

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOTEKNİK BİLİM DALI**

**TABAN KAYASI TOPOĞRAFYASININ (EĞİMİNİN) DİNAMİK
ZEMİN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ VE ÖRNEK BİR DİNAMİK
ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ**

Büşra ÖZ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ender BAŞARI**



MANİSA-2018



Büşra ÖZ

**TABAN KAYASI TOPOĞRAFYASININ (EĞİMLİNİN) DİNAMİK ZEMİN
DAVRANIŞLARINA ETKİSİ VE ÖRNEK BİR DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ**

2018

TEZ ONAYI

Büşra ÖZ tarafından hazırlanan **TABAN KAYASI VE TOPOĞRAFYASININ (EĞİMİNİN) DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ VE ÖRNEK BİR DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ** adlı tez çalışması 01.03.2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak **başarı** ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ender BAŞARI
Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Seda DURUKAN
Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Devrim ERDOĞAN
Ege Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Büşra ÖZ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ.....	10
2. GENEL BİLGİLER.....	12
2.1. Yerel Zemin Koşullarının Deprem Hareketi Üzerindeki Etkisi Ve Zemin Davranış Analizleri	12
2.1.1. Zemin Davranışı ve Sarsma Şiddeti	13
2.1.2. Zemin Tabakalarında Oturmalar	13
2.1.3. Zemin Tabakalarının Sıvılaşması.....	13
2.1.4. Toprak Kaymaları ve Şev Stabilitesi.....	14
2.1.5. Anakaya Eğimi ve Topoğrafyanın Zemin Büyütmesine Etkisi	15
2.2. Mexico City, 1985	16
2.3. San Francisci Körfez Bölgesi, 1989.....	19
2.4. Zemin Davranış Analizleri	21
2.4.1. Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri	24
2.4.2. İki Boyutlu Zemin Davranış Analizleri	25
2.4.3. Üç Boyutlu Yer Tepki Analizi	26
2.5. İnceleme Alanının Jeolojik ve Geoteknik Özellikleri.....	27
2.5.1. Genel Jeoloji	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Materyal	33
3.1.1. Analizlerde Kullanılan Zemin (Malzeme) Parametreleri.....	33
3.1.2. Anakaya Seviyesinde Girilen Yer Hareketleri	37
3.2. Yöntem	38
3.2.1 Bir Boyutlu Dinamik Zemin Davranış Analizleri.....	38
3.2.1.1 Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım	39
3.2.2. Doğrusal Olmayan Gerilme-Deformasyon Analizi İçin Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım.....	41
3.2.2.1 Sönüm.....	44
3.2.3. Non-linear Analiz	45
3.2.3.1 Bir Boyutlu Sonlu Elemanlar ile Analizler	46
3.2.3.2 İki Boyutlu Sonlu Elemanlar ile Analizler	46
3.2.3.2.1 Sonlu elemanlar Yöntemi ve Plaxis	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Araştırma ve Analiz Bulguları	51
4.2. Tartışma	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	60
EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V_s	Kayma dalgası hızı
ρ	Zemin yoğunluğu
γ	Birim hacim ağırlık
γ°	Kayma deformasyonu değişim oranı
ξ	Sönüm oranı
τ	Kayma gerilmesi
η	Viskozite
G	Kayma modülü
c	Viskoz sönümleme
u	Yer değiştirme
f	Frekans
T	Periyot
G_s	Sekant kayma modülü
τ_c	Kayma gerilmesi genliği
γ_c	Şekil değiştirme genliği
W_D	Yutulan enerji
W_s	Maksimum deformasyon enerjisi
Ω	Açısal frekans
SPT(N)	Standart Penetrasyon Deneyi Darbe Sayısı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ψ	Dilatasyon açısı
$[M]$	Kütle Matrisi
$[C]$	Sönüm Matrisi
$[K]$	Rijitlik Matrisi
E_{50}^{ref}	Standart üç eksenli deneydeki sekant modülü

UNAM	Universidad Nacional de Mexico
SCT	Secretary of Communications and Transportation
MC	Mohr-Coulomb
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bard ve Bouchon (1980 a)'un araştırmasında kullanılan vadi geometri.....	15
Şekil 2.2. Mexico City'de kuvvetli hareket cihazları ve jeoteknik şartlar: (a) kuvvetli hareket cihazlarının Foothill, Geçiş ve Göl kuşaklarına göre konumu;(b) yumuşak zeminin kalınlık konturları (Stone vd., 1987'den).....	17
Şekil 2.3. UNAM ve SCT sahalarındaki kuvvetli yer hareketi cihazları ile kaydedilmiş ivmenin zamana göre değişimi (Stone vd.,1987'den)	18
Şekil 2.4. UNAM ve SCT sahalarında kaydedilen hareketlerden hesaplanan tepki spektrumları (Romo ve Seed, 1986'dan).....	19
Şekil 2.5 Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM) ve Secretary of Communications and Transportation (SCT) kayıt sahalarının yerleri	20
Şekil 2.6 1989 Loma Prieta depreminde Yerba Buena ve Treasure adalarında zemin yüzeyi hareketleri: (a) zamana göre değişimleri; (b) tepki spektrumları (Seed vd., 1990'dan).	21
Şekil 2.7 Basit topoğrafik düzensizliklerin karakterizasyonu: (a) üçgen kama için notasyon; (b) hendek ve tepe şeklindeki gerçek zemin yüzeyinin (devamlı çizgi) kamalar ile modellenmesi (Faccioli, 1991' den)	24
Şekil 2.8. Bir kırılmadan kaynaklanan dalgaların zemin yüzeyine yaklaştıkça düzleşmesi	25
Şekil 2.9 Tipik olarak iki boyutlu düzlemsel birim deformasyon dinamik tepki analizleri ile çözülen yaygın problemler (a) konsol palplanş perde;(b) toprak dolgu baraj;(c) tünel	25
Şekil 2.10 Üç boyutlu dinamik tepki veya zemin yapı etkileşim analizi Gerektiren üç durum:(a) zemin şartlarının üç boyutta önemli olarak değiştiği saha; (b) dar vadideki toprak dolgu baraj; (c) zemin tepkisinin yapıların tepkisinden etkilendiği saha.	26
Şekil 2.11 Bursa ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Altınışık, 1999).....	29
Şekil 2.12 Gürsu ovasında yer alan jeolojik kesitler.....	30
Şekil 2.13 Analizler için oluşturulan idealize zemin profilleri	32
Şekil 3.1 İki boyutlu sonlu elemanlar yazılımında oluşturulan geometri ve bir boyutlu non-lineer analizlerin yapıldığı noktaları.	34
Şekil 3.2. Zemin omurga ve sönüm eğrileri.....	36
Şekil 3.3. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ve bölgedeki sismograflar tarafından kaydedilmiş depremlere ait ivme kayıtları.....	38
Şekil 3.4 Deprem kaynağından çıkan dalgaların farklı zemin formasyonlarından ve tabakalarından geçerek ilerlemesi.	39
Şekil 3.5 Eşdeğer lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli (Bardet vd.,2000).	40
Şekil 3.6 Eşdeğer lineer model (a) Histerisis eğrisi, (b) Sekant kayma modülü ve sönüm oranının şekil değiştirme seviyesi ile değişimi.....	42
Şekil 3.7 τ/τ_{maks} ve G/G_{maks} eğrileri deformasyon yumuşamasına bir örnek olarak doğrusal ve yarı logaritmik olarak gösterilmiştir	43
Şekil 3.8 Histerisis Eğrisi (Haşal, 2003).....	45
Şekil 3.9 Çevre basıncının zeminlerin kayma modül ve sönüm oranı üzerindeki etkileri	46
Şekil 3.10 Yükleme ve boşaltma davranışını tanımlayan hiperbolik, nonlinear zemin modeli.....	47

Şekil 4.1 Farklı ölçeklerde girdi olarak kullanılan 1999 Kocaeli Depremi için kesit üzerinde farklı noktalardaki maksimum yüzey ivme değerleri	51
Sekil 4.2 Farklı ölçeklerde girdi olarak kullanılan 2006 Gemlik Depremi için kesit üzerinde farklı noktalardaki maksimum yüzey ivme değerleri	52



TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Literatür ve sondajlardan belirlenen zemin verileri	31
Tablo 3.1. Plaxis ile yapılan Analizlerden Kullanılan Parametreleri.....	37



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ender BAŞARI'ya, lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle aydınlatan, desteğini esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün değerli hocalarına, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Büşra ÖZ
Manisa, 2018



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TABAN KAYASI TOPOGRAFYASININ (EĞİMİNİN) DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ VE ÖRNEK BİR DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ

Büşra ÖZ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ender BAŞARI

Bu tez çalışmasında, ova kenarlarının ve taban kayası topografyasının alüvyon istiflerinin dinamik davranışlarına etkileri bir ve iki boyutlu analizler ile incelenmiştir. Gürsu Ovası (Bursa) inceleme sahası olarak seçilmiştir. Analizlerde kullanılan zemin parametreleri literatürden ve sahada inşaat faaliyetleri esnasında yapılmış sondajlardan temin edilmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik zemin davranış analizleri Gürsu ovası için temsili bir kesit üzerinde yapılmıştır. Bir boyutlu analizler nonlineer çözüm yapabilen Deepsoil programı ile yapılmıştır. İki boyutlu analizler ise Plaxis 2D yazılımı ile yapılmıştır. Plaxis 2D analizleri için ihtiyaç duyulan viskoz sönüm parametreleri bir boyutlu Deepsoil analizlerinden belirlenmiştir. Dinamik analizlerde bölgede kaydedilmiş geçmiş depremlere ait ivme kayıtları kullanılmıştır.

Dinamik zemin davranış analizleri, ova kenarlarının ve taban kayası topografyasının alüvyon istifinin dinamik zemin davranışları üzerinde etkisinin olduğunu göstermiştir. Analizler neticesinde bir ve iki boyutlu analiz sonuçları arasında farklılıkların olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Bir ve iki boyutlu analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik zemin davranış analizleri, taban kayası, bir boyutlu analiz, iki boyutlu analiz, zemin büyütmesi,

2018, 95 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF BEDROCK TOPOGRAPHY (SLOPE OF BEDROCK) ON THE DYNAMIC SOIL BEHAVIOUR AND AN EXAMPLE OF DYNAMIC SOIL BEHAVIOUR ANALYSIS

Büşra ÖZ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Assoc. Prof. Dr. Ender BAŞARI

In this study, the effects of the basin edge and topography of the bedrock on the dynamic behavior of alluvial deposits is investigated with one and two dimensional dynamic analyses. Gürsu Plain (Bursa) is selected for investigation field. The soil parameters used in the analyses were obtained from literatures and from boreholes which has been made in the region during constructions. One and two dimensional dynamic behavior analyses were made on a representative cross-section of Gürsu Plain. One dimensional analyses were made with Depsoil program which can run nonlinear analyses. Two dimensional analyses were made with Plaxis 2D software. Viscous damping parameters for Plaxis 2D software were obtained from analysis of Deepsoil program. Acceleration records of past earthquakes in the region were used in the dynamic analyses.

Dynamic behavior analyses showed that basin edge and bedrock topography have effect on dynamic soil behavior of alluvial soils deposits. One and two dimensional analyses results have some differences for alluvial soils deposits. One and two dynamic analyses results are given in this study with compared.

Keywords: Dynamic soil behavior analysis, bedrock, one-dimensional analysis, two-dimensional analysis, soil amplification.

2018, 95 pages

1. GİRİŞ

Zemin tabakalarının dinamik analizi için geliştirilen sayısal hesap yöntemlerinde problemlerin gereksinimine göre, bir, iki ve üç boyutlu olarak modelleme yapılmaktadır. Bir boyutlu dinamik davranış analizlerinde yüzey topoğrafyası ve taban kayası topoğrafyası ihmal edilmektedir. Fakat gerçekte dar vadilerde, geniş vadilerin kenarlarında ve tepelerin yamaçlarında ikinci ve hatta üçüncü boyutun etkileri ortaya çıkmaktadır [1]. Bu çalışmada yerel zemin koşullarından taban kayası eğiminin (topoğrafyasının) zeminlerin dinamik davranışına etkileri iki boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir.

Yerel zemin koşulları deprem etkisini büyütebilmekte veya küçülebilmektedir. Genelde büyütme ve sönümlemeye yönelik dinamik deprem analizleri kolaylığı açısından bir boyutlu olarak yapılmaktadır. Bir boyutlu dinamik analizler belirli koşullarda geçerli olup tatmin edici sonuçlar verebilmektedir. Taban kayasının eğimli olduğu bilhassa ova kenarlarında bir boyutlu dinamik analizler zeminlerin dinamik davranışını yeterince temsil etmemektedir. Bu tür özelliklere sahip zemin profillerinde iki veya üç boyutlu analizler yapılması gerekmektedir. Burada yapılan iki boyutlu dinamik zemin analizlerinde Plaxis sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Analizler taban kayasının farklı eğimleri için ülkemizde meydana gelmiş olan depremlere ait ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Girdi olarak kullanılan ivme kayıtları maksimum ivme değerleri 0.1g, 0.25g, 0.40g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Analizlerde Bursa ovasına ait zemin özellikleri ve parametreleri göz önüne alınmıştır. İki boyutlu dinamik davranış analizlerinde Bursa – Gürsu ovasının arazi topoğrafyası ve jeolojik yapısı göz önünde bulundurulmuş bilhassa kesitlerde taban kayasının topoğrafyası dikkate alınmıştır.

Analiz yapılan kesitler için oluşturulan zemin profili, tabaka kalınlıkları ve zemin parametreleri sahada yapılmış arazi deneyleri ile labarotuvarda deney sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Zemin parametreleri için Bursa – Gürsu bölgesinde yapılan 24 adet sondaj verisinden yararlanılmıştır. Sondaj kuyularının harita üzerindeki konumları EK 1 de verilmiştir. Kordinatları ve zemin özellikleri ise Ek 2 de verilmektedir.

Bölgedeki gerçekleşebilecek depremleri daha iyi temsil etmek ve daha gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için analizlerde geçmiş tarihlerde meydana gelmiş ve bölgedeki sismograflar tarafından kaydedilmiş iki adet depreme ivme kaydı ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Ölçeklendirilen ivme kayıtları ana kaya seviyesinde girdi olarak etkilmiştir.

Yer tepki analizlerinde çoğunlukla bir boyutlu analizler tercih edilmektedir. Ancak bir boyutlu analizler sahadaki gerçek durumu her zaman tam olarak temsil edememektedir. Bu çalışmada taban kayası topoğrafyasının çoklukla tercih edilen bir boyutlu analizler üzerindeki etkisini gösterebilmektir. Ayrıca iki ve bir boyutlu analizlerde ülkemizde gerçek bir saha göz önüne alınarak yapılmış, böylelikle insanların yoğun bir şekilde yaşadığı bir bölgedeki (Bursa-Gürsu) zeminlerin dinamik davranışları hakkında literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Yerel Zemin Koşullarının Deprem Hareketi Üzerindeki Etkisi Ve Zemin Davranış Analizleri

Deprem dalgaları zemin tabakaları içinden geçerken özelliklerinin değişmesi yanı sıra zemin tabakalarının özelliklerini etkilemekte, bir yumuşama ve mukavemet kaybı oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle bir bölge için deprem tasarım özellikleri tanımlanırken, en önemli adımlardan biri o bölgedeki zemin tabakalaşması ve bu tabakaları oluşturan zeminlerin tekrarlı gerilmeler altındaki özelliklerinin belirlenmesidir [1].

Günümüzde depremlerde hasara yol açan ana etkenler bilinmektedir. Bu bağlamda hem güvenli hem de ekonomik olarak deprem hasarlarını azaltmak mümkün olabilir. Depreme dayanıklı yapı üretiminde maliyeti arttırıcı önlemler yerine, araştırmalara dayalı olarak daha uygun alanlar ve tasarım ilkelerinin belirlenmesi, yerleşim politikaları ve imar planları ile gelişmelerin yönlendirilmesi olabilecek bir depremin etkisini azaltmada tercih edilmelidir. Problemin çözümünü sadece depreme dayanıklı yapı üretiminde aramak gerçekçi bir yaklaşım olmayabilir. Depreme dayanıklı yapı yapabilmek yalnızca teknik bir sorun olmaktan öte sosyal ve ekonomik faktörlere de bağlıdır. Bu nedenle amaç, daha az tehlikeli alanların belirlenmesi ile ilave maliyetlerin azaltılması, böylece hem ülke ekonomisi açısından kaynakların akılcı kullanımını, hem de deprem hasarının en aza indirilmesini sağlar.

Depremlerde yapısal hasara etki eden faktörler üç grup altında; deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri olarak tanımlanabilir. Zemin tabakalarının cins, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde inşa edilmiş aynı tip yapılarda farklı deprem hasarlarına sebep olabilmektedir. Geçmiş depremlere ait ivme ve hasar kayıtları incelendiğinde bu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla hasarın azaltılması amacıyla deprem esnasında farklı davranış gösterecek bölgelerin önceden belirlenmesi ve bu bölgelerde gereken önlemlerin alınması doğru bir yaklaşım olacaktır [1].

