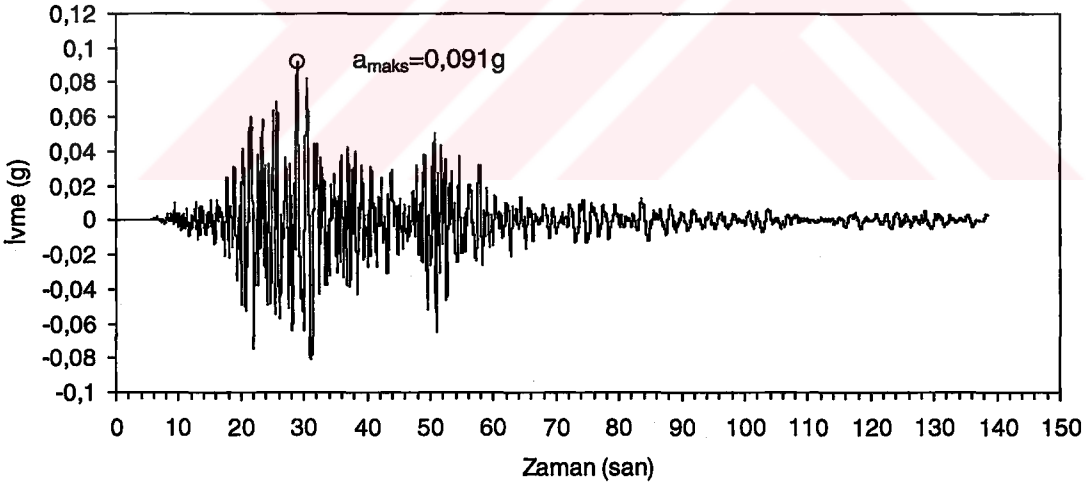


EK-5 - 4: 7 ve 8 nolu sondaj kuyuları için elde edilen yatay yüzey ivme değerleri