Bir bölgede depremlerin etkisini incelerken, öncelikle zemin tabakalarında deprem nedeniyle, oturmaların, sıvılaşmanın, yamaç ve şevlerde kaymaların olabileceği bölgeler uygun analiz yöntemleri ile değerlendirilmelidir. Buna ek olarak, mikrobölgeleme çalışmalarında, incelenen bölgedeki zemin tabakalarının deprem özellikleri üzerindeki etkisi farklı yöntemlere göre bulunabilir. Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini başlıca şu şekilde sınıflandırılabilir.

2.1.1. Zemin Davranışı ve Sarsma Şiddeti

Gevşek ve yumuşak zeminler şunlardır; alüvyonlar, kumlar, delikli kalkerler, moloz konileri, tüfler, ayrılmış magmatik kayalar, dolma topraklar, suni veya tabii olsun deprem şiddetini 1-2 derece arttırırlar. Deniz kenarlarındaki suya doymuş konsolide olmamış zeminlerde deprem şiddetini arttırır. Bataklıklar, turbalıklar, kurumuş göller deprem şiddetini Marcelli skalasına göre 2-4 derece arttırırlar.

2.1.2. Zemin Tabakalarında Oturmalar

Gevşek daneli zeminler suya doymuş olması halinde titreşimlerin yol açtığı sıkışma neticesi oturma meydana getirebilirler. Depremlerin kohezyonsuz zemin tabakalarının sıkışmasına ve zemin yüzeyinin oturmasına neden olması beklenebilir. Depremler sırasında gözlenen zemin oturmaları birçok durumda suya doymuş tabakalarda titreşimli yükler altında meydana gelen boşluk suyu basınçlarının deprem sonrası sönmelenmesi sonucu ortaya çıkan konsolidasyon oturmaları şeklinde oluşmaktadır. Suya doymuş olmayan zeminlerde ise boşluklar su ile dolu olmadığı için oturmalar danelerin sabit düşey efektif basınç altında birbirine yaklaşması ve daha iyi yerleşmesi (kompaksiyon) sonucu meydana gelmektedir.

2.1.3. Zemin Tabakalarının Sıvılaşması

Depremler esnasında suya doymuş gevşek kum tabakalarında sıvılaşma olabilir. Sıvılaşma sonucunda zemin yüzündeki yapılar zemin içine bataabilmekte veya zemin içindeki yapılar yüzerek zemin yüzüne çıkabilmektedir. Zeminde gözlenen sıvılaşmanın ana nedeni, kum tabakası deprem titreşimlerinin etkisi ile sıkışmaya ve hacmini azaltmaya eğilim göstermektedir.

Fakat boşluklarda sıkışan suyun drenajı mümkün değilse hacim azalması eğilimi boşluk suyu basıncının artması sonucunu doğurmakta, boşluk suyu basıncındaki bu artış ortalama çevre basıncına eşit olacak mertebeğe ulaştığı zaman efektif gerilmeler sıfır olmakta, kum tabakası mukavemetini ve taşıma gücünü tamamen kaybetmekte ve sıvılaşmış duruma gelmektedir.

2.1.4. Toprak Kaymaları ve Şev Stabilitesi

Dünyanın birçok yöresinde depremler sonucu büyük toprak kaymaları ve şev göçmeleri gözlenmiştir. Depremlerin yol açtığı toprak kaymaları ve şev göçmeleri şu şekilde sıralanabilir.

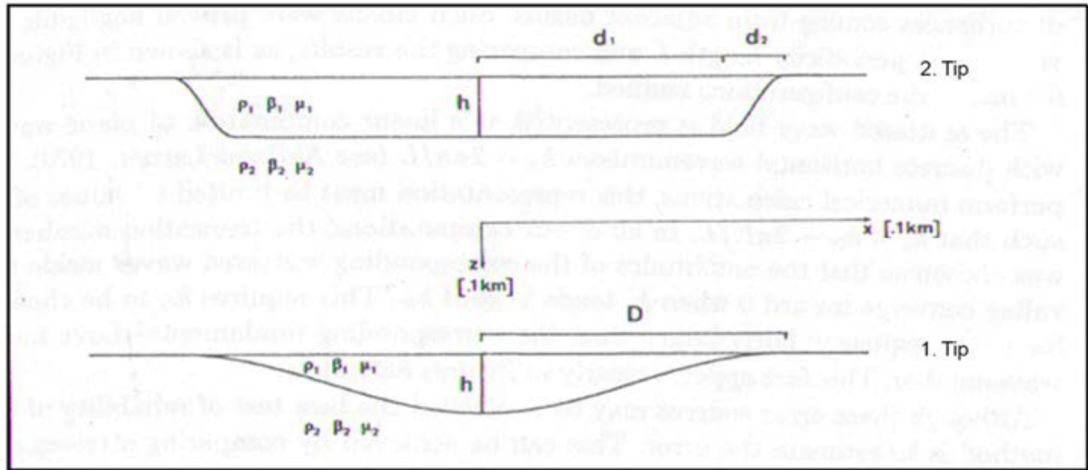
- a) Kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşması sonucu oluşan akma tipi kaymalar
- b) Kil tabakaları içinde ve altında yer alan ince kum ve silt tabakalarında boşluk suyu basıncı artışları veya sıvılaşma sonucu üstünde bulunan kil tabakaları kayması
- c) Temel zeminini oluşturan gevşek kumlu tabakaların sıvılaşması veya göçmesi sonucu üstünde yer alan toprak dolguların kayması

Kaymaya karşı güvenli olarak nitelendirilen şevlerin depremler esnasında duraylılığını yitirebildiği bilindiğinde göre güvenlik sayılarının deprem bölgelerinde daha düşük alınması önlem olarak düşünülebilir [2]. Tüm bu olumsuzluklar yapıya gelen deprem kuvvetinin genlik, frekans içeriği ve süre gibi özelliklerini değiştirebilmekte ve de yapının hasar almasına neden olmaktadır. Deprem esnasında zeminin neden olduğu bu olaya mühendislikte zeminin büyütme etkisi “amplifikasyon” denir.

Zemin büyütmesi, deprem sırasında zeminin ve dolayısıyla yapının, depremi hangi şiddette hissedeceğinin bir ölçüsüdür. Ayrıca bir zemin tabakasının yüzeyinden elde edilen kayma dalgası hızı söz konusu zeminin büyütme seviyelerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

2.1.5. Anakaya Eğimi ve Topoğrafyanın Zemin Büyütmesine Etkisi

Depremler sırasında yerel koşulların ve jeolojik düzensizliklerin yeryüzü hareketine etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [1, 2, 3, 4, 5]. Araştırmalar yer altı düzensizlikleri ve yeryüzü topoğrafyasının etkisi olmak üzere iki farklı durum için yapılmaktadır. Bard ve Bouchon (1980 a, b) [3, 4] tarafından yapılan araştırmalarda alüvyon vadilerin P, SV ve SH dalgalarının etkisi altındaki dinamik tepkisi araştırılmıştır. Bu araştırmada birinci bölümde SH dalgası ikincisinde ise P ve SV dalgaları kuvvetli yer hareketi olarak modellenen vadilere uygulanmaktadır. Böylece, SH dalgalarının etkisi altında oluşan Love yüzey dalgası ve P ile SV dalgaları etkisi altında meydana gelen Rayleigh dalgasının oluşmaları ve bu dalgaların ovadaki zemin büyütmesine etkileri incelenmektedir. Şekil 2.1.'de, kullanılan hipotetik modellerin geometrik biçimleri gösterilmektedir. Sismik dalgaların odaklanmasının araştırılması amacıyla tek dönüşlü kosinüs biçimli bir model (birinci tip) ve yüzey dalgaların oluşmasının incelenmesi için de kenarlarında yarım dönüşlü kosinüs biçimli hipotetik model (ikinci tip) seçilmiştir. Hipotetik modellerin geoteknik özelliklerinin seçimi düşük ve büyük empedans farkından kaynaklanan etkileri incelenmiştir.



Şekil 2.1. Bard ve Bouchon (1980 a)'un araştırmasında kullanılan vadi geometri [3].

Bu yöntem ile modellenen ovaların yüzeyinde SH dalgasının etkisi altında meydana gelen hareketler FD, FE ve ışın teorisi yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Bu araştırmada önemli bir etken olarak bilinen anakaya ile zemin tabakası arasındaki kayma dalgası hızı farkının ovaların yeryüzü hareketine etki de incelenmektedir. Sonuçlar, meydana gelen Rayleigh dalgasının genliğinin önemli derecede anakaya ile zemin arasındaki kayma dalgası hızı farkı, vadi biçimi ve dinamik yükü olarak kullanılan dalga türünden (P ve SV) etkilendiğini göstermektedir. Buna ek olarak, Rayleigh dalgasının birinci veya ikinci modunun hakim olduğu durumlarda vadiye çarpan dalgaının frekansı ve açısı ile alakalı olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre, SH dalgasının etkisi altında zemin tabakalarının doğal frekansına yakın titreşim şartları altında, Love dalgalarının etkisinin üstün olduğu görülmektedir. Anakaya ve zemin tabakası arasındaki empedans farkının büyük olduğu durumda yüzey dalgaların vadi kenarlarından defalarca yansması sonucu yüzeydeki titreşim süresinin anakaya hareketinin süresinden daha büyük olduğu görülmüştür. Sonuçlar modellenen ovaların dinamik davranışının iki boyutlu anakaya etkisinin altında olduğunu göstermiştir [3].

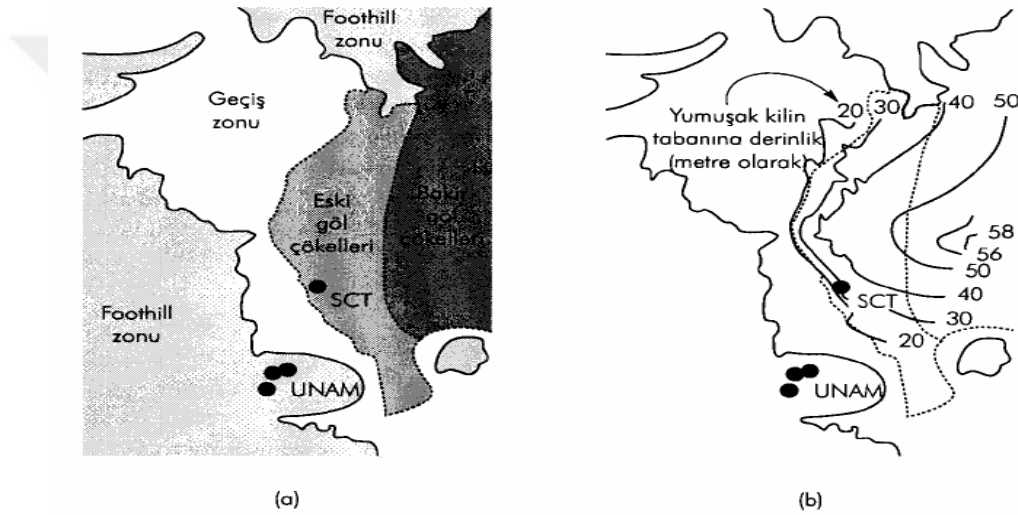
2.2. Mexico City, 1985

19 Eylül 1985 Michoacan depremi ($M_s=8,1$) elastisite modülü yaklaşımı dışmerkez civarında (Meksika'nın Pasifik kıyısına yakın yerlerde) sadece orta düzeyde hasara neden olmuş, fakat 350 km kadar uzaktaki Mexico City'de çok büyük hasarlar meydana gelmiştir. Mexico City'de değişik sahalarda kaydedilen yer hareketleri üzerinde yapılan çalışmalar, yerel zemin şartları ile yıkıcı yer hareketi arasındaki önemli ilişkiyi ortaya koymuş ve plastik killerin devirsel tepkilerini anlamada önemli gelişmelere yol açmıştır [6].

Mexico City zemin koşulları, sismik bölgelendirme bakımından birbirinden farklı üç bölgeye ayrılmaktadır. (Şekil 2.2a.) Kent merkezinin batısındaki Foothill Kuşağı çoğunlukla granüler zemin, bazalt veya volkanik tüf şeklindeki sık ve sıkı çökellerden oluşmaktadır. Göl Kuşağı'nda yakındaki bir volkandan türemiş silt, kil ve küllerin geçmiş dönemlerde Texcoco Gölü suları içine havada taşınarak çökelmiş çok yumuşak kalın tortullar (Şekil 2.2b.)'deki konturlardan da görüldüğü gibi önemli derinliklere kadar devam etmektedir. Bu yumuşak zeminler genellikle 0 ile 6 m kalınlığında sıkı bir kum tabakası ile birbirinden ayrılmış iki yumuşak kil tabakasından (Mexico City Kili) oluşmaktadır [6].

Göl Kuşağı'nın önemli bir bölümünde yer altı suyu derinliği 2 m civarındadır. Foothill Kuşağı ile Göl Kuşağı arasında nehir çökellerinin düzensiz olarak yer aldığı ve kalınlığı fazla olmayan yumuşak zeminlerden oluşan Geçiş Kuşağı bulunmaktadır.

Mexico City'de 1985 yılından önce çok sayıda kuvvetli hareket ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. (Şekil 2.2a.) Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM) ve Secretary of Communications and Transportation (SCT) kayıt sahalarının yerleri görülmektedir. Foothill Kuşağı'ndaki UNAM istasyonunun temelini 3 ile 5 m kalınlığında bazaltlar oluşturmaktadır. SCT istasyonu ise Göl Kuşağı'ndaki yumuşak zeminler üzerine oturmaktadır.



Şekil 2.2. Mexico City'de kuvvetli hareket cihazları ve jeoteknik şartlar: (a) kuvvetli hareket cihazlarının Foothill, Geçiş ve Göl kuşaklarına göre konumu; (b) yumuşak zeminin kalınlık konturları [6].

Michoacan depremi çok büyük bir deprem olmasına rağmen, Mexico City'den çok uzakta olmasından dolayı UNAM istasyonunda sadece 0.03-0.04g'lik ivme üretmiştir. Göl Kuşağı'ndaki SCT istasyonunda pik ivmeler UNAM'dakinin beş katından daha büyüktür. SCT istasyonunda kaydedilen hareketin frekans değeri de UNAM'daki hareketten çok farklıdır.

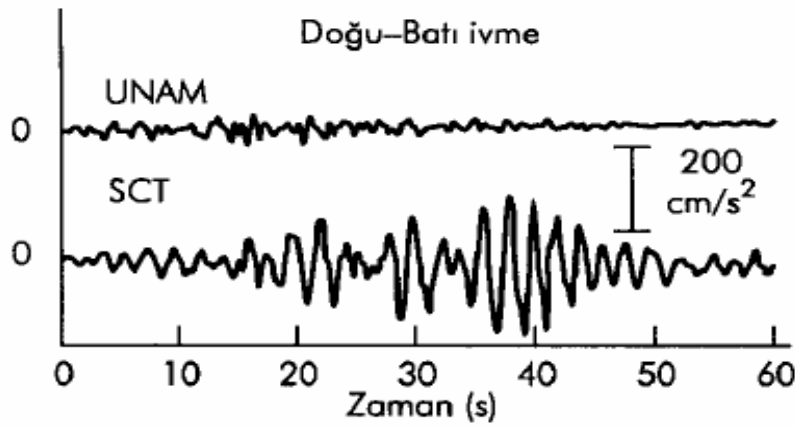
SCT istasyonunda baskın periyod yaklaşık 2 s ve kuvvetli sarsıntının süresi daha uzun olmuştur. Şekil 2.3'de gösterilen tepki spektrumları Göl Kuşağı'ndaki zeminlerin kuvvetli etkisini ortaya koymaktadır. Yaklaşık 2 s'deki periyodlarda SCT sahasındaki spektral ivmeler UNAM sahasındakinden yaklaşık 10 kat daha büyüktür.

SCT sahasının zemini, kesme dalgası hızı yaklaşık 75 m/s ve kalınlığı da 35 - 40 m olan yumuşak kilden oluşmaktadır.

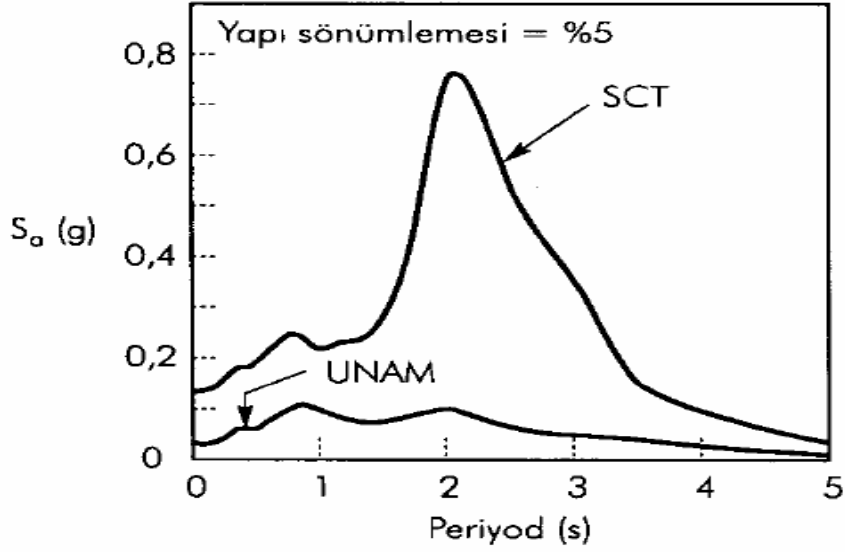
Buna göre, karakteristik zemin periyodu $T_s = 4H/V_s = 4(37.5)/75 = 2$ s olup, bu değer Şekil 2.4’ deki SCT tepki spektrumu maksimumu ile uyum içerisindedir.

Mexico City’deki yapısal hasar oldukça seçici olmuştur. Kentin önemli bir kısmında herhangi bir hasar meydana gelmez iken, bazı bölgelerde çok büyük hasar meydana gelmiştir. Foothill Kuşağı’ndaki hasar önemsiz iken, Geçiş Bölgesi’nde minimum düzeyde kalmıştır [6].

Hasarın büyüğü, karakteristik zemin periyodunun 1,9 ile 2,8 s arasında tahmin edildiği ve 38 ile 50 m kalınlığındaki yumuşak çökellerden (Stone vd., 1987) oluşan Göl Kuşağı bölgesinde olmuştur. Bu kuşağın kendi içinde bile, 5’den daha az katlı veya 30’dan daha fazla katlı modern binalarda düşük düzeyde hasar gözlenmiştir. Ancak kat sayısı 5 ile 20 arasında değişen yapılar ya tamamen çökmüş, ya da ağır hasara uğramıştır. N katlı bir binanın esas periyodunun yaklaşık olarak $N/10$ s alındığı pratik kuralı kullanıldığında, hasar görmüş çoğu yapıların esas periyodunun karakteristik zemin periyoduna eşit veya ona yakın olduğu görülür [5].



Şekil 2.3. UNAM ve SCT sahaslarındaki kuvvetli yer hareketi cihazları ile kaydedilmiş ivmenin zamana göre değişimi [6].



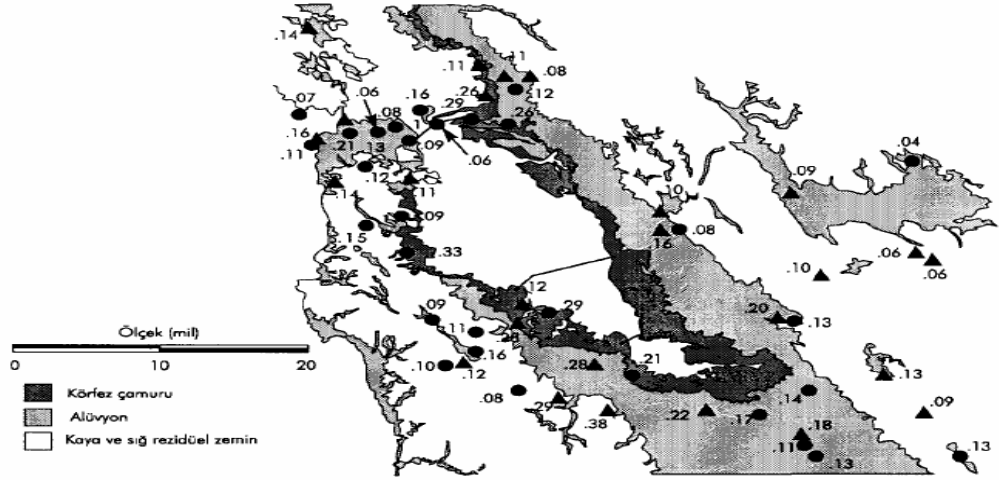
Şekil 2.4. UNAM ve SCT sahalarında kaydedilen hareketlerden hesaplanan tepki spektrumları [5].

2.3. San Francisci Körfez Bölgesi, 1989

19 Ekim 1989’da San Francisco kentinin yaklaşık 100 km güneyindeki Loma Prieta Dağı’nın yakınında $M_s=7.1$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Loma Prieta depreminin dış merkez civarında neden olduğu sarsıntının şiddeti VIII iken, San Francisco’nun bazı kesimlerinde IX civarında olmuştur. Deprem hasarının bazı bölgelerde yüksek ve bazı bölgelerde de nispeten düşük olması, yerel zemin etkilerinin önemli olduğuna işaret etmektedir.

San Francisco Körfezi havzası genellikle kumlu-çakıllı zeminlerin de eşlik ettiği alüvyal kil ve siltli kumlu kil ile doldurulmuştur. Daha derindeki çökeller tarihsel buzul denizi çekilmelerinden dolayı aşırı konsolide olmuş, fakat üstteki birim en son çekilme döneminden sonra oluşmuştur. San Francisco Körfezi Çamuru olarak bilinen bu birim, normal konsolide siltli kildir. Oldukça sıkışabilir nitelikteki bu malzemenin dayanımı, zemin yüzeyine yakın kesimde yumuşaktan başlayıp daha derinlerde orta sertte kadar artmaktadır. Sismik bölgeselendirme açısından Körfez alanı Şekil 2.5.’teki gibi üç alt bölgeye ayrılabilir. San Francisco Körfez Çamuru genellikle körfezin kenarlarında bulunur ve kalınlığı sıfır ile birkaç on metre arasında değişmektedir.

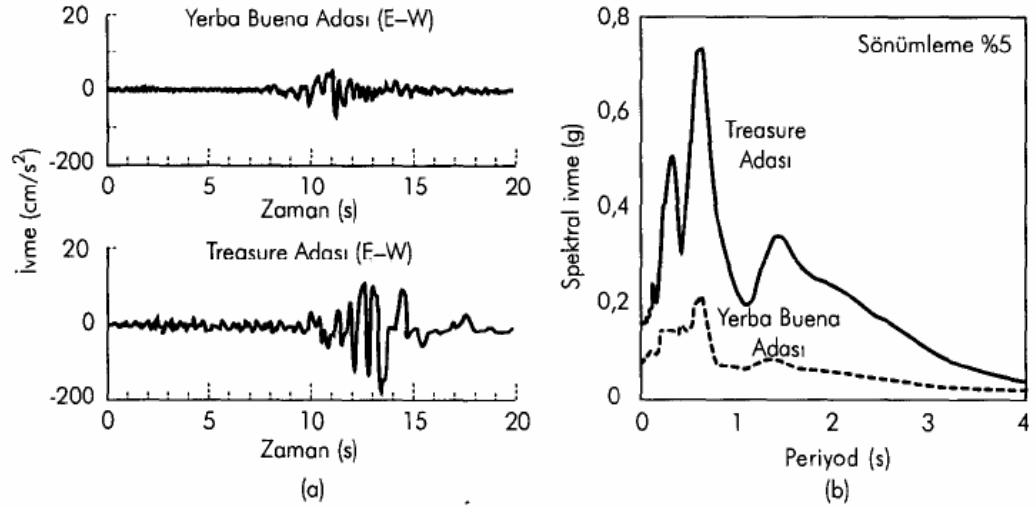
Mexico City’de 1985 yılından önce çok sayıda kuvvetli hareket ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. Şekil 2.5’de Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM) ve Secretary of Communications and Transportation (SCT) kayıt sahalarının yerleri görülmektedir. Foothill Kuşağı’ndaki UNAM istasyonunun temelinin 3 ile 5 m kalınlığında bazaltlar oluşturmaktadır. SCT istasyonu ise Göl Kuşağı’ndaki yumuşak zeminler üzerine oturmaktadır [5].



Şekil 2.5 Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM) ve Secretary of Communications and Transportation (SCT) kayıt sahalarının yerleri [5].

Gerek dışmerkez ve gerekse San Francisco bölgesi, sismograflar ve akselerometrelerle çok iyi şekilde donatılmıştır. Pik yatay ivmeler Şekil 2.5’de görülen lokasyonlarda kaydedilmiştir. Dışmerkeze yakın yerlerde yüksek olan bu ivmeler, kaynaktan itibaren mesafeye bağlı olarak sönümlenmiştir. Ancak, Kaya/Sığ Rezidüel Zemin kuşağındaki sahalarda sönümleme, Alüvyon veya Körfez Çamuru kuşaklarındakilerden daha çabuk gelişmektedir. Şekil 2.6. San Francisco Körfezi’ndeki Yerba Buena Adası ve Treasure Adası’nda yerleştirilen iki cihazın tepkileri özellikle çok anlamlıdır. Yerba Buena Adası’ndaki istasyon bir kaya mostrası üzerindedir. Treasure Adası ise, bir kısmı Yerba Buena Adası’nın hemen kuzeybatısında bulunan ve sığ kum sırtlarından oluşan denizel alanın hidrolik dolgu yapılarak oluşturulduğu, yapay bir adadır. Treasure Adası’nın altındaki zemin, değişken kalınlıklardaki San Francisco Körfez Çamurun’dan oluşmaktadır.

Bu sahadaki sismograf istasyonunun altındaki zemin yapısı, 16.8 m kalınlığındaki San Francisco Körfez Çamuru üzerindeki 13,7 m kalınlığında gevşek kum şeklindedir. Yerba Buena sismograf istasyonu doğrudan kaya üzerindedir.



Şekil 2.6 1989 Loma Prieta depreminde Yerba Buena ve Treasure adalarında zemin yüzeyi hareketleri: (a) zamana göre değişimleri; (b) tepki spektrumları [5].

Diğer bölgelerdeki yumuşak zemin çökellerinin neden olduğu yer hareketi büyütmesinin San Francisco Körfez bölgesinin değişik kesimlerindeki hasara önemli ölçüde katkısı söz konusudur. I-880 Cypress Viyadüğü'nün deprem sırasında çöken kuzey bölümünün zemini San Francisco Körfez Çamuru'ndan oluşmaktadır, çökmeyen güney bölümü ise başka bir birim üzerine oturmaktadır.

2.4. Zemin Davranış Analizleri

Yerel zemin koşullarının yer sarsıntıları üzerindeki etkilerini değerlendirmekte kullanılan arazi davranış analizlerinde genellikle taban kayası olarak nitelendirilen formasyondan yukarı doğru hareket ettiği varsayılan kayma dalgalarının yayılımı analiz edilmektedir. Zemin Davranış analizleri ile şunlar amaçlanır.

- Zeminlerde sıvılaşma ve oturma hesapları için oluşacak yüzey ivmesini tahmin etmek,

- Sıvılaşma analizlerinde dinamik gerilme ve deformasyonların değerlendirilmesi,

-Şev istinat yapılarının durağanlığını bozabilecek deprem kuvvetini belirlemek,

-Zemin yapıları ile zemin dayanma yapılarının stabilite hesapların da, yüzeydeki yer hareketinin tahmin edilmesi amaçları ile kullanılabilir.

İdeal Şartlar altında eksiksiz bir yer tepki analizinde deprem kaynağındaki yırtılma mekanizması, gerilme dalgalarının içinde yayılarak belirli bir sahanın altındaki anakayanın tepesine ulaşması modellenir ve yer yüzeyindeki hareketin anakaya üzerindeki zeminler tarafından nasıl etkilendiği belirlenir. Fay yırtılması mekanizması gerçekte çok karmaşık ve kaynaktan sahaya enerji aktarılmasında çok belirsiz olduğundan, çoğu mühendislik uygulamalarında bu yaklaşım pek kullanışlı değildir. Pratikte, kestirici bağıntı türlerinin geliştirilmesi için, kaydedilmiş deprem özelliklerine dayalı ampirik yöntemler kullanılmaktadır. Bu kestirici bağıntılar çoğu zaman sahadaki anakaya hareketi özelliklerini kestirmek için sismik tehlike analizi ile birlikte kullanılmaktadır. O zaman yer tepki analizi problemi sadece zemin çökelinin altta bulunan temel kayadaki harekete verdiği tepkinin belirlenmesinden ibarettir. Sismik dalgaların kaya ortamında yüzlerce km ilerledikten sonra zemin içinde de çoğu zaman 100 m'den daha az yol aldığı gerçeği dikkate alındığında, yer yüzeyi hareketi özelliklerinin belirlenmesinde zeminler çok önemli rol oynamaktadır [5].

Elastik Davranış :Yer hareketlerinin zemin tabakaları içinde yayılması sırasındaki davranışını anlayabilmek için, basit arazi modellerinden yararlanılabilir. Örneğin, arazi zemin profili rijit bir temel üstüne oturan üniform H kalınlığında ve V_s kayma dalga hızına sahip bir elastik zemin tabakasından oluşan bir sahanın doğal periyodları $T_n = 4H/(2n-1)V_s$ şeklinde gösterilebilir. Deprem sırasında arazi davranışı, yer hareketinin frekansı ve bunun arazi periyodları ile ilişkisine bağlı olacaktır. Aynı T_n periyoduna sahip araziler, aynı yer hareketi altında benzer davranış gösterecektir. Periyodların sabit olması ise H/V oranının sabit olmasına bağlı olup, H ve V_s 'den hiçbirisi tek başına arazi davranışını tanımlamak için yeterli değildir.

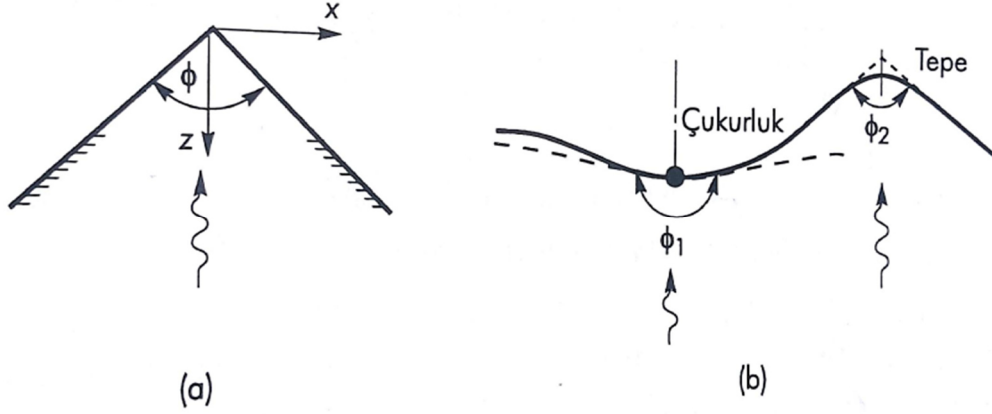
Aynı sabit V_s değerine sahip, tabaka kalınlığı farklı araziler aynı yer hareketi sırasında farklı davranış gösterecektir, fakat bu durumda tabaka kalınlığı ile arazi davranışı arasında kuvvetli bir korelasyon olacaktır. Pik büyütmelerin düşük frekanslar için daha kalın, yüksek frekanslar için ise daha sık tabakalarda meydana geldiği gözlenmektedir.

Aynı tabaka kalınlığına ve farklı periyodlara sahip arazilerde kayma dalgası hızı V_s arazi davranışını kontrol eden parametre olacaktır.

Lineer Olmayan Davranış: Lineer olmayan zemin davranışının etkisini incelemek üzere ise, üniform kalınlıkta lineer olmayan ve histeretik davranış gösteren bir zemin tabakasının davranışını göz önüne alabiliriz. Düşük sarsıntı seviyelerinde davranış büyük ölçüde elastik olacağı için büyütme faktörü periyod, kayma dalgası hızı veya rijit tabaka derinliğine doğrudan bağımlı olacaktır. Yer hareketinin genliği arttıkça meydana gelecek şekil değiştirme seviyeleri büyüyecek ve lineer olmayan histeretik davranış ortaya çıkmaya başlayacaktır. Zemin kayma modülünde meydana gelen azalmaya bağlı olarak arazi periyodu daha uzun periyodlara doğru yer değiştirmeye, histeretik davranıştan dolayı da sönüm oranı artmaya başlayacak, bunlara bağlı olarak arazi hakim periyodunda meydana gelecek olana göre pik davranışta azalma ortaya çıkacaktır. Böyle bir sahada büyütmenin, arazinin başlangıç periyoduna (H ve V_s) veya başlangıçtaki periyod değerine (T) bağlı olarak kestirilebilmesi, periyotta meydana gelen yer değiştirmeye ve oluşan sönümlenmeye bağlı olacaktır. Lineer olmayan zemin davranışının arazi davranış analizini zorlaştırmasının önemli nedeni, bu durumda yer hareketinin şiddetinin bağımsız değişken olarak devreye girmesi olmaktadır. Taban kayasından yüzeye doğru yayılan kayma dalgaları üzerinde yerel zemin koşullarının etkisi, genellikle araziye tabakalı bir yarı-sonsuz ortam olarak modelleyen tek boyutlu kayma kirişi analizi ile araştırılmaktadır. Bu analizlerde, non-lineer etkiler ve arazinin rezonans periyodu, periyodun artan sarsıntı şiddeti ile uzaması, değişik frekanslarda hareketlerin büyümesi ve küçülmesi gibi önemli faktörler dikkate alınabilmektedir.

Topoğrafik Etkiler: Yüzeyi engebeli bir arazide, yüzey topoğrafyası yaklaşık olarak üçgen kamalar şeklinde tanımlanarak (Şekil 2.7) tepeye dik ve paralel doğrultuda SH dalgaları yayılması analiz edilebilmektedir. SH dalgalarına maruz kalan sonsuz bir kamada tepe yerdeğiştirmesi, $2\pi/\phi$ faktörü ile büyütülür.