Kuyu No:7

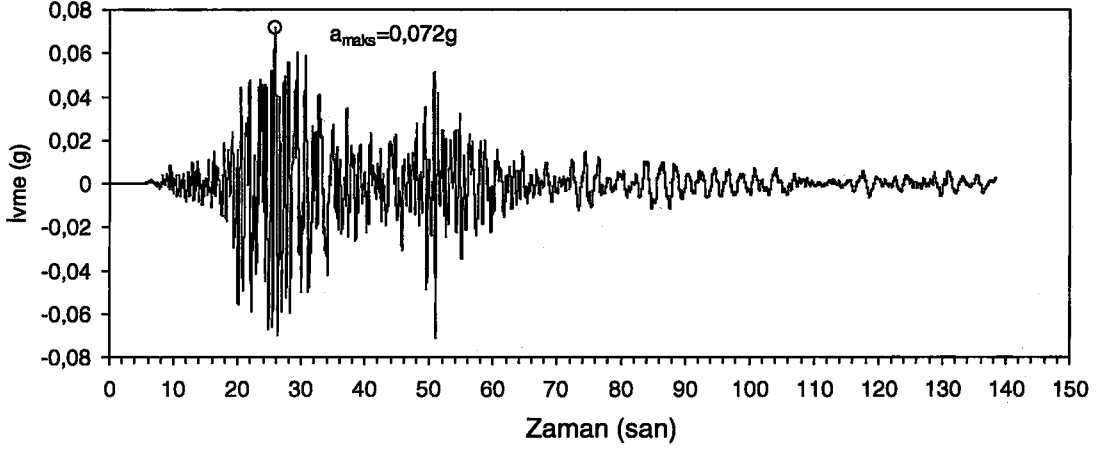


Kuyu No: 8

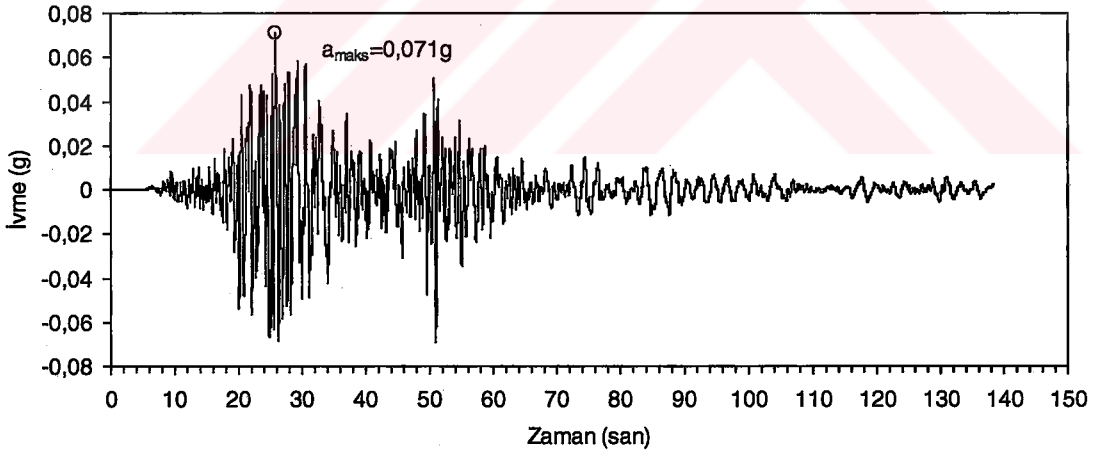


EK-5-5: 9 ve 10 nolu sondaj kuyuları için elde edilen yatay yüzey ivme değerleri

Kuyu No: 9

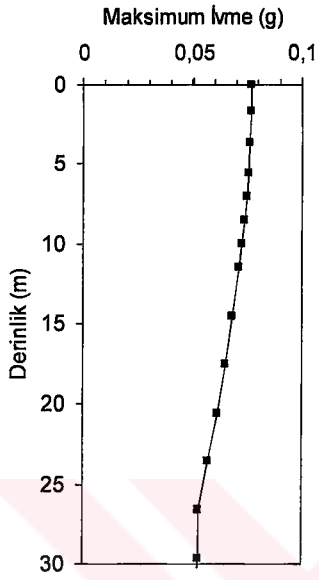


Kuyu No: 10

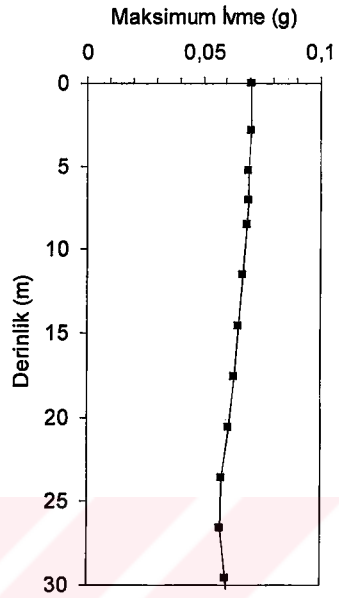


EK-6 : YATAY İVMELERİN DERİNLİKLE DEĞİŞİM GRAFİKLERİ

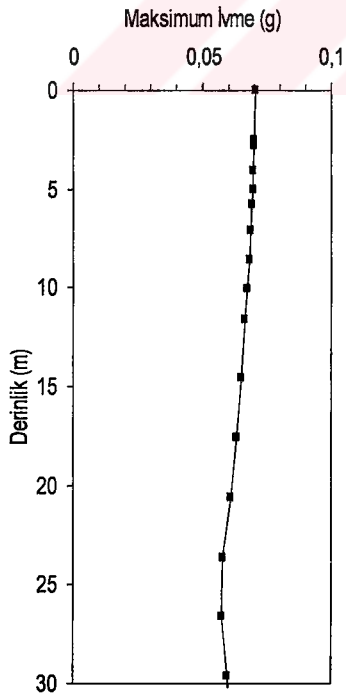
Kuyu No: 1



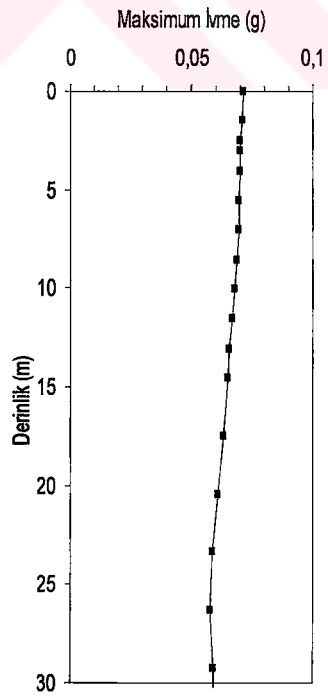
Kuyu No: 2



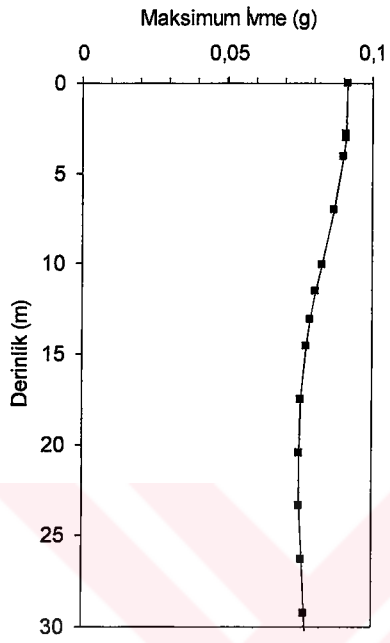
Kuyu No: 3



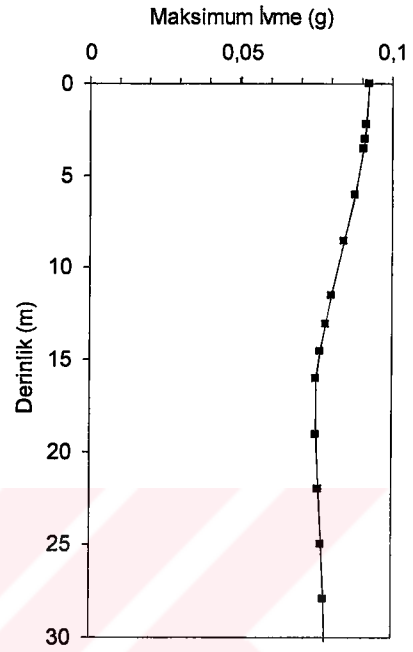
Kuyu No: 4



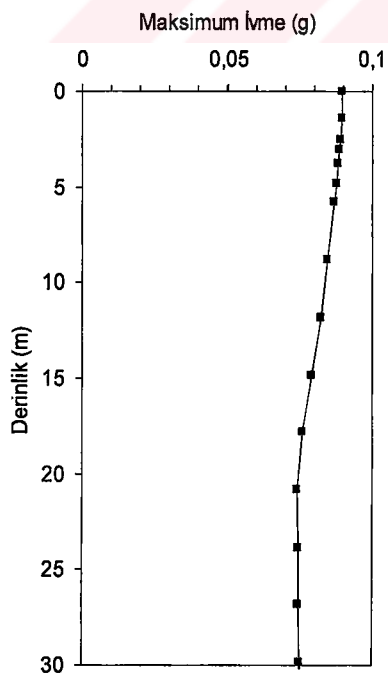
Kuyu No: 5



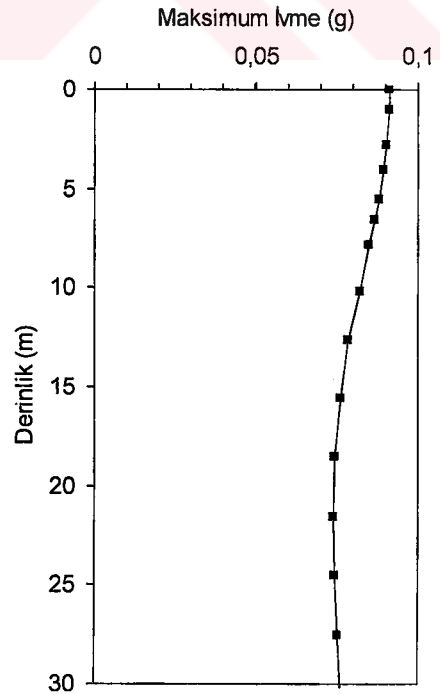
Kuyu No: 6



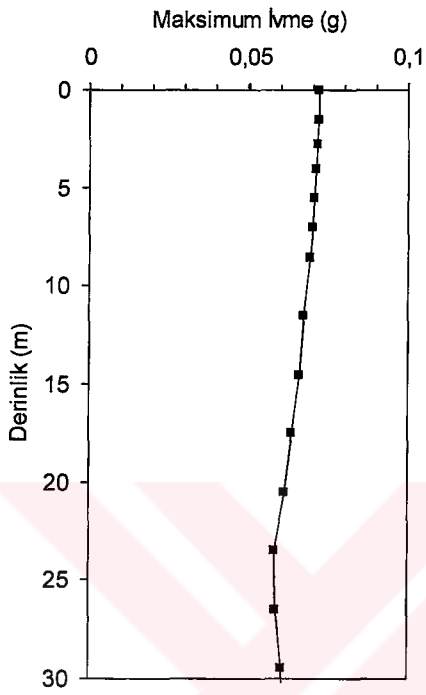
Kuyu No: 7



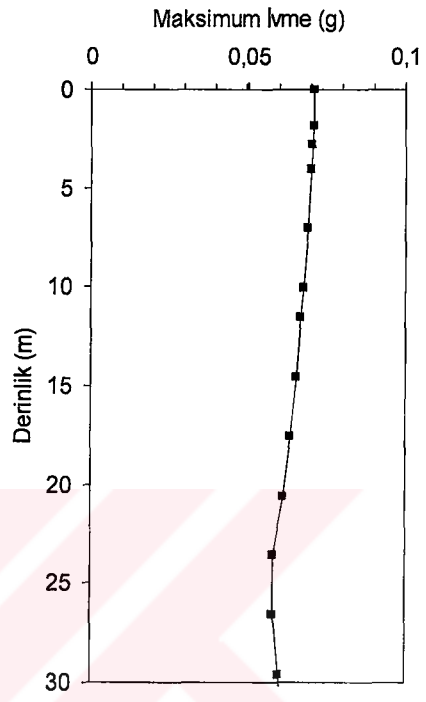
Kuyu No: 8



Kuyu No: 9



Kuyu No: 10



EK-7. SIVILAŞMA VE OTURMA ANALİZLERİ İÇİN GİRİLEN

GENEL VERİLER.

Ölçüm Yapılan Sondaj Kuyu Sayısı:

23

Her kuyuda 40 ölçüm değeri için satır bırakılmıştır.
Eğer kuyuda yapılan ölçüm sayısı 40 dan az ise ölçüm sayısı kadar hücreye
değer giriniz. Diğer hücreleri boş bırakınız.

(Hücrelere en üstteki hücreden başlayarak veri giriniz. Boş kalan hücreleri altta bırakınız.)

Not :

Sarı renkli hücrelere değer girilecek, mavi hücrelerde ise sıvılaşma analizi sonucu görülecektir.
Hesaplama yapılan hücrelerin içeriğinde herhangi bir değişiklik yapılmamalıdır.