Burada, ϕ : kamanın zirve açısıdır.. (Şekil 2. 7a). Bu yaklaşım, sırt – vadi şeklindeki belirli arazi yapıları için topoğrafik etkileri yaklaşık olarak bulmada kullanılabilir. (Şekil 2. 7b). Farklı geometriler ve değişik dalga alanları da göz önünde bulundurulmuştur.

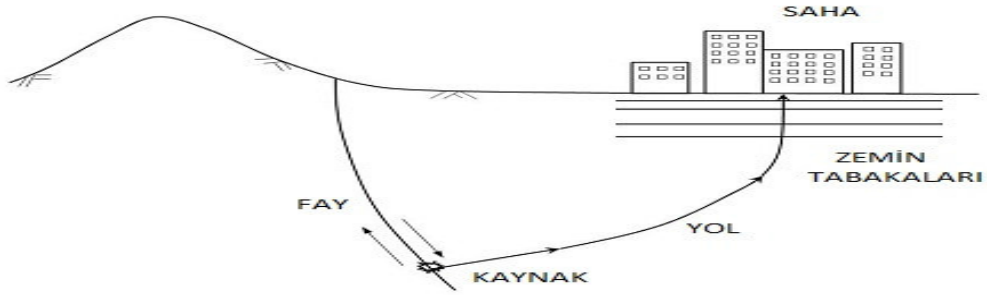


Şekil 2.7 Basit topoğrafik düzensizliklerin karakterizasyonu: (a) üçgen kama için notasyon; (b) hendek ve tepe şeklindeki gerçek zemin yüzeyinin (devamlı çizgi) kamalar ile modellenmesi [7].

2.4.1. Bir Boyutlu Zemin Davranış Analizleri

Yerin derinliklerinde deprem başlangıcında fay yırtıldığı zaman oluşan cisim dalgaları (P-ve S-dalgaları) kaynaktan tüm yönlere doğru hareket ederler. Farklı jeolojik birimlerden geçerlerken ara yüzeylerde kırılır ve yansır. Yeryüzündeki tabakaların yerleşme biçimlerinden anlaşıldığı üzere daha derinlerde yüzeydekilere göre daha mukavemetli sert kayaçlar ve zemin tabakaları yer almaktadır. Zemin tabakaları yatay ve yataya yakın şekilde yerleşmişlerse tabaka sınırlarına çarpan dalgalar düşeye yakın bir şekilde kırılırlar (Şekil 2.8.). Dolayısıyla yatay yerleşmiş zemin tabakalarında davranış analizi yapılacak ise bir boyutlu davranış analizi yöntemlerini kullanmak mantıklıdır. Çünkü bir boyutlu zemin davranış analizleri tüm tabaka sınırlarının yatay olduğu ve zemin tepkisine anakayadan düşey olarak yayılan SH dalgalarının neden olduğu varsayımına dayanmaktadırlar

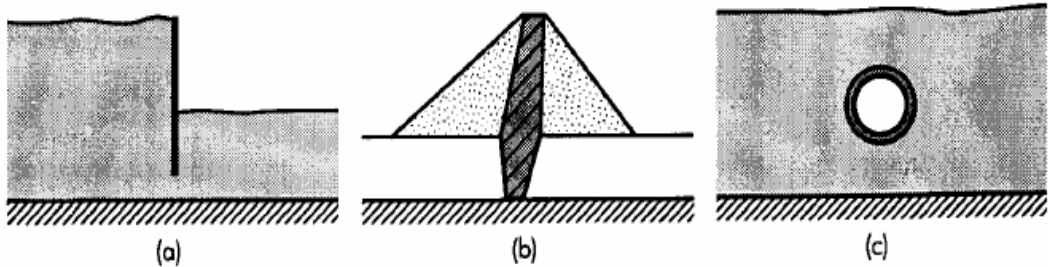
Bir boyutlu dinamik davranış analizlerinde yüzey topoğrafyası ihmal edilmektedir. Fakat gerçekte dar vadilerde, geniş vadilerin kenarlarında ve tepelerin yamaçlarında ikinci ve hatta üçüncü boyutun etkileri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.8. Bir kırılmadan kaynaklanan dalgaların zemin yüzeyine yaklaştıkça düzleşmesi

2.4.2. İki Boyutlu Zemin Davranış Analizleri

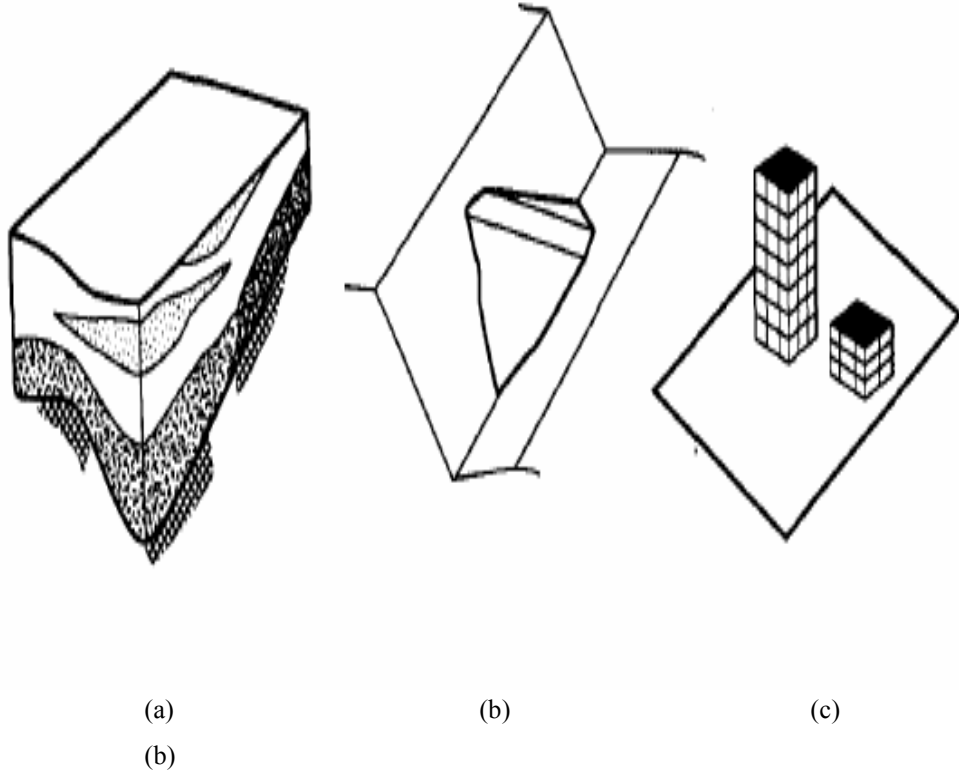
Bir boyutlu yer tepki analiz yöntemleri, düz veya malzeme sınırına paralel hafif eğimli yüzeylerde oldukça yararlıdır. Uygulamada böyle pek çok durum söz konusu olup bir boyutlu analizler geoteknik deprem mühendisliği uygulamalarında yaygınca kullanılmaktadır. Ancak, uygulamada karşılaşılan diğer bir çok problemde bir boyutlu dalga yayılma varsayımı amaç için uygun olmamaktadır. Eğimli veya düzensiz zemin yüzeylerinde rijit veya gömülü ağır yapılar veya duvarlar ile tünellerin bulunduğu tüm durumlar için iki boyutlu hatta belki de üç boyutlu analiz gereklidir. İçinde bir boyutun diğerlerine göre çok daha büyük olduğu problemler çoğu zaman iki boyutlu düzlemsel birim deformasyon problemi olarak ele alınabilirler. Bununla ilgili sıkça rastlanan durumlar (Şekil 2.9.) verilmiştir.



Şekil 2.9 Tipik olarak iki boyutlu düzlemsel birim deformasyon dinamik tepki analizleri ile çözülen yaygın problemler (a) konsol palplanş perde;(b) toprak dolgu baraj;(c) tünel [5]

2.4.3. Üç Boyutlu Yer Tepki Analizi

İki boyutlu modellemelerin uygun olmadığı bazı durumlarda üç boyutlu dinamik tepki analizleri gerekebilir. Böyle durumlar, (Şekil 2.10)’da görüldüğü gibi zemin şartları üç boyutta değiştiği zaman ve üç boyutlu yapının tepkisi söz konusu olduğu zaman ortaya çıkabilir.



Şekil 2.10 Üç boyutlu dinamik tepki veya zemin yapı etkileşim analizi gerektiren üç durum:(a) zemin şartlarının üç boyutta önemli olarak değiştiği saha; (b) dar vadideki toprak dolgu baraj; (c) zemin tepkisinin yapıların tepkisinden etkilendiği saha [5].

Üç boyutlu dinamik tepki problemlerinin ele alınış şekli iki boyutlu problemlerinki ile büyük benzerlik gösterir. Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan yaklaşımların ikisini de kullanan dinamik sonlu eleman analizleri mevcuttur. Özellikle zemin-yapı etkileşimi konuları olmak üzere çok sayıda üç boyutlu analiz geliştirilmiştir. Toprak barajlardaki önemli problemlerde, dar vadilerdeki barajların yaklaşık tepkilerini belirlemede kayma kirişi analizleri geliştirilmiştir.

2.5. İnceleme Alanının Jeolojik ve Geoteknik Özellikleri

Bursa Gürsu ovası irili ufaklı bir çok yerleşim alanı içermektedir. Yerleşim alanları ovanın yamaçlarına yakın ve orta kesimlerine dağılmış durumdadır. Ovanın hemen hemen her bölgesinde yerleşim bulunmaktadır. Ovanın orta kesimlerinde 300 m kalınlığa ulaşabilen bir alüvyon tabakası bulunmaktadır, ancak dağ yamaçlarına gidildikçe bu alüvyon istifinin kalınlığı azalmaktadır. Analizlerin doğruluğu açısından ovanın jeolojik özellikleri iyi belirlenmesi ve irdelenmesi son derece önemli olup bir çok araştırmacı ovanın jeolojik özellikleri hakkında detaylı çalışmıştır. Literatürdeki bilgiler ışığında Gürsu ovasının jeolojik ve geoteknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.5.1. Genel Jeoloji

Gürsu Ovası alüvyonlarla doldurulmuş tektonik bir çukurluk olup Gürsu ve yakın yöresinin Uludağ masifi olarak adlandırılmaktadır. Bu masifte en altta Paleozoyik yaşlı kayaçlar, üzerine ise Neojen örtüsü ile Kuvaterner oluşumlar yer almaktadır. Temeli oluşturan (masif) kayaçlar, farklı derecede başkalaşım geçirmiş metamorfik serilerle, bunların içerisine sokulmuş granadiyorit plütonlarından meydana gelir. Metamorfik seriler yüksek derecede metamorfizma geçirmiş çeşitli gnayslardan, amfibolit, şistleşmiş mermerlerden, düşük derecede metamorfizmaya uğramış kılıf durumundaki yeşil şistlerden, fillit, yarı mermer ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Temeli oluşturan bu metamorfik seriler üzerine, Kuzeyde Permiyen yaşlı kırıntılı sedimentlerle, fosilli kireçtaşları, Doğu ve Güneyde ise genç Neojen örtüsü gelir. Şistleşmiş mermerler, Bursa gerisindeki dik yamaçlarda ve zirveler bölgesinde geniş alanlar kaplar.

Permiyen yaşlı örtü formasyonları dağın Kuzeydoğu eteğinde yüzeylenmekte ve ufak taneli konglomera, arkoz, kalker breşi, alacalı kumtaşı, şeyl ve marn gibi kırıntılı kayaçlarla bunların üzerine gelen fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır.

İnceleme alanındaki Kuvaterner oluşumlar geniş düzlükler veren yaşlı alüvyon birimlerden oluşmaktadır. Yaşlı alüvyon istifi heterojen, yer yer ise homojen bir dağılım sunan kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutunda bir veya birkaç malzemenin bir araya gelmesinden meydana gelmektedir.

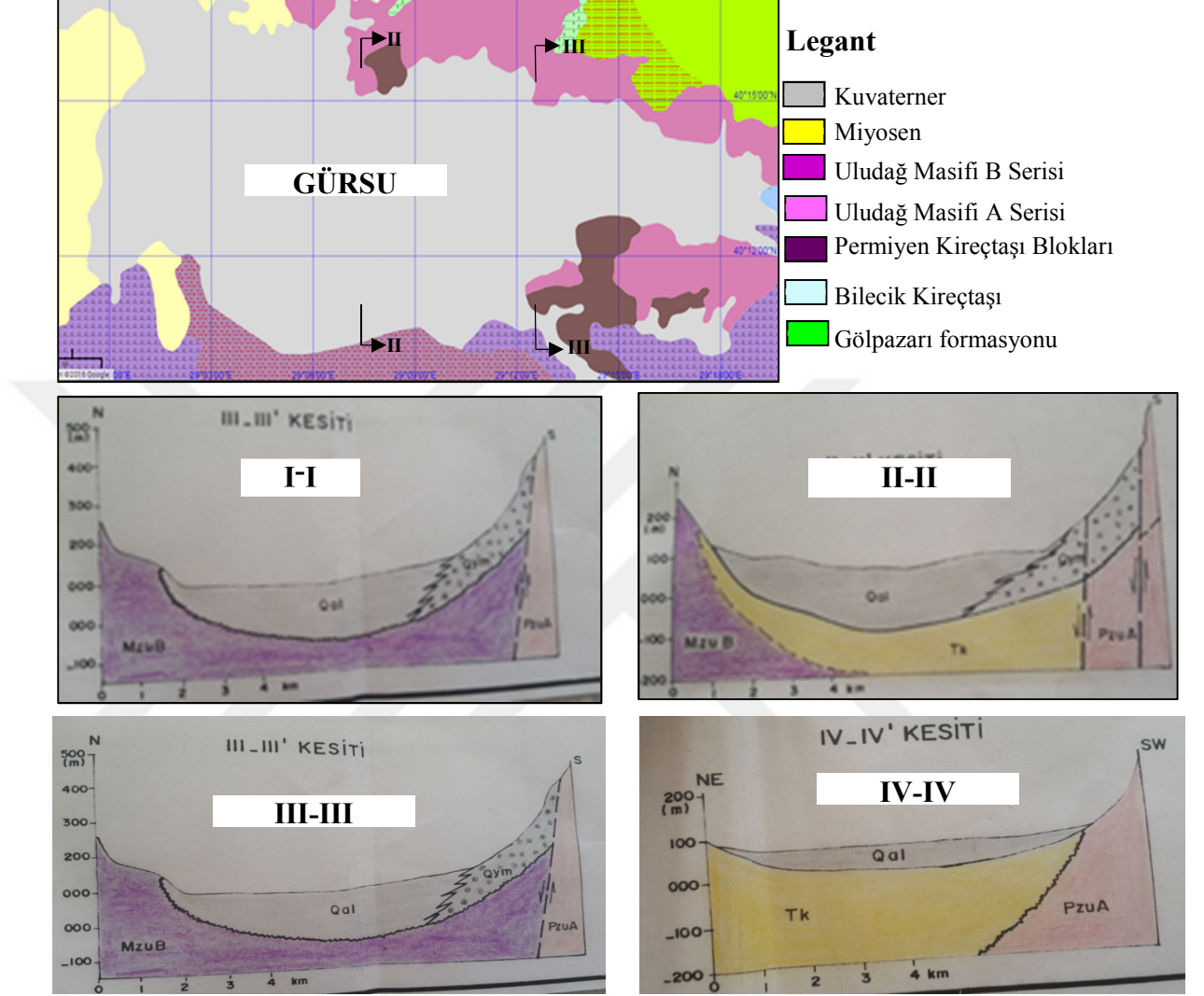
Alüvyon istifinin kalınlığı ova kenarlarında 2~3 m mertebelerine düşmekle beraber, ova ortasında kalınlığı 200 m mertebelerine ulaşmaktadır. Yer altı su seviyesi topografyaya bağlı değişmekle beraber ova ortalarında yüzeye oldukça yaklaşmakta ve ova ortasında yaklaşık olarak 4 m seviyelerindedir. Şekil 2.11’de ise Bursa ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti verilmiştir.



ÜST SİSTEMLER		S E N O Z O Y İ K				M E S O Z O Y İ K				ÜST PALEOZOYİK		PALEOZOYİK					
SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK	LİTOLOJİ	LİTOLOJİ ÖZELLİKLERİ	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK	LİTOLOJİ	LİTOLOJİ ÖZELLİKLERİ				
T E R S İ Y E R	KUVATERNER - GÜNCEL	ORTA MİYOSEN-PLİYOSEN KÖPRÜHİSAR	t	0-100 m		Traverten; boşluklu, gevşek yer yer sık dokulu, aragonit kristalleşmeli	Yamaç molozu; kum, kil bağlayıcı malzemeli, çakıllı iri bloklu	Alüvyon:kum, kil,silt, çakıl, blok boyutlu malzemeler içerir	Yer yer tuf ara tabakalı, çakıl, kum, kil, kumtaşı, kıltaşı, mam, kireçtaşı	granit, granodiyorit, porfirik yapılı, muskovit ve biotitlere sık rastlanır.	granodiyorit; monzonit-diyoritporfir, çoğunlukla arenalaşmıştır.	Serpantinit, peridotit	Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
E O S E N	TOPUK GRANO.	ULUDAĞ GRANİT	γ	0-		granit, granodiyorit, porfirik yapılı, muskovit ve biotitlere sık rastlanır.	granodiyorit; monzonit-diyoritporfir, çoğunlukla arenalaşmıştır.	Serpantinit, peridotit	Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer				
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
ERKEN JURA	ERKEN KRETASE	KRETASE OVAÇIK MELANJ	Ko	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer							
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
						DISKORDANS											
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba	0-500m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jb	800 m.		Kireçtaşı; beyaz-krem renkli, sert, kırılgan,	Kumtaşı; kirli kahverenkli, kaba dokulu, sert, bazen çakıllı, kötü boylanmış özellikte	Orhanlar Grovağı; sarımsı-kahverenkli, killi matriks içinde kötü boylanmış, köşeli kuvars, plajioklas, fillat, mafik volkanik parçaları içerir	Nilüfer Birimi; yüksek basınç/yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, ince taneli foliasyonlu, metatüf, metasplititik lav, albit-epidot-amfibol şist, sleyt-fillat, mikaşist, kalk şist, meta siltaşı, meta karbonatlar içerir	İleri derecede metamorfik,gnays, amfibolit, mikaşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşları, şisti mermer								
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
					DISKORDANS												
ERKEN KRETASE	KIREÇTAŞI	Jba															

Şekil 2.11 Bursa ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti [8].