Su Bha. (t/m^3)	1,0
M	7,5
g (m/s^2)	9,81
a_{max} / g	0,4
a_{max} (m/s^2)	3,92

P_a (t/m^2) 10,0

EK- 8 : SIVILAŞMA ANALİZLERİ

EK-8-1 : 1 ve 2 nolu sondaj kuyuları için sivilaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		1		YS-18		Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	5	Ölçüm No:	1				4,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Su Derinliği:	1,70	Ölçüm No:	2				6,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3				7,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4				9,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5				10,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,000								
X	Y								
427312,19	445234,45								
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		2		YS-30		Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1				2,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Su Derinliği:	5,25	Ölçüm No:	2				3,30	1,51	GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3				4,80	1,21	GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4				6,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5				7,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,007	Ölçüm No:	6				9,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y	Ölçüm No:	7				10,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
429675,76	4452388,71	129,70							

EK-8-2 : 3 ve 4 no.lu sondaj kuyuları için sivilaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		3		YS-53		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30					(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Su Derinliği:	2,50	Ölçüm No:	2					3,30					(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80					(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4				UD	5,25					
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30					(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,000	Ölçüm No:	6					7,80					(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30	0,81				SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
422822,10	4452697,10	Ölçüm No:	8					10,80	0,81				SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
ANALİZ SONUÇLARI													
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		4		YS-60		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	10	Ölçüm No:	1					2,30					0,68 SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Su Derinliği:	1,50	Ölçüm No:	2				UD	2,75					
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					3,30					(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					4,80	0,80				SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30					(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,139	Ölçüm No:	6					7,80	0,52				SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30					(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
422939,32	445887,72	Ölçüm No:	8					10,80	0,42				SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
		Ölçüm No:	9					12,30					(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
		Ölçüm No:	10					13,80					(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR

EK-8-3 : 5 ve 6 nolu sondaj kuyuları için sıvılaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		5	YS-61	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	9	Ölçüm No:	1		2,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Su Derinliği:	3,00	Ölçüm No:	2		3,30	0,77	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3		4,80	0,80	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4	UD	6,25		
Analizde Kullanılan a_{max}	3,92	Ölçüm No:	5		7,80	0,62	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m) =$	0,146	Ölçüm No:	6		9,30	0,54	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
X	Y	Ölçüm No:	7		10,80	0,71	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
425856,43	4456061,32	Ölçüm No:	8		12,30	0,93	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
		Ölçüm No:	9		13,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Ölçüm Yapılan Kuyu No:							
Ölçüm Sayısı:		12	Ölçüm No:	1	2,75		ANALİZ SONUÇLARI
Su Derinliği:	2,20	Ölçüm No:	2	UD	3,30		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3	UD	3,75		
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4		4,80	0,35	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Analizde Kullanılan a_{max}	3,92	Ölçüm No:	5	UD	5,25		
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m) =$	0,139	Ölçüm No:	6		6,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y	Ölçüm No:	7		7,80	0,31	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
42540,63	4453090,39	Ölçüm No:	8		9,30		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
		Ölçüm No:	9		10,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
		Ölçüm No:	10		12,30	0,59	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
		Ölçüm No:	11		13,80	0,58	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
		Ölçüm No:	12		15,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR

EK-8-4 : 7 ve 8 nolu sondaj kuyuları için sivilaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		7		YS-63		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	5	Ölçüm No:	1					2,30				(N ₁) _{60cs} >= (%50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI	
Su Derinliği:	1,40	Ölçüm No:	2			UD		2,75					
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					3,30		0,81		SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR	
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					4,30				(N ₁) _{60cs} (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Analizde Kullanılan a _{max}	3,92	Ölçüm No:	5			UD		5,25					
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,008												
X	Y	Z											
422597,40	4453323,98	104,80											
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		8		YS-64		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30		0,86		SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR	
Su Derinliği:	1,00	Ölçüm No:	2					3,30		0,66		SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR	
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80		0,54		SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR	
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					6,30		1,06		GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR	
Analizde Kullanılan a _{max}	3,92	Ölçüm No:	5			UD		6,75					
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,074	Ölçüm No:	6					8,80		0,74		SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR	
X	Y	Z						10,30				(N ₁) _{60cs} (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
425189,37	4455039,32	93,035						11,80				(N ₁) _{60cs} (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	

EK-8-5 : 9 ve 10 nolu sondaj kuyuları için sivilaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		9		YS-67	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1			2,30	0,59	SIVILAŞMA RISKİ VARDIR
Su Derinliği:	1,55	Ölçüm No:	2			3,30	0,57	SIVILAŞMA RISKİ VARDIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3	UD		4,75		
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4			6,30		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5			7,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m) =$	0,125	Ölçüm No:	6			9,30	0,60	SIVILAŞMA RISKİ VARDIR
X	Y	Ölçüm No:	7			10,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
425306,07	4454573,79	95,274						
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		10		YS-70	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1			2,30		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Su Derinliği:	1,85	Ölçüm No:	2			3,30	1,03	GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RISKİ YOKTUR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			4,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4			6,30		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5			7,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m) =$	0,006	Ölçüm No:	6			9,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y	Ölçüm No:	7			10,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
424005,76	4454660,59	91,385						

EK-8-6 : 11 ve 12 nolu sondaj kuyuları için sıvılaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		11		YS-115		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30				(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI	
Su Derinliği:	2,70	Ölçüm No:	2					3,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			UD		3,75					
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					4,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Analizde Kullanılan a_{maks} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,000	Ölçüm No:	6					7,80				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
425379,89	4452855,79	Ölçüm No:	8					10,80				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		12		YS-73		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30					
Su Derinliği:	5,40	Ölçüm No:	2					3,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			UD		3,75					
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					4,80		1,95		GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RISKİ YOKTUR	
Analizde Kullanılan a_{maks} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,000	Ölçüm No:	6					7,80				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	
421754,77	4449166,17	Ölçüm No:	8					10,80				(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR	