İnceleme sahasının (Gürsu Ovası ve civarının) jeolojik birimler ve ovayı temsil edecek farklı kesitler Şekil 2.12 ile verilmiştir,



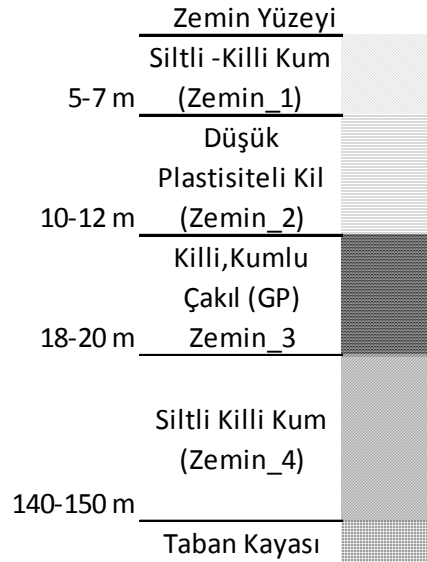
Şekil 2.12 Gürsu Ovasında yer alan jeolojik kesitler [9].

Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından oluşturulan sondaj verilerinden temin edilen arazi ve laboratuvar deney sonuçları Tablo 2.1. ile verilmiştir. Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen sondaj verileri 30 m derinliğe kadar veri içermektedir. 30 m daha derin zemin ve tabankayası verileri ise yukarıda verilen ve belediyeden temin edilen jeolojik kesitlerden tahmin edilmiştir. Söz konusu zemin verilerine dayanılarak oluşturulan ve analizlerde kullanılan zemin profili ise Şekil 2.13. de verilmektedir.

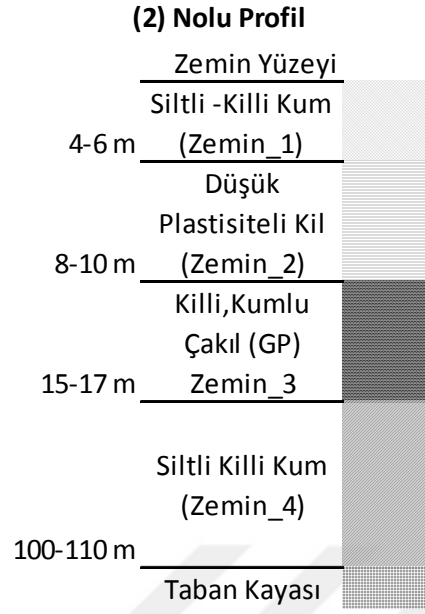
Tablo 2.1. Literatür ve sondajlardan belirlenen zemin verileri

Tabaka No	Legend	$\gamma_{doğal}$	$\gamma_{doymuş}$	SPT-N	LL	PL	IP	w_n	V_s					ϕ	c	FC
		(kN/m^3)	(kN/m^3)	(N_{60})	(%)	(%)	(%)	(%)	(m/sn)					(o)	(kN/m^2)	(%)
1a. Zemin Tabakası		17	19	6	NP	NP	0.00		105	4	7	30	32	30	1	38
1b. Zemin Tabakası		17	19	9	NP	NP	0.00	20.78	130	4	7	30	32	31	1	28
2. Zemin Tabakası		18	21	11	32.67	18.67	14.00	19.03	150					33	1	74
3. Zemin Tabakası		18	19.5	15	NP	NP	0.00	21.90	175	21	40	36	42	33	1	32
4. Zemin Tabakası		19	20	42	NP	NP	0.00	22.00	300	26	45	40	50	43	1	35
Taban Kayası			24						1500							

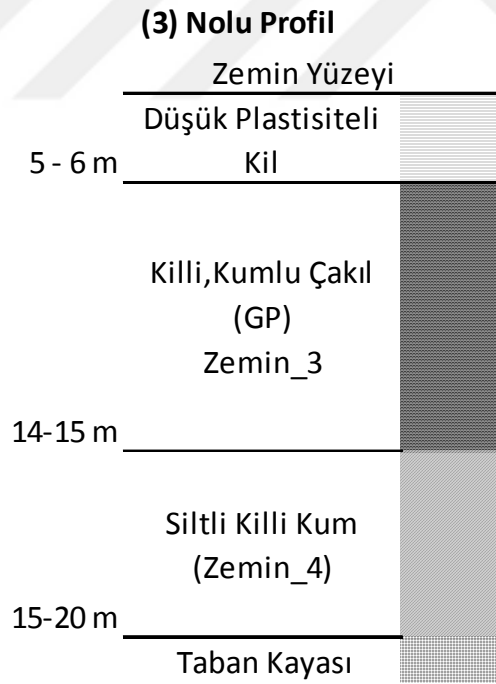
(1) Nolu Profil



Şekil 2.13.(a) Analizler için oluşturulan idealize zemin profilleri.



(a)



(c)

Şekil 2.13.(b) (c) Analizler için oluşturulan idealize zemin profilleri

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Analizlerde Kullanılan Zemin (Malzeme) Parametreleri

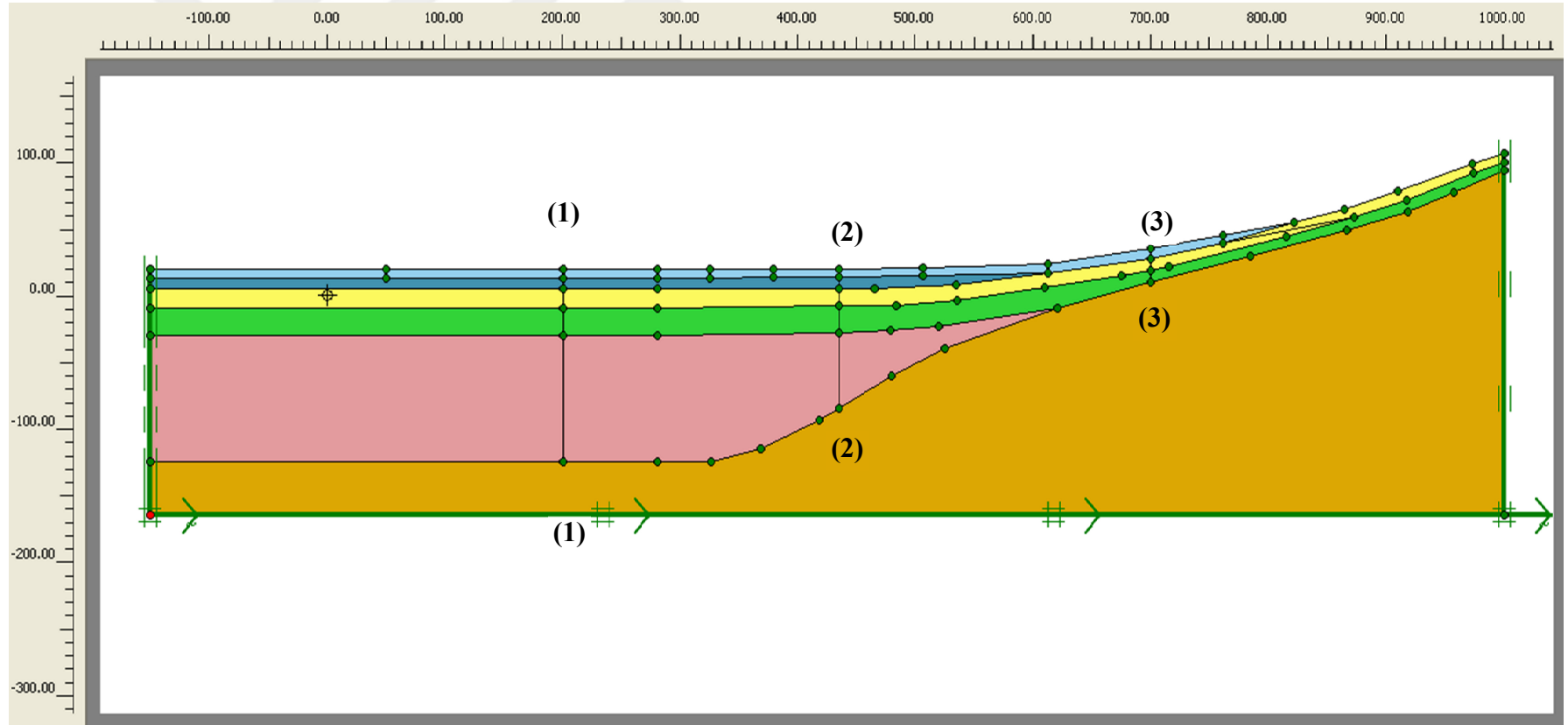
Gürsu ovası kenar güney tarafında Uludağ, kuzey tarafında ise Katırlı dağları ile uzun bir hat boyunca sınırlanmaktadır. Gürsu ovası dağlara sınır olduğu yamaç çizgisi boyunca farklı eğimlerde tabankayası üzerinde yer almaktadır. İlaveten Gürsu ovasındaki Alüvyon istifi ve iç kısımda farklı jeolojik özellikler göstermektedir. İnceleme alanı zemin tabakaları kil, siltli kum, çakıl gibi alüvyon birimlerinden birkaçının bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Yüzeyden itibaren yaklaşık 20 m derinliğe kadar zemin parametrelerinin belirlenmesinde yapı inşaatları esnasında ve Bursa Büyükşehir belediyesi tarafından sahada sondajlardan ve laboratuvar deneylerinden yararlanılmıştır [8,9,10,11]. Sondaj kuyularına ve laboratuvar deney sonuçlarına ait veriler detaylı olarak Ek.2 de verilmiştir. Taban kayası için kayma dalgası hızı $V_s=1500\text{m/s}$ olarak alınmıştır [8,12].

Gürsu ovasına ait jeolojik kesitler dikkate alınarak [8] analizlerde ova ortasında taban kayasının zemin yüzeyinden itibaren ortalama 150 m derinlikte olduğu dikkate alınmıştır. Tabakaların kayma dalgası hızları, standart penetrasyon deney sonuçlarına dayalı olarak Tonouchi (1983) [13] tarafından önerilen 3.1 bağıntısı ile tahmin edilmiştir. Maksimum kayma modülü (G_0) ise kayma dalgası hızına bağlı olarak bağıntı 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$V_s = 97 N^{0,314} \text{ m/s} \quad (N : \text{SPT-N değeri}) \quad (3.1)$$

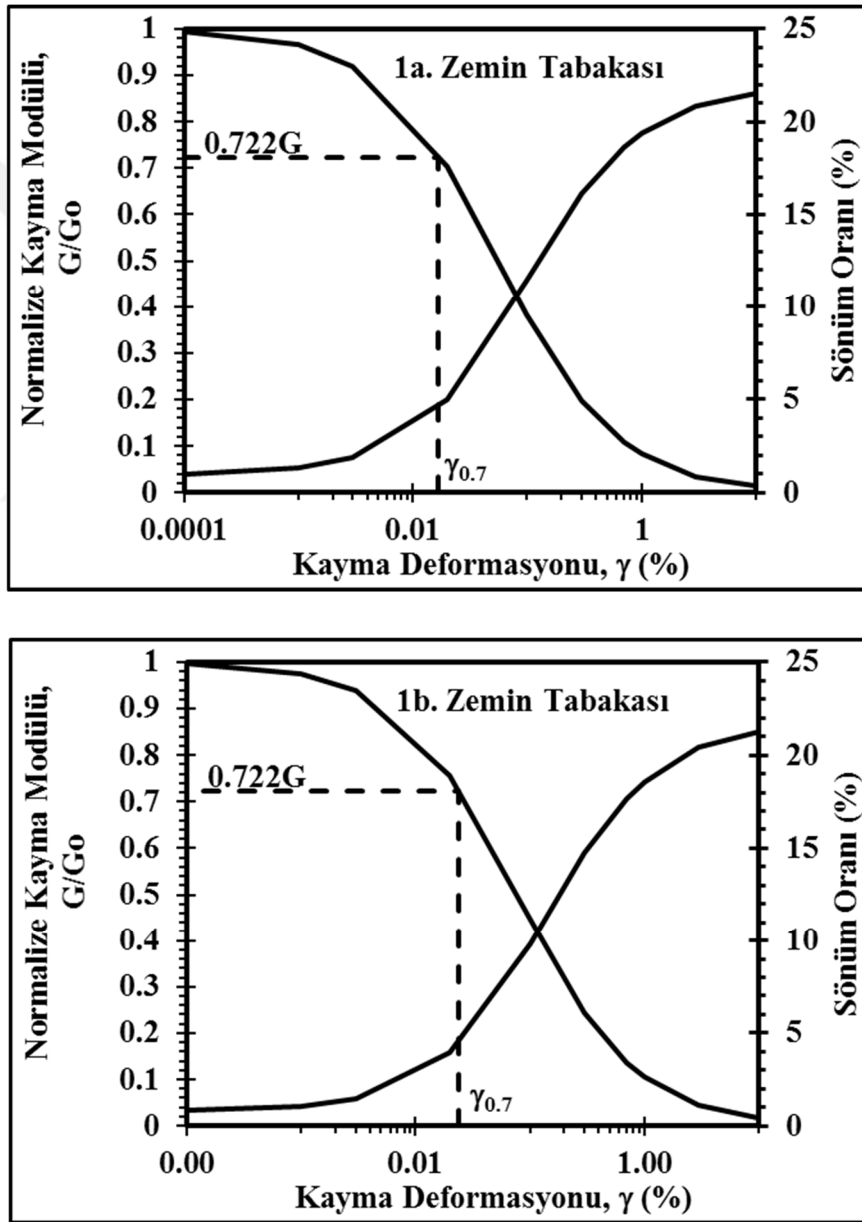
$$G = \rho V_s^2 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Analizleri yapılan ova kesiti için oluşturulan iki boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 3.1 ile verilmektedir. Şekil 3.1 de verilen kesit plaxis programında sonlu elemanlar ile analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar ile iki boyutlu olarak analiz edilen kesitin yukarıda Şekil 2.13 de gösterilen üç noktası (SK1, SK2, SK3) için bir boyutlu non-lineer analizler yapılmıştır. Bir boyutlu analizlerde oluşturulan zemin profilinde maksimum frekansın 30 Hz – 50 Hz arasında olacak biçimde tabaka kalınlıkları ayarlanmıştır.