EK-8-7 : 13 ve 14 nolu sondaj kuyuları için sivişma analizleri

Ölüm Yapılan Kuyu No: 13		YS-75	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölüm Sayısı:	6	Ölüm No:		2,30		
Su Derinliği:	4,60	Ölüm No:		3,30	0,73	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölüm No:		4,90	1,26	GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölüm No:		6,30		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölüm No:		7,90		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\sum\Delta H(m)$ =	0,035	Ölüm No:		10,80		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y					
422694,37	4449418,69					
Ölüm Yapılan Kuyu No: 14		YS-76	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölüm Sayısı:	8	Ölüm No:		2,30		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Su Derinliği:	2,85	Ölüm No:		2,75		
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölüm No:	UD	3,30		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölüm No:		4,90		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölüm No:		6,30		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\sum\Delta H(m)$ =	0,000	Ölüm No:		7,80		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y			9,30		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
421246,47	4449226,92			10,80		(NT)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR

EK-8-8 : 15 ve 16 nolu sondaj kuyuları için sivilaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		15		YS-80	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1			2,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Su Derinliği:	6,80	Ölçüm No:	2		UD	2,75		
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			3,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4			4,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5			6,30		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,000	Ölçüm No:	6			7,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
X	Y	Ölçüm No:	7			9,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
423131,43	4449756,77							
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		16		YS-83	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1			2,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Su Derinliği:	6,20	Ölçüm No:	2			3,30		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			4,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4			6,30	1,29	GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5			7,50		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,005	Ölçüm No:	6			9,30	1,65	GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
X	Y	Ölçüm No:	7			10,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
423646,26	4449436,77							

EK-8-10 : 19 ve 20 nolu sondaj kuyuları için sıvılaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		19		NS-39		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	3	Ölçüm No:	1	UD		1,75							
Su Derinliği:	4,00	Ölçüm No:	2			6,30				1,56			GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
Kuyu İçin Ön Görülen Yüzey İyme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	3			7,80							
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92												
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m) =$	0,004												
X	Y												
4460090	409357												
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		20		NS-109		Açıklama		Derinlik (m)		GF		ANALİZ SONUÇLARI	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1			4,80							(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Su Derinliği:	4,10	Ölçüm No:	2			6,30							(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Kuyu İçin Ön Görülen Yüzey İyme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	3			7,80							(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	4			9,10							(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
Toplam Oturma $\Sigma\Delta H(m) =$	0,002	Ölçüm No:	5			10,80				1,37			GF>1 OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA RİSKİ YOKTUR
X	Y	Ölçüm No:	6			11,10							(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
4450435	412458	Ölçüm No:	7			12,60							(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
		Ölçüm No:	8			15,10							(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR

EK-8-11 : 21 ve 22 nolu sondaj kuyuları için sıvılaşma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		21		NS-111	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1			4,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Su Derinliği:	5,30	Ölçüm No:	2			6,30	0,76	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			7,80	0,77	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4			9,30	0,76	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5			10,80	0,68	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Toplam Ötürme $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,110	Ölçüm No:	6			11,80		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y	Ölçüm No:	7			12,10		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
4450177	412191							
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		22		NS-112	Açıklama	Derinlik (m)	GF	ANALİZ SONUÇLARI
Ölçüm Sayısı:	6	Ölçüm No:	1			4,80		(-No.200 >= %50) OLDUĞUNDAN SIVILAŞMA ANALİZİ YAPILMADI
Su Derinliği:	5,10	Ölçüm No:	2			6,30	0,59	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			7,80	0,50	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4			9,30	0,47	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Analizde Kullanılan a_{max} :	3,92	Ölçüm No:	5			10,80	0,83	SIVILAŞMA RİSKİ VARDIR
Toplam Ötürme $\Sigma\Delta H(m)$ =	0,141	Ölçüm No:	6			12,10		(N1)60cs (DÜZELTİLMİŞ SPT-N) DEĞERİ SIVILAŞMA SINIRI DIŞINDADIR
X	Y							
4450230	412740							

EK-9:OTURMA ANALİZLERİ

EK-9-1: 1 ve 2 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		1		YS-18		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	5	Ölçüm No:	1					4,80												
Su Derinliği:	1,70	Ölçüm No:	2					6,30												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					7,80												
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					9,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					10,80												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000																			
X	Y																			
427312,19	4452234,45																			
										Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,000										
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		2		YS-30		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	5,25	Ölçüm No:	2					3,30		1,25		29		1,51		0,14				0,002
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80		1,50		26		1,21		0,31				0,005
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					6,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					7,80												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,007	Ölçüm No:	6					9,30												
X	Y							10,80												
429675,76	4452388,71																			
										Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,007										

EK-9-2: 3 ve 4 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		3		YS-53		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	2,50	Ölçüm No:	2					3,30												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80												
Yüzey İvrme Oranı (e/g):		Ölçüm No:	4			UD		5,25												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000	Ölçüm No:	6					7,80												
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30							0,81		0,00		0,000	
422822,10	4452697,10	Ölçüm No:	8					10,80							0,81		0,00		0,000	
																		Toplam Oturma Miktarı (m) =		0,000
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		4		YS-60		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	10	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	1,50	Ölçüm No:	2			UD		2,75												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					3,30												
Yüzey İvrme Oranı (e/g):		Ölçüm No:	4					4,80												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,139	Ölçüm No:	6					7,80												
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30												
422939,32	445887,72	Ölçüm No:	8					10,80												
		Ölçüm No:	9					12,30												
		Ölçüm No:	10					13,80												
																		Toplam Oturma Miktarı (m) =		0,139

EK-9-3: 5 ve 6 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		5			YS-61			Tabaka		Öturma	
Ölçüm Sayısı:	Ölçüm No:	Derinlik (m)	Açıklama	(N _i) ₆₀₋₉₀	GF	ε _v (%)	Öturma Miktarı (m)				
9	3,00	2,30		19	0,77	2,06	0,026				
Su Derinliği:		3,30		23	0,80	1,39	0,020				
Kuyu için Ön Görülen Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		4,80	UD	21	0,62	2,08	0,032				
Analizde Kullanılan a _{max} :		6,25		19	0,54	2,30	0,035				
Toplam Oturma ΣΔH(m) =		7,80		24	0,71	1,56	0,023				
X	Y	10,80		28	0,93	0,65	0,010				
425856,43	4456061,32	12,30		Toplam Oturma Miktarı (m) =			0,146				
		13,80									
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		6			YS-62			Tabaka		Öturma	
Ölçüm Sayısı:	Ölçüm No:	Derinlik (m)	Açıklama	(N _i) ₆₀₋₉₀	GF	ε _v (%)	Öturma Miktarı (m)				
12	2,20	2,75	UD	11	0,35	3,33	0,025				
Su Derinliği:		3,30		11	0,31	3,33	0,050				
Kuyu için Ön Görülen Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		3,75	UD	21	0,59	2,10	0,032				
Analizde Kullanılan a _{max} :		4,80		20	0,58	2,20	0,033				
Toplam Oturma ΣΔH(m) =		5,25		Toplam Oturma Miktarı (m) =			0,139				
X	Y	6,30									
42540,63	4453090,39	7,80									
		9,30									
		10,80									
		12,30									
		13,80									
		15,30									

EK-9-4: 7 ve 8 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Sayısı:		5	Ölçüm No:	1	YS-63	Açıklama	Derinlik (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	(N ₁) _{60-ss}	GF	ε _v (%)	Oturma Miktarı (m)
Su Derinliği:		1,40	Ölçüm No:	2								
Kuyu İçin Ön Görülen			Ölçüm No:	3			3,30	0,78	26	0,81	1,05	0,008
Yüzey İvme Oranı (a/g) :			Ölçüm No:	4			4,30					
Analizde Kullanılan a _{max} :		3,92	Ölçüm No:	5		UD	5,25					
Toplam Oturma ΣΔH(m) =		0,008										
X	Y	Z										
422597,40	4453323,98	104,80										
Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,008												
Ölçüm Sayısı:		8	Ölçüm No:	1	YS-64	Açıklama	Derinlik (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	(N ₁) _{60-ss}	GF	ε _v (%)	Oturma Miktarı (m)
Su Derinliği:		1,00	Ölçüm No:	2								
Kuyu İçin Ön Görülen			Ölçüm No: <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>4,80</td> <td>1,25</td> <td>24</td> <td>0,66</td> <td>1,68</td> <td>0,021</td>	3			4,80	1,25	24	0,66	1,68	0,021
Yüzey İvme Oranı (a/g) :			Ölçüm No: <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>6,30</td> <td>1,50</td> <td>22</td> <td>0,54</td> <td>2,02</td> <td>0,030</td>	4			6,30	1,50	22	0,54	2,02	0,030
Analizde Kullanılan a _{max} :		3,92	Ölçüm No: <td>5</td> <td></td> <td>UD</td> <td>6,75</td> <td>0,98</td> <td>30</td> <td>1,06</td> <td>0,37</td> <td>0,004</td>	5		UD	6,75	0,98	30	1,06	0,37	0,004
Toplam Oturma ΣΔH(m) =		0,074	Ölçüm No: <td>6</td> <td></td> <td></td> <td>8,80</td> <td>1,78</td> <td>28</td> <td>0,74</td> <td>1,07</td> <td>0,019</td>	6			8,80	1,78	28	0,74	1,07	0,019
X	Y	Z	Ölçüm No: <td>7</td> <td></td> <td></td> <td>10,30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	7			10,30					
425189,37	4455099,32	93,035	Ölçüm No: <td>8</td> <td></td> <td></td> <td>11,80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	8			11,80					
Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,074												