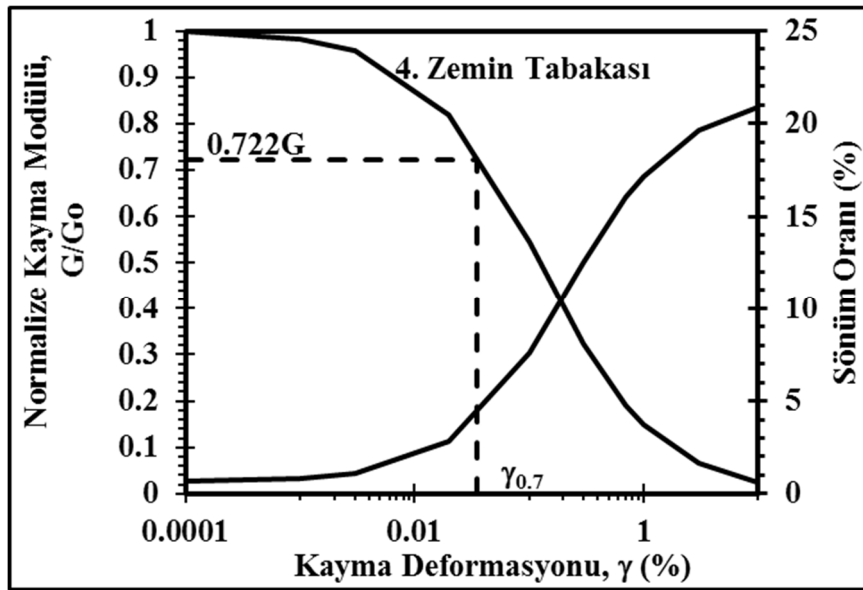
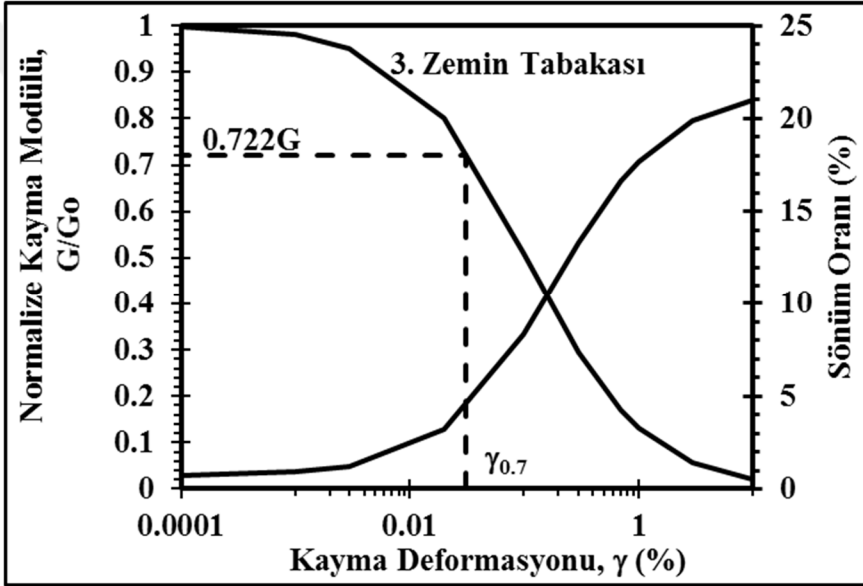
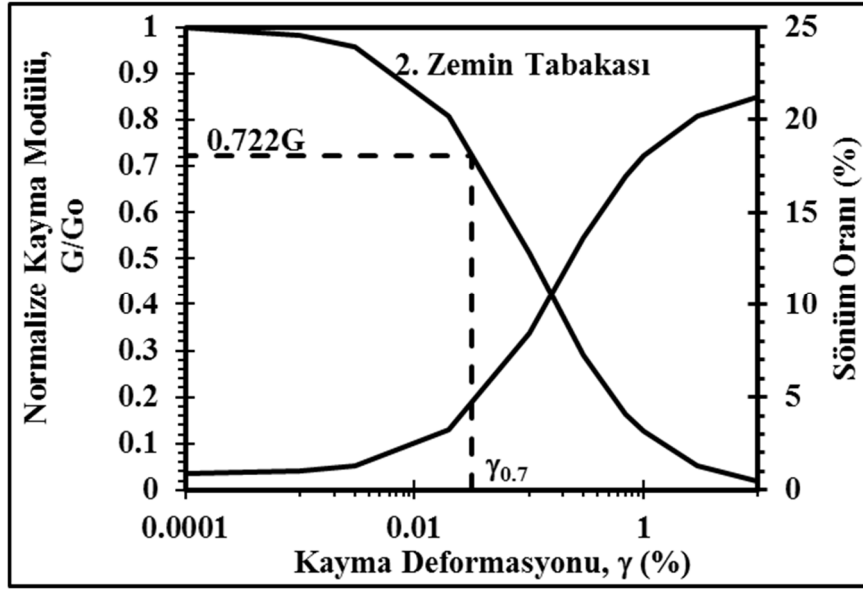


Sekil 3.1 İki boyutlu sonlu elemanlar yazılımında oluşturulan geometri ve bir boyutlu non-lineer analizlerin yapıldığı SK1, SK2, SK3 noktaları.

Zemin malzemeleri için oluşturulan omurga ve sönüm eğrileri Zhang (2008) [14] önerdiği yöntem ile belirlenmiş ve eğriler Deepsoil programına elle girilmiştir. İki boyutlu analizler için tabakaların ortası için omurga eğrileri oluşturulmuştur. Zemin tabakaları için oluşturulan omurga ve sönüm eğrileri Şekil 3.2 verilmiştir. Zemin verileri ve oluşturulan omurga eğrileri dikkate alınarak iki boyutlu analizler için zemin parametreleri Tablo 3.1 de verildiği gibi belirlenmiştir. Tabaka ortaları için oluşturulan omurga eğrileri ise Şekil 3.2 ile verilmiştir.



Şekil 3.2. Zemin omurga ve sönüm eğrileri (devam ediyor).



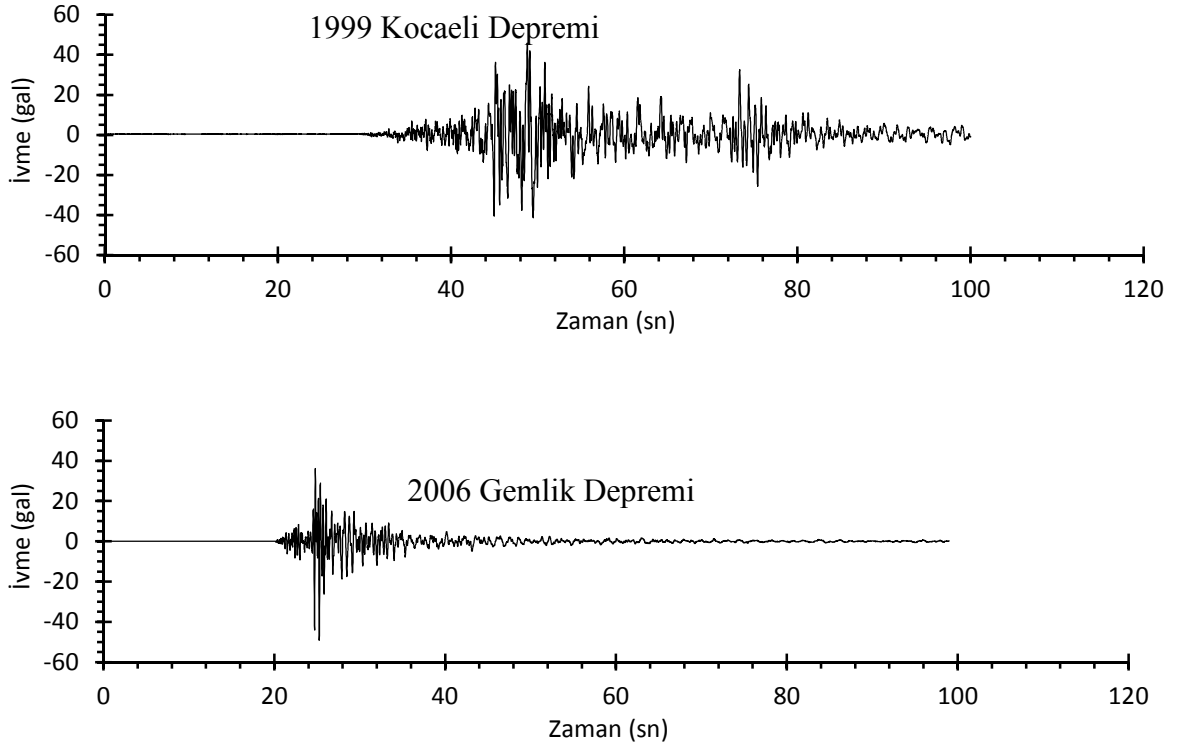
Şekil 3.2. Zemin omurga ve sönüm eğrileri (devam ediyor).

Tablo 3.1 İki boyutlu analizler için belirlenen zemin parametreleri

Tabaka No		1	2	3	4	6
Tabaka Kalınlığı (m)		7.0	8.0	15.0	20.0	24.0
Tanımlama		ZT1a	ZT1b	ZT2	ZT3	ZT4b
Model		Hs Small	Hs Small	Hs Small	Hs Small	Hs Small
Davranış		D	U	U	U	U
$\gamma_{\text{doğal}}$	(kN/m ³)	17.0	19.0	21.0	19.5	20.5
$\gamma_{\text{doygün}}$	(kN/m ³)	17.0	19.0	21.0	19.5	20.5
Rayleigh α		0.089	0.089	0.089	0.089	0.089
Rayleigh β		0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
E_{50}^{ref}	(kN/m ²)	2200	3796	5364	5700	34850
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	(kN/m ²)	1034	1716	2471	2438	10815
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	(kN/m ²)	6599	11388	16092	17100	104549
m	--	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
c	(kN/m ²)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
φ	(°)	30	31	33	33	44
ψ	(°)	0	1	3	3	14
$\gamma_{0.7}$	(%)	0.01682	0.02381	0.03200	0.03084	0.03540
G_0	(kN/m ²)	19106	32732	48165	60875	213986
$0.722G_0$	(kN/m ²)	13794	23632	34775	43952	154498

3.1.2. Anakaya Seviyesinde Girilen Yer Hareketleri

Dinamik analizlerde geçmiş tarihlerde meydana gelmiş ve bölgede kaydedilmiş Şekil 3.3’de verilen iki farklı deprem ivme kaydı maksimum ivme değerleri (a_{maks}) 0.4g, 0.25g, 0.10g olacak şekilde ölçeklendirilerek taban kaya girdisi olarak kullanılmıştır.



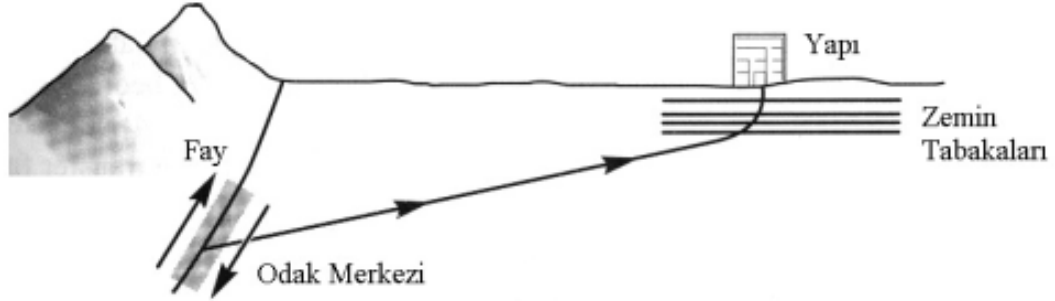
Şekil 3.3. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ve bölgedeki sismograflar tarafından kaydedilmiş depremlere ait ivme kayıtları [15].

3.2 Yöntem

3.2.1. Bir Boyutlu Dinamik Zemin Davranış Analizleri

Başta deprem olmak üzere bazı olaylar zeminlerde dinamik yüklemeler oluşturur. Fay düzlemlerinde yer kabuğu plakalarının birbirlerine göre göreceli olarak ani hareket etmeleri neticesinde hareketin kaynak bölgesinde cisim dalgaları oluşur ve bu cisim dalgaları her yönde hareket ederler. Farklı jeolojik formasyonlar arasındaki sınırlara erişince kırılırlar ve yansır. Genellikle yüzeydeki tabakalarda dalga ilerleme hızları alt tabakalardakinden daha düşük olduğu için, zemin tabakalarına belli bir açıyla gelen deprem dalgalarının bir kısmı yansır, bir kısmı da Snell kanununa uyarak gelme açısından daha küçük bir açıyla kırılarak üst tabakalara doğru ilerler. Bu dalgalar zemin yüzeyine ulaştıklarında çok fazla kırılmadan dolayı neredeyse yüzeye dik konuma gelirler (Şekil 3.1). Bir boyutlu zemin davranış analizi; anakayanın ve üzerindeki bütün zemin tabakalarının yatay yönde sınırsız olduğu ve zemin tabakalarının deprem hareketine karşı tepkisinin büyük oranda düşey yönde ilerleyen kayma dalgalarına karşı olduğu teorisine dayanmaktadır. Deprem dalgasının farklı

tabakalar arasındaki hareketi sırasında frekans içeriğinde meydana gelen değişimin elde edilebilmesi için transfer fonksiyonları kullanılır.



Şekil 3.4. Deprem kaynağından çıkan dalgaların farklı zemin formasyonlarından ve tabakalarından geçerek ilerlemesi [5]

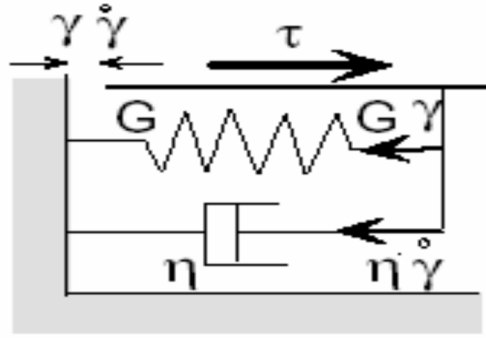
3.2.1.1 Eşdeğer Doğrusal Yaklaşım

Bir boyutlu eşdeğer doğrusal dinamik analizlerde zemin gerilme – deformasyon ilişkisinin temsil edildiği eşdeğer doğrusal yaklaşım Şekil 3.2 de gösterilen Kelvin – Voigh modeline dayanır. Kayma gerilmesi τ , kayma deformasyonu γ ve kayma deformasyon oranı γ° aşağıda gösterilmiştir.

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

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

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



Şekil 3.5 Eşdeğer lineer metotta kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli [16].

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

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

$U(z)$ ve $\Gamma(z)$ sırası ile yer değiştirme ve kayma deformasyonunun genliğidir. Denklem 3.3 ve denklem 3.1'in kombinasyonu ile denklem 3.4 elde edilir.

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

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

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

tam bir tekrarlı yüklemdeki enerji kaybı W_d gerilme – deformasyonunun oluşturduğu kapalı alana eşittir.

$$W_D = \oint_{\pi c} \pi d\gamma d\phi \quad (3.6)$$

Deformasyon – düzgün yüklü tekrarlı hareket (genlik, $\gamma_c(\gamma(t) = \gamma_c e^{i\omega t})$) 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 önüne alınmıştır. Denklem 3.4 ün gerilme deformasyon oranları göz önüne alındığında;

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

denklem düzenlendiğinde

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

Olur ve sistemde depolanan maksimum deformasyon enerjisi;

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

dir. Kritik sönüm oranı ξ , W_D ve W_S cinsinden aşağıdaki gibi gösterilebilir.

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

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

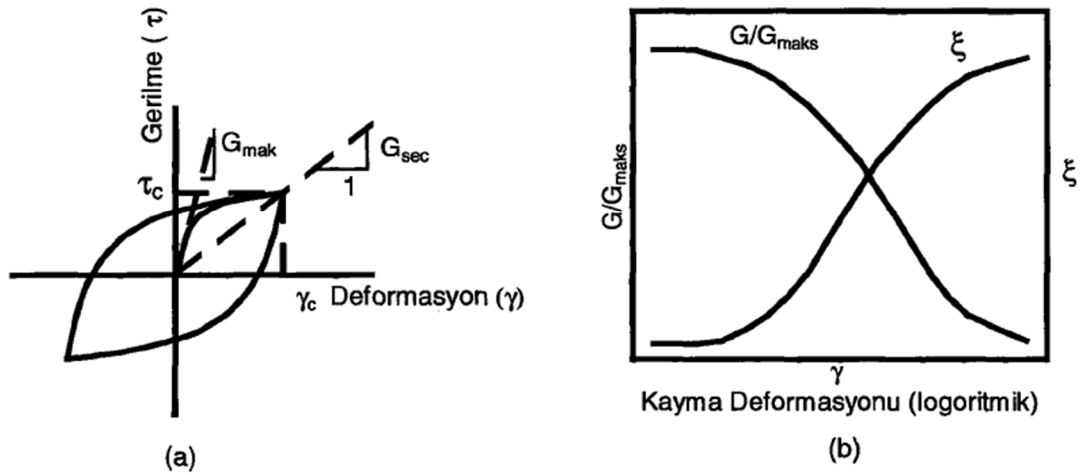
Eşdeğer doğrusal yaklaşım, doğrusal olmayan özellikteki bazı zemin tiplerinin davranışını açıklamak için Kelvin– Voigt modelinin modifiye edilmesi ile geliştirilmiştir. Devirsel yükleme durumunda zeminlerin doğrusal olmayan ve histeritik gerilme – deformasyon davranışı için geliştirilen yaklaşım Şekil 3.3 de gösterildiği gibidir. Eşdeğer doğrusal kayma modülü (G), Şekil 3.6.a de gösterildiği gibi kayma gerilmesinin (τ_c) büyüklüğüne bağlı olan kayma modülünün sekantı (G_s) olarak alınmaktadır.

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

Burada τ_c ve γ_c sırası ile kayma gerilmesi ve kayma deformasyonunun genliğidir. Eşdeğer doğrusal sönümlenme oranı ξ , kapalı histeretik gerilme deformasyon eğrisinin bir devrinde oluşan enerji kaybı oranına eşittir.

Davranış analizi yapılacak meteryal genellikle Şekil 3.6 de gösterilen özelliktedir. Kalıcı deformasyon malzemenin özelliğini yitirdiği yumuşama ve göçme gibi durumlarda Şekil 3.6 da verilen eğriler, kayma modülü (G) nin özelliklerine bağlı olmasından dolayı farklılıklar gösterir.

Eşdeğer doğrusal model, yük kalktığında deformasyonların sürekli sıfıra döndüğü tekrarlı yüklemeler için geçerlidir. Doğrusal özellikte kabul edilen malzemede kalıcı deformasyon oluşması için bir yük sınırı yoktur.