EK-9-5: 9 ve 10 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		9		YS-67		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N _i) _{60-ccs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1					2,30		2,80		17		0,59		2,51		0,070		
Su Derinliği:	1,55	Ölçüm No:	2					3,30		1,23		19		0,57		2,30		0,028		
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3			UD		4,75												
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					6,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					7,80												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,125	Ölçüm No:	6					9,30		1,50		24		0,60		1,79		0,027		
X	Y	Ölçüm No:	7					10,80												
425306,07	4454573,79																			
										Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,125
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		10		YS-70		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N _i) _{60-ccs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	1,85	Ölçüm No:	2					3,30		1,25		28		1,03		0,48		0,006		
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80												
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					6,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					7,80												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,006	Ölçüm No:	6					9,30												
X	Y	Ölçüm No:	7					10,80												
424005,76	4454660,59																			
										Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,006

EK-9-6: 11 ve 12 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		11		YS-115		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60SS}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30											
Su Derinliği:	2,70	Ölçüm No:	2					3,30											
Kuyu İçin Ön Görülen Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	3			UD		3,75											
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	4					4,30											
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000	Ölçüm No:	5					6,30											
X	Y	Ölçüm No:	6					7,80											
425379,89	4452855,79	Ölçüm No:	7					9,30											
		Ölçüm No:	8					10,80											
										Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,000									
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		12		YS-73		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60SS}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)	
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30											
Su Derinliği:	5,40	Ölçüm No:	2					3,30											
Kuyu İçin Ön Görülen Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	3			UD		3,75											
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	4					4,80											
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000	Ölçüm No:	5					6,30											
X	Y	Ölçüm No:	6					7,80											
421754,77	4449166,17	Ölçüm No:	7					9,30											
		Ölçüm No:	8					10,80											
										Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,000									

EK-9-7: 13 ve 14 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		13		YS-75		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N _t) _{60-ss}		GF		ε _t (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	6	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	4,60	Ölçüm No:	2					3,30		1,25		17	0,73	2,43	0,030					
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80		1,50		27	1,26	0,27	0,004					
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					6,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					7,80												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,035	Ölçüm No:	6					10,80												
X	Y	Z																		
422694,37	4449418,69	335,982																		
Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,035										
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		14		YS-76		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N _t) _{60-ss}		GF		ε _t (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	2,85	Ölçüm No:	2			UD		2,75												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					3,30												
Yüzey İvme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					4,80												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000	Ölçüm No:	6					7,80												
X	Y	Z						9,30												
421246,47	4449226,92	358,305						10,80												
Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,000										

EK-9-7: 15 ve 16 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		15		YS-80		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	6,80	Ölçüm No:	2			UD		2,75												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					3,30												
Yüzey İyeme Oranı (a/g):		Ölçüm No:	4					4,80												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					6,30												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000	Ölçüm No:	6					7,80												
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30												
423131,43	4449756,77																			
Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,000										
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		16		YS-83		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	6,20	Ölçüm No:	2					3,30												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80												
Yüzey İyeme Oranı (a/g):		Ölçüm No:	4					6,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					7,50												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,005	Ölçüm No:	6					9,30												
X	Y	Ölçüm No:	7					10,80												
423646,26	4449436,77																			
Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,005										

EK-9-9: 17 ve 18 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		17		YS-107		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N ₁) _{60-ss}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1					2,30												
Su Derinliği:	3,15	Ölçüm No:	2					3,30												
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					4,80												
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					6,30	1,50			23	0,75		1,58				0,024	
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					7,80												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,037	Ölçüm No:	6			UD		8,25												
X	Y	Ölçüm No:	7					9,30	1,28			26	0,80		1,08				0,014	
420639,39	4449582,02	Ölçüm No:	8					10,80	1,50			31	0,85		0,00				0,000	
												Toplam Oturma Miktarı (m) =						0,037		
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		18		NS-38		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N ₁) _{60-ss}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	5	Ölçüm No:	1					1,75												
Su Derinliği:	4,20	Ölçüm No:	2					6,30	3,03			31	1,06		0,00				0,000	
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3					7,80												
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4					9,30												
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5					10,60												
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,000																			
X	Y																			
4460491	410011																			
												Toplam Oturma Miktarı (m) =						0,000		

EK-9-10: 19 ve 20 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		19		NS-39		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	3	Ölçüm No:	1	UD	1,75															
Su Derinliği:	4,00	Ölçüm No:	2		6,30										1,56		0,12		0,004	
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3		7,80															
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :																				
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92																			
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,004																			
X	Y	Z																		
4460090	409357	81,70																		
										Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,004										
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		20		NS-109		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka		(N ₁) _{60cs}		GF		ε _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	8	Ölçüm No:	1		4,80															
Su Derinliği:	4,10	Ölçüm No:	2		6,30															
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:	3		7,80															
Yüzey İvrme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:	4		9,10															
Analizde Kullanılan a _{max} :	3,92	Ölçüm No:	5		10,80															
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,002	Ölçüm No:	6		11,10															
X	Y	Z			12,60															
4450435	412458	153,00			15,10															
										Toplam Oturma Miktarı (m) = 0,002										