Şekil 3.6 Eşdeğer lineer model (a) Histeresis eğrisi, (b) Sekant kayma modülü ve sönüm oranının şekil değiştirme seviyesi ile değişimi

Gerçekte deprem etkisi ile zeminlerde kalıcı deformasyonlar oluşabilmektedir. Buna rağmen eşdeğer doğrusal yaklaşım zemin tepki analizleri gerçeğe yakın sonuçlar veren bir yöntemdir [5]. $\tau - \gamma$ eğrilerinin özelliklerinin değiştiği, kalıcı deformasyon, yumuşama göçme gibi bazı durumlar hariç $G/G_{max} - \gamma$ eğrileri Şekil 3.3 de gösterilen duruma uymaktadır. Yumuşama yüksek gerilme ve yüksek deformasyon sonucu oluşan fiziksel bir durumdur. Yumuşama ve kalıcı deformasyon gibi durumların

hesaba katılması mühendislik analizlerinde daha karmaşık yöntemlerin kullanılmasını gerektirir. Kalıcı deformasyon, yumuşama, göçme gibi durumlar hariç tutulduğunda aşağıdaki ifade yazılabilir.

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

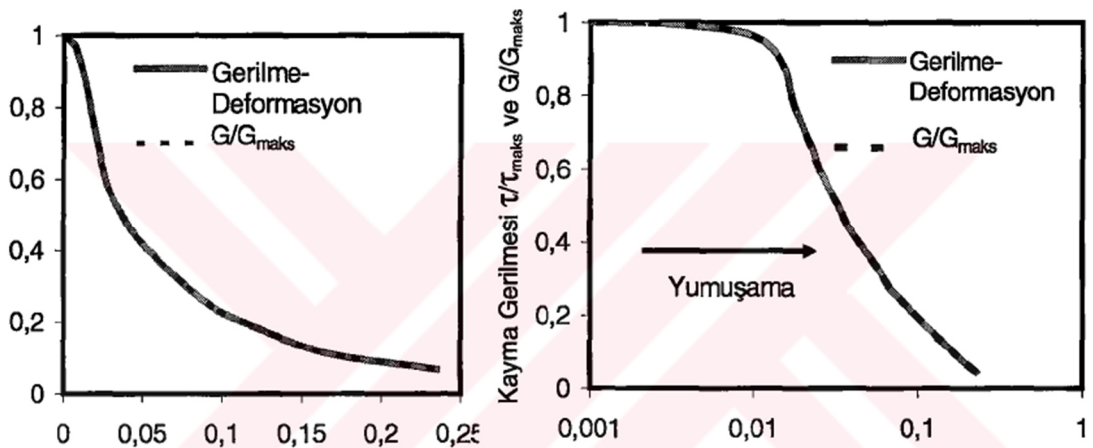
(G_i, γ) değerleri, $(G_S - \gamma)$ değer çiftinden farklı olduğunda denklem (3.13) şu hale gelir;

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

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



Şekil 3.7 τ/τ_{maks} ve G/G_{maks} eğrileri deformasyon yumuşamasına bir örnek olarak doğrusal ve yarı logaritmik olarak gösterimi [16].

3.2.2.1. Sönüm

Sönüm dinamik yüklenmiş bir malzemedeki ya da mekanik sistemdeki enerji miktarının ısıya dönüşüp azalmasıdır. Malzemenin sönümünün büyük olması, bu malzemenin dinamik yükleme ve titreşimler sırasında daha çok enerji yutması demektir. Zeminlerde sönüm, zemin elemanında bir çevrim sonucu yutulan enerji miktarıdır. Zeminlerin sönüm özelliklerini bilmek, zeminlerde dalga yayılımı, deprem yükleri karşısında zemin davranışı gibi dinamik problemlerin çözümü açısından önem arz etmektedir. Sönüm miktarı, dinamik gerilme-şekil değiştirme davranışında oluşan histerisis ilmiğinden hesaplanır [17]. Histerisis ilmiğinin alanı, malzemenin enerjiyi sönümleme kapasitesini göstermektedir. Zeminlerde ve yapılardaki enerji, sürtünme, ısı, plastik akma gibi mekanizmalarla yutulur. Yutulan enerjiyi tanımlamak için kullanılan tanımlardan biri viskoz sönümdür. Viskoz sönüm, visko-elastik bir sistem olarak idealize edilen malzemede, bir titreşim devrinde yutulan enerji miktarıdır. Jacobsen, (1930) [18] tarafından önerilen eşdeğer sönüm oranı, ξ ,

$$\xi = 4\pi W_S \quad (3.16)$$

W_D , yutulan enerji, W_S maksimum birim kayma enerjisi olarak gösterilir. Lineer olmayan davranış esnasında depolanan enerji, Sekil 3.8'de görüldüğü gibi sekant kayma modülünü tanımlayan doğrunun altında kalan üçgenin alanı olarak elde edilir. Böylece depolanan enerji

$$W_S = \frac{1}{2} \gamma_a f(\gamma_a) \quad (3.17)$$

(4.7)

olarak ifade edilir.

Burada, γ_a birim kayma genliğinde bir çevrimde kaybedilen enerji miktarı,

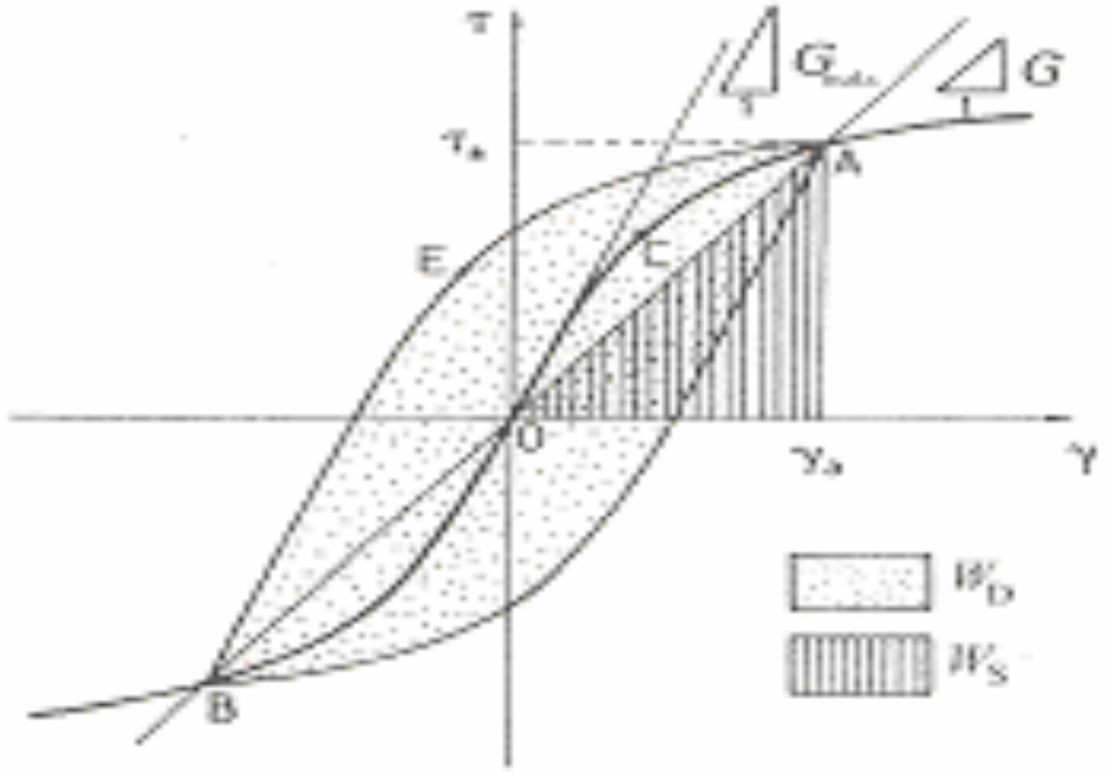
$$W_D = 8 \left[\int_0^{\gamma_a} f(\gamma) d\gamma - W \right] \quad (3.18)$$

olarak hesaplanır.

(3.16) ve (3.17) bağıntıları (3.18) bağıntısında yerine konulursa sönüm oranı

$$\xi = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\int_0^{\gamma_a} f(\gamma) d\gamma}{\gamma_a f(\gamma)} \right] \quad (3.19)$$

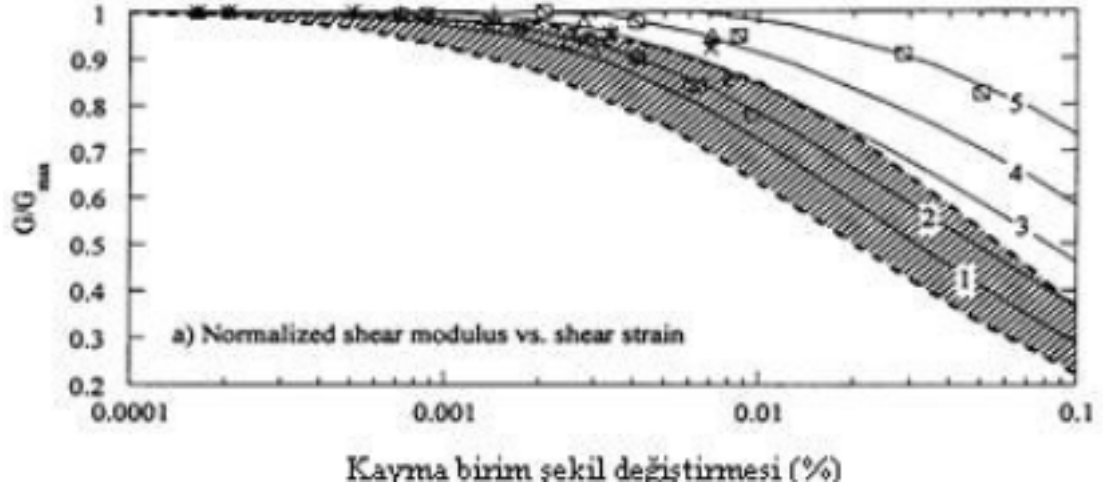
şeklinde bulunur.



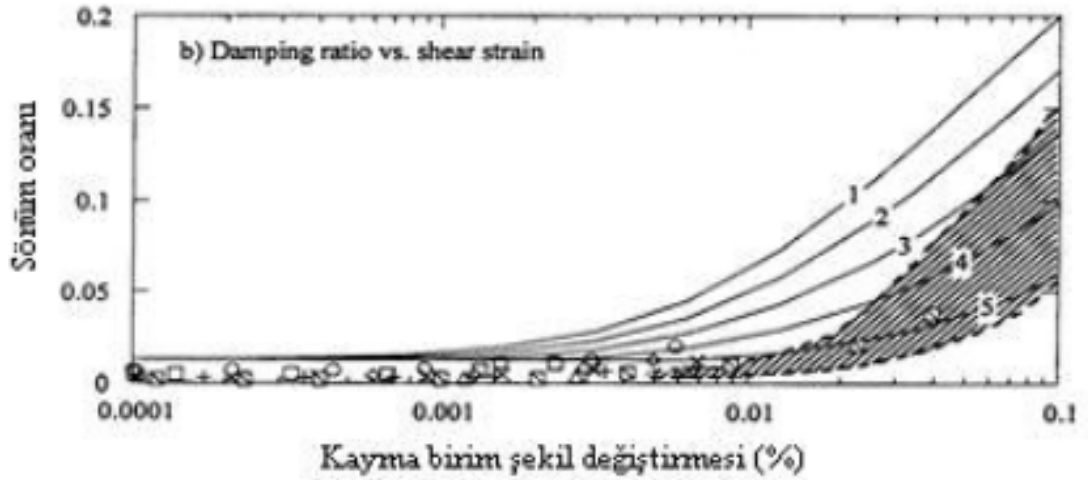
Şekil 3.8 Histeresis Eğrisi

3.2.3. Non-linear Analiz

Gerçekte zeminin tekrarlı yükler altındaki davranışı non-lineerdir ve yükün şiddeti, tekrarlı yükleme sayısı, ve zeminin cinsi gibi birçok faktörden etkilenir. Non lineer histeretik zemin davranışı genellikle bir eşdeğer sekant kayma modülü ve viskoz sönüm ile karakterize edilir [19, 20]. Çok geniş zemin sınıflandırmaları için sönüm eğrileri, birçok araştırmacı tarafından [21, 22] geliştirilmiştir. Bu eğriler nispeten sığ (< 30 m) çökellerdeki sismik zemin tepkisini tahmin etmek için çok sık kullanılmaktadır. Şekil.3.6' de Laird ve Stokoe (1993)'un verileri [22], Seed ve Idriss'in [19] kum zemin sınıflandırması ile Ishibashi ve Zhang (1993)'ın [23] kohezyonsuz zemin modelinden elde edilen eğriler gösterilmiştir.



Laird & Stokoe çkrtlen		Seed & Idriss	
çevre basıncı		çevre basıncı	
○	27.6 kPa	×	221 kPa
□	55.2 kPa	+	442 kPa
○	110 kPa	△	883 kPa
□	1776 kPa		
		—— Ishibashi & Zhang (Model)	
		1=27.6 kPa 2=55.2 kPa 3=110 kPa	
		4=221 kPa 5=442 kPa	

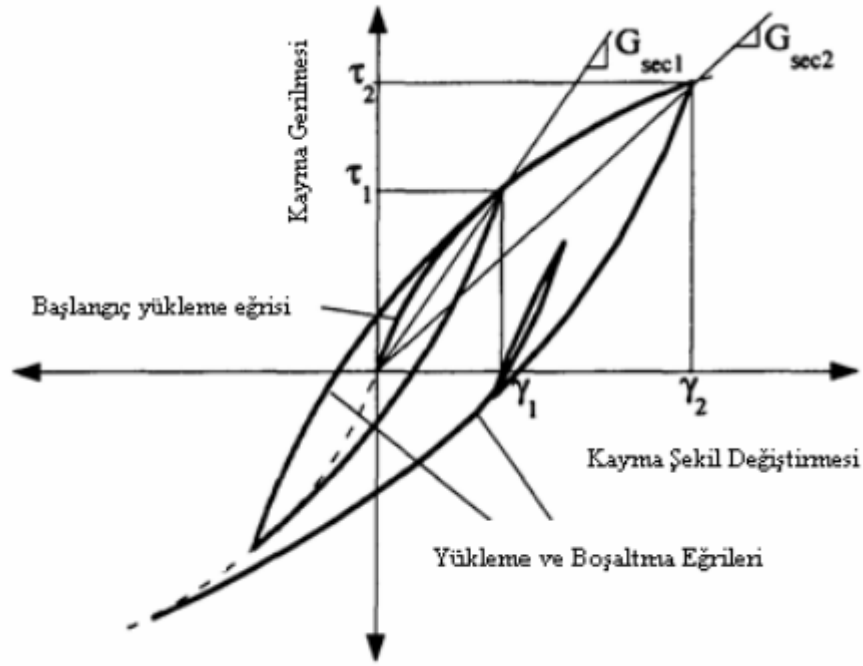


Şekil 3.9. Çevre basıncının zeminlerin kayma modül ve sönüm oranı üzerindeki etkileri.

Analizlerde esas alınan hareket denklemi aşağıda verilmiştir.

$$[M] \left\{ \ddot{u} \right\} + [C] \left\{ \dot{u} \right\} + [K] \left\{ u \right\} = -[M] \left\{ I \right\} \ddot{u}_g \quad (3.19)$$

Burada; M kütle matrisi; C sönüm matrisi; K rijitlik matrisidir, I birim vektördür. Şekil 3.7 de zemin için boşaltma ve tekrar yükleme davranışı gösterilmiştir [23].



Şekil 3.10.Yüklemeye ve boşaltma davranışını tanımlayan hiperbolik, non lineer zemin modeli [23].

Non-linear analizlerde zeminin doğrusal olmayan davranışını tahmin etmek için Matasovic (1993) [23], Kondner ve Zelasko (1963) [24] gibi araştırmacılar tarafından önerilen veya bir miktar aşağıda denklem 3.20 ile verilen değiştirilmiş hiperbolik modeller kullanılır.

$$\tau = \frac{G_{mo} \gamma}{1 + \beta \left(\frac{G_{mo} \gamma}{\tau_{mo}} \right)^s} = \frac{G_{mo} \gamma}{1 + \beta \left(\frac{\gamma}{\gamma_r} \right)^s} \quad (3.20)$$

Burada G_{mo} ; başlangıç kayma modülü, τ_{mo} ; kayma dayanımı, γ ; kayma şekil değişirilmesi'dir. β , s ve γ_r model parametreleridir. Hashash ve Park (2001) [25] γ_r ile gerilmeyi ilişkilendirmek için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\gamma_r = REF \gamma \left(\frac{\sigma'_v}{REF \sigma} \right)^h \quad (3.21)$$

Burada, σ_v ; efektif düşey gerilmedir. Nonlinear analizlerde tabaka kalınlığı, maksimum frekansa göre ayarlanır, $h = V_s/4f_{\max}$ bağıntısında $f_{\max}$ 25-50 Hz arasında kalacak şekilde bir tabaka kalınlığı seçilerek analiz yapılır.