EK-9-11: 21 ve 22 nolu sondaj kuyuları için oturma analizleri

Ölçüm Yapılan Kuyu No:		21		NS-111		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N ₁) _{60cs}		GF		e _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	7	Ölçüm No:		1				4,80												
Su Derinliği:	5,30	Ölçüm No:		2				6,30		1,50		19		0,76		2,10		0,031		
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:		3				7,80		1,50		21		0,77		1,76		0,026		
Yüzey İyme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:		4				9,30		1,50		22		0,76		1,67		0,025		
Analizde Kullanılan a _{max}	3,92	Ölçüm No:		5				10,80		1,25		20		0,68		2,17		0,027		
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,110	Ölçüm No:		6				11,80												
X	Y	Ölçüm No:	Z	7				12,10												
4450177	412191	157,50																		
										Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,110
Ölçüm Yapılan Kuyu No:		22		NS-112		Açıklama		Derinlik (m)		Tabaka Kalınlığı (m)		(N ₁) _{60cs}		GF		e _v (%)		Oturma Miktarı (m)		
Ölçüm Sayısı:	6	Ölçüm No:		1				4,80												
Su Derinliği:	5,10	Ölçüm No:		2				6,30		1,50		15		0,59		2,71		0,041		
Kuyu İçin Ön Görülen		Ölçüm No:		3				7,80		1,50		14		0,50		2,81		0,042		
Yüzey İyme Oranı (a/g) :		Ölçüm No:		4				9,30		1,50		14		0,47		2,81		0,042		
Analizde Kullanılan a _{max}	3,92	Ölçüm No:		5				10,80		1,40		24		0,83		1,14		0,016		
Toplam Oturma ΣΔH(m) =	0,141	Ölçüm No:	Z	6				12,10												
X	Y	Ölçüm No:	Z																	
4450230	412740	150,00																		
										Toplam Oturma Miktarı (m) =										0,141

EK-10 :ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarih : 08 Ocak 1978
Doğum Yeri : Bursa

Öğrenim

Eğitim Derecesi	Okul	Mezuniyet Tarihi
İlk Okul	Seymen Köyü ilkokulu	09.1988
Orta Okul	Bursa Erkek Lisesi	09.1991
Lise	Bursa Atatürk Lisesi	09.1995
Ön Lisans	Uludağ Üniversitesi B. M. Y. Okulu Sigortacılık Programı	16.06.1997
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Böl.	04.07.2001
Yüksek Lisans	Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. İnşaat Müh. Ana. Bil. Dal. Geoteknik Programı	25.09.2003

Bulunduğu Görevler

Görevi	Kurumu	Tarihler
Araştırma Görevlisi	Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Böl.	Kasım 2001 –

EK-11 : TANITICI BILGI

Bu tez kapsamında, Bursa il merkezinin sıvılaşma olasılığı bulunan bir kısım zeminlerinde deprem hareketini büyütme özelliği, sıvılaşma riski ve kumlu zeminlerde meydana gelebilecek oturmalar analiz edilmeye çalışılmıştır.

Analizlerde bu yöre çevresinde meydana gelen 17 Ağustos 1999 deprem ivme kayıtları esas alınmıştır. Bursa il merkezi taban kayası yüzeyinde oluşacak maksimum yatay ivmeler, P. Spudich, J.B. Fletcher et al, (1997), tarafından önerilen sönümlenme ilişkileri kullanılarak belirlenmiştir. Sönümlenme ilişkilerinde, zemin yapısından dolayı Kocaeli-Gebze (GBZ) istasyonundaki ivme kayıtları kaynak veri olarak alınmıştır. Bursa 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 bir boyutlu eşdeğer-doğrusal zemin davranış modelinin esasları Bölüm 3. de verilmektedir.

Depremler sırasında sismik dalgalar zeminde ilerlerken tekrarlı ve birbirine göre ters yönde kuvvet çiftleri (kayma gerilmesi) yaratarak, daneleri boşluk hacmini küçültecek şekilde yer değiştirmeye zorlar. Bu tekrarlı hareketler çok kısa sürelerde yön 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. CRR nin belirlenmesi için arazi deneylerine dayanan çeşitli korelasyonlar geliştirilmiştir. Bu tezde, sıvılaşma analizleri esas olarak NCEER – 1997'nin önerdiği SPT-N korelasyonlarına dayanmaktadır. Ancak ince malzeme (-No.200) oranının %35< (-No 200) <%45 olduğu durumlar için Seed and De Alba (1986), Seed and Harder (1990)'nın önerdikleri yöntemlerden yararlanılmıştır. Zeminin plastiklik indeksinin, $I_p > %5$ olması durumunda ise Seed et al, (1990), Ishihara et al, (1992) geliştirdikleri yöntemlerden yararlanılmıştır.

Deprem etkisi ile zeminde oluşan gerilmelerden dolayı, kumlu zeminlerde sıkılaşımlar oluşur. Bursa il merkezi zeminlerinde deprem etkisi ile oluşacak sıkılaşımları (oturmaları) tahmin etmek için, G_f (sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü) ve SPT-N değerine (veya CPT veya Sıklık-Dr değerine) bağlı olarak Ishihara and Yoshimine (1992) 'nin geliştirdikleri yöntem kullanılmıştır.

Bu yöntem ile G_F ve SPT-N değer çiftlerine karşılık gelen deformasyon oranı (ϵ) belirlenerek oturmalar tahmin edilebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen sıvılaşma ve oturma analizleri, ekler kısmında verilen ve bu tez çalışması için oluşturulan bir Excell programı ile yapılmıştır.



EK – 12 : TEZİN CD'DE KAYITLI BİR ÖRNEĞİ VE TEZ'DE KULLANILAN BİLGİSAYAR
PROGRAMLARI