3.2.3.1 Bir Boyutlu Sonlu Elemanlar ile Analizler

Deepsoil programı ilk olarak Hashash (2002) [26] tarafından geliştirilen ve neredeyse her yıl güncellenen bir yazılımdır. Deepsoil yazılımı frekans tanım alanında lineer ve eşdeğer lineer analizler, zaman alanında ise lineer ve nonlinear analizler yapabilen bir yazılımdır. Ayrıca yazılım ile zemin içinde gelişen boşluksuyu basınçları da modellenabilmektedir. Burada yapılan çalışmalarda zaman tanım alanında nonlinear analizler yapılmıştır. Ayrıca iki boyutlu sonlu eleman analizlerinde ihtiyaç duyulan Rayleigh α ve Rayleigh β Deepsoil programının yardımı ile hesaplanmıştır. Deepsoil programı yardımı ile belirlenen Rayleigh α ve Rayleigh β değerleri Plaxis programında zemin parametresi olarak kullanılmıştır.

3.2.3.1 İki Boyutlu Sonlu Elemanlar ile Analizler

Sonlu elemanlar yönteminde genel hareket denklemi aşağıdaki gibidir [2].

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{F\} \quad (3.22)$$

(3.22) bağıntısında, M, kütle matrisi, C, sönüm matrisi, K, rijitlik matrisi, $\{F\}$ yük Vektörü, $\{\ddot{u}\}$ düğüm noktaları ivme vektörü, $\{\dot{u}\}$, düğüm noktaları hız vektörü, $\{u\}$, düğüm noktaları yer değiştirme vektörüdür.

Sönüm terimi genellikle kütle ve rijitliğin lineer kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır.

$$C = \alpha M + \beta K \quad (3.23)$$

(3.23) bağıntısında α ve β skaler büyüklerdir ve Rayleigh sönüm katsayıları olarak ifade edilmektedir. Bağntı (3.23)'deki sönüm terimine sahip bir sistemin n. modu için sönüm oranı aşağıdaki gibi ifade edilir

$$\xi_n = \frac{\alpha}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{\beta}{2} \omega_n \quad (3.24)$$

Burada ω_n açısal frekansı göstermekte, α ve β katsayıları, i. ve j. modlar için belirlenen sönüm oranları ξ_i ve ξ_j kullanılarak (3.25)'de verilen matris çözülerek bulunabilmektedir.

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{Bmatrix} \quad (3.25)$$

Eğer her iki modun da aynı sönüm oranına sahip olduğu düşünülürse α ve β aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_i \times \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \beta = 2\xi \frac{1}{\omega_i + \omega_j} \quad (3.26)$$

Herhangi bir sistemin dinamik analizinde, daha önceden belirlenen ve sistemin dinamik tepkisine belirgin şekilde katkısı olması istenen modlar için ayrı sönüm oranı seçilmektedir. Böylece daha yüksek doğal frekansa sahip modların sönüm oranı artmakta ve bu modların dinamik analize katkıları çok azalmaktadır.

3.1.3.1.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Plaxis

Bu tez çalışmasında iki boyutlu analizler Plaxis sonlu elemanlar yazılımı ile yapılmıştır. Plaxis değişik geoteknik problemleri için, sonlu elemanlar yöntemi ile deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır. Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından 1987 yılında ilk olarak yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, gerilme – şekil değiştirme, zemin – yapı etkileşimi, akım ağı, taşıma gücü, konsolidasyon, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmektedir.

Plaxis yazılımında zeminlerin sonlu elemanlarda modellenebilmesi için Lineer Elastik, Mohr – Cloumb, Soft soil model, Hardining soil model, HS small model, Modified

Cam-Clay Model, Soft soil Creep Model, Jointed Rock Model gibi modeller geliştirilmiştir. Zemin modelleri hakkında detaylı bilgi ve açıklamalar yazılımın kullanım klavuzunda mevcuttur. Geteknik problemin durumuna göre uygun model seçilmelidir. Bu çalışmada plaxis sonlu elemanlar yazılımında iki boyutlu dinamik analizler için en uygun model HS small model seçilmiştir.



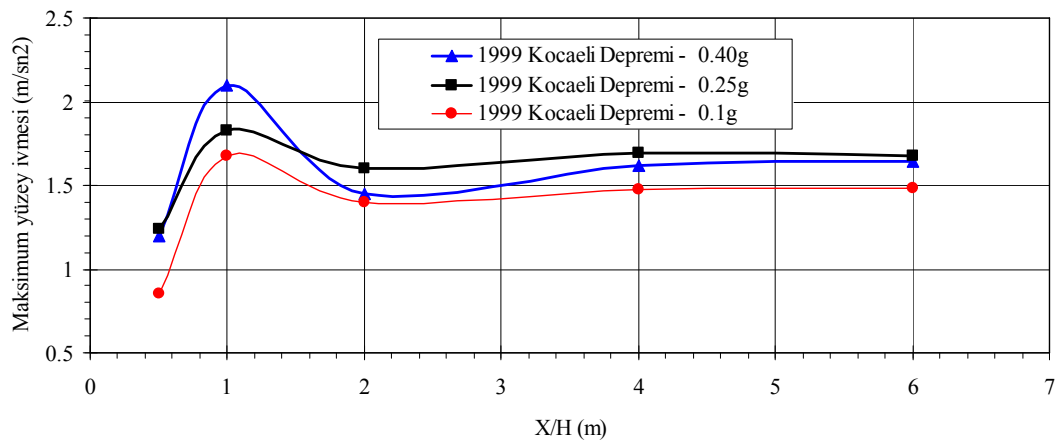
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1.Araştırma Bulguları

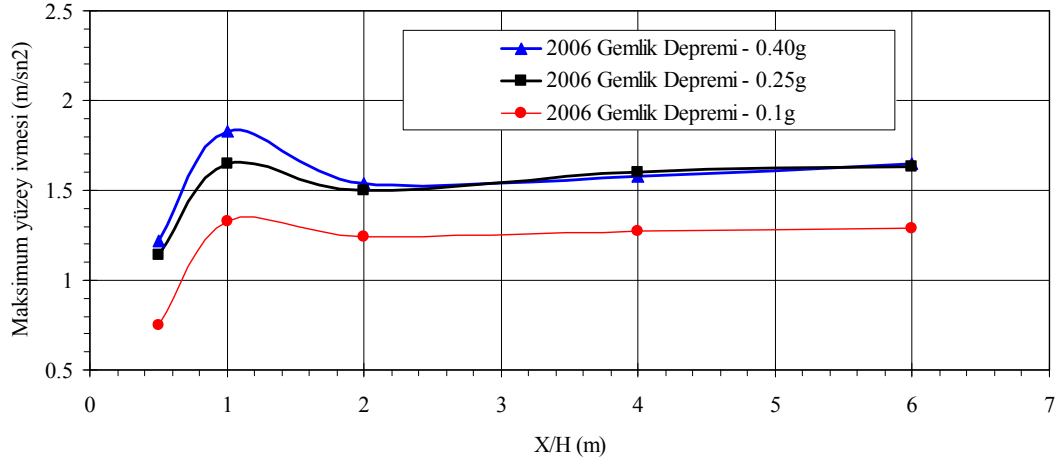
Yapılan bu çalışma ile Gürsu bölgesinde kalın bir alüvyon istifinin olduğu ve yer altı su seviyesinin 8-10 m derinliklerde olduğu görülmüştür. Sahada Alüvyon zeminler kum, kil, silt, çakıl gibi zeminlerin karışımlarından oluşmaktadır. Sahada ilk 20 m derinlik içinde SPT değerlerinin düşük olması zeminlerin gevşek ve suya doymun olduğunu göstermektedir.

Analizlerde bölgeyi etkilemiş olan Kocaeli 1999 ve Gemlik 2006 deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Yamaç etkisinin görülebilmesi için analizler sonlu elemanlar ile iki boyutlu olarak yapılmıştır.

Şekil 4.1 ile verilen kesitler için Kocaeli 1999, Gemlik 2006 depremleri kullanılarak iki boyutlu sonlu elemanlar (Plaxis) ile yapılan dinamik analizler sonucunda zemin yüzeyleri için elde edilen büyütme değerleri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ile verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi zemin yüzeyindeki farklı noktalarda zemin büyütmeleri farklı değerler almaktadır. Kesitin kenar bölgesinden ova ortasına doğru gidildikçe (X değeri arttıkça) zemin yüzey ivme değerleri artmakta ve belirli bir X/H değeri (H alüvyon istifinin kalınlığı) için zemin yüzeyi ivme değerler maksimum olmakta, daha sonra ise tekrar ova ortasına doğru gidildikçe zemin yüzey ivme değerleri düşüşe geçmektedir. Yüzey ivmesinin maksimum değere ulaştığı X/H değeri Kocaeli ve Gürsu depremleri için yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.



Şekil 4.1. Farklı ölçeklerde girdi olarak kullanılan 1999 Kocaeli Depremi için kesit üzerinde farklı noktalardaki maksimum yüzey ivme değerleri



Şekil 4.2. Farklı ölçeklerde girdi olarak kullanılan 2006 Gemlik Depremi için kesit üzerinde farklı noktalardaki maksimum yüzey ivme değerleri

4.2. Tartışma

Zemin tabakalarının dinamik analizi için geliştirilen hesap yöntemleri genellikle karşılaşılan problemin gereksinimine göre, bir, iki ve üç boyutlu olarak tanımlanır. Bir boyutlu dinamik zemin davranış analizlerinde yüzey topoğrafyası ve taban kayası topoğrafyası ihmal edilmektedir. Tek boyutlu çalışmalar sahadaki fiziksel durumu iyi bir şekilde temsil edememektedir ancak kolay ve kullanışlı olmasından dolayı sıkça tercih edilmektedir. Sahadaki fiziksel durum en gerçekçi üç boyutlu analizler ile elde edilebilir. İki boyutlu dinamik zemin davranış analizleri ise geniş alanlara yayılmış vadilerde üç boyutlu analizlerin yerine geçebilmektedir.

Her ne kadar iki veya üç boyutlu analizler sahadaki gerçek durumu temsil ediyor olsa da, iki ve üç boyutlu analizler için ihtiyaç duyulan zemin parametrelerinin belirlenmesinde güçlükler yaşanmakta ve belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. İki ve üç boyutlu analizlerden doğru sonuçların edilebilmesi için standartlara uyum üç eksenli deneylerin yapılması gerekmektedir. Ne varki üç eksenli deneyler yapılmak istense bile kalın alüvyon istifinin olduğu sahalarda derinlerdeki zeminler için bu pek mümkün olmamaktadır. Günümüzde zemin parametrelerinin belirlenmesi dolaylı olarak Standart Penetrasyon Testlerinden (SPT) veya zemin tanımlama deneylerinden yapılmaktadır. Bu durumda da iki ve üç boyutlu analizlerden elde edilen bilgilerin güvenilirliği azalmaktadır. Bir boyutlu analizlerde ise literatürdeki birikmiş bilgi ve tecrübelerden dolayı belirsizlikler iki veya üç boyutlu analizlere nazaran daha az ve

sonuçlar daha güvenilir ve tutarlı olmaktadır. Bir veya iki boyutlu analizlerin avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Analiz yapılacak sahadaki bilgi ve verilerin durumuna ile analiz yapılacak noktanın konumuna göz önüne alınarak uygun analiz yöntemi seçilmelidir



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada taban kayası topografyasının (eğiminin) dinamik zemin davranışlarına etkisi incelenmiştir. Araştırmada taban kayası eğiminin dinamik zemin davranış üzerindeki etkilerini ortaya koymak için bir ve iki boyutlu farklı taban eğimleri göz önüne alınarak dinamik zemin davranış analizleri yapılmıştır. Bir boyutlu dinamik zemin davranış analizlerinde doğrusal, eşdeğer doğrusal ve non-lineer analizler yapılmıştır. Bir ve iki boyutlu analiz sonuçları tezin önceki bölümlerinde karşılaştırılmış olup aşağıda da özetlenmektedir.

Bursa – Gürsu ovasının taban kayasının özelliklerini temsil etmek için taban kayası eğimi ovanın ortasına gidildikçe azalacak şekilde modellenmiştir. Yapılan parametrik analizler neticesinde taban kayası topografyasının ova kenarlarında dinamik zemin davranışı üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Ova açıklığı arttıkça ve ova kenarından uzaklaştıkça diğer bir değiş ile ovanın ortasına doğru gidildikçe (taban kayasının topografyasının düzleştiği orta noktalarda) iki boyutlu analiz sonuçları ile tek boyutlu analiz sonuçları bir birine yakınsamıştır. Ova kenarlarına gidildikçe iki boyutlu analiz sonuçları ile bir boyutlu analiz sonuçları arasındaki fark artmıştır.

Bu araştırmada parametrik çalışmaların yanında incelenen Gürsu ovasında alüvyon istifinin orta kesimlerde 150 m civarına ulaştığı hatta bazı kesimlerde daha da kalınlaştığı literatür araştırmalarından görülmüştür. Ovadaki mevcut yerleşim bütün satha yayılmış olup ova ortasında ve kenarlarda kümelenmiştir. Gürsu ovası oldukça büyük olup etrafındaki dağlar ile kesişimini oluşturan dağ yamaçlarının eğimi **10°** ile **80°** arasında değişim gösterebilmektedir. Ovadaki zemin istifinin dinamik davranışını temsil etmek amacı ile 15° ile 75° arasında değişen eğimlere sahip dağ yamaçları için bölgeyi etkilemiş olan Gürsu 2016, Kocaeli 1999, Gemlik 2006 deprem ivme kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan dinamik analizlerde yeraltı suyu gelişimi ve sönümlenmesi incelenmemiştir.

Sonlu elemanlar ile 0.4g, 0.25g, 0.10g, 0.05g lik maximum yüzey ivme değerine sahip deprem ivme kayıtları için yapılan dinamik analizler sonucunda, sahada elde edilen büyütme değerleri Kocaeli depremi için sırasıyla 0.170, 0.161, 0.156, 0.155, 0.155. Gürsu depremi için 0.037, 0.035, 0.034, 0.034, 0.030 Gemlik depremi için 0.0077, 0.005, 0.005, 0.005, 0.0049 olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile yeraltı suyu olmadığı durum için söz konusu zemin özellikleri deprem hareketini sönümlemişlerdir.

Analizler neticesinde eğimli taban kayası üzerinde duran zemin istifinin yüzeyindeki farklı noktalarda zemin büyütmeleri farklı değerlerde oluşmuştur. Kesitin kenar bölgesinden ova ortasına doğru gidildikçe zemin yüzey ivme değerleri artmakta ve belirli bir X/H (X: Yatayda ova kenarından olan mesafe, H: Zemin istifinin taban kayası üzerindeki kalınlığı) değeri için zemin yüzeyi ivme değerleri maksimum olmakta, daha sonra ise tekrar ova ortasına doğru gidildikçe zemin yüzey ivme değerleri düşüşe geçmektedir. Yüzey ivmesinin maksimum değere ulaştığı X/H değeri Kocaeli ve Gürsu depremleri için yaklaşık olarak aynı kalmaktadır. Ancak yamaç eğimi azaldıkça X/H değeri artmakta, yüzey ivmesinin maksimum olduğu nokta yamaç kenarından uzaklaşarak ova ortasına doğru kaydığı tespit edilmiştir. Maksimum yüzey ivmesinin olduğu noktalar için eğim açısı 15°, 30°, 45°, 60°, 75° için X/H değerleri için sırası ile 5.00 , 3.62, 3.40, 3.08 ve 2.72 olarak gerçekleşmiştir.

Gürsu ovası için maksimum büyütme yamaçlardan X/H=2.5~5.0 oranında gerçekleştiği görülmüştür. Bu bölgelerde yapılacak yapıların en büyük deprem etkisine maruz kalacağı göz önünde bulundurulmalı ve gereken analizler ile hesaplamalar yapılmalıdır.

Yapılan bu çalışma ile Gürsu bölgesinde kalın bir alüvyon istifinin olduğu ve yer altı su seviyesinin 8-10 m derinliklerde olduğu belirlenmiştir. Sahada daki Alüvyon zeminler kum, kil, silt, çakıl gibi zeminlerin karışımlarından oluşmaktadır. Sahada ilk 20 m derinlik içinde SPT değerlerinin düşük olması zeminlerin gevşek ve suya doygun olduğunu göstermektedir.

Büyütmenin maksimum değer aldığı X/H oranı yamaç eğimi arttıkça azalmıştır. Yamaç eğimi yataylaştıkça X/H nin büyütme üzerindeki etkisi daha hızlı değiştiği tespit edilmiştir.

Eğim arttıkça yaklaşık 30° eğimden sonra X/H nin büyütme üzerindeki etkisi oldukça azalmış olup sonuçlar bir boyutlu dinamik analiz sonuçlarına yakınsamıştır. 75° lik yamaç eğiminden sonra is X/H oranının büyütme üzerindeki etkisi yaklaşık olarak sabitleşmiştir.

Bursa – Gürsu ovası ele alınarak yapılan bu çalışma ile ovaların dağ yamaçlarına yakın kesimlerinde daha gerçekçi dinamik analiz sonuçlarına ulaşmak için bir boyutlu dinamik zemin davranış analizlerinin eksik kalabileceği görülmüştür. Ova kenarlarında yer alan bölgeler için dinamik zemin davranış analizlerinin iki veya üç boyutlu olarak modellenmesinin daha doğru ve gerçekçi sonuçlar vereceği neticesine varılmıştır.



KAYNAKLAR

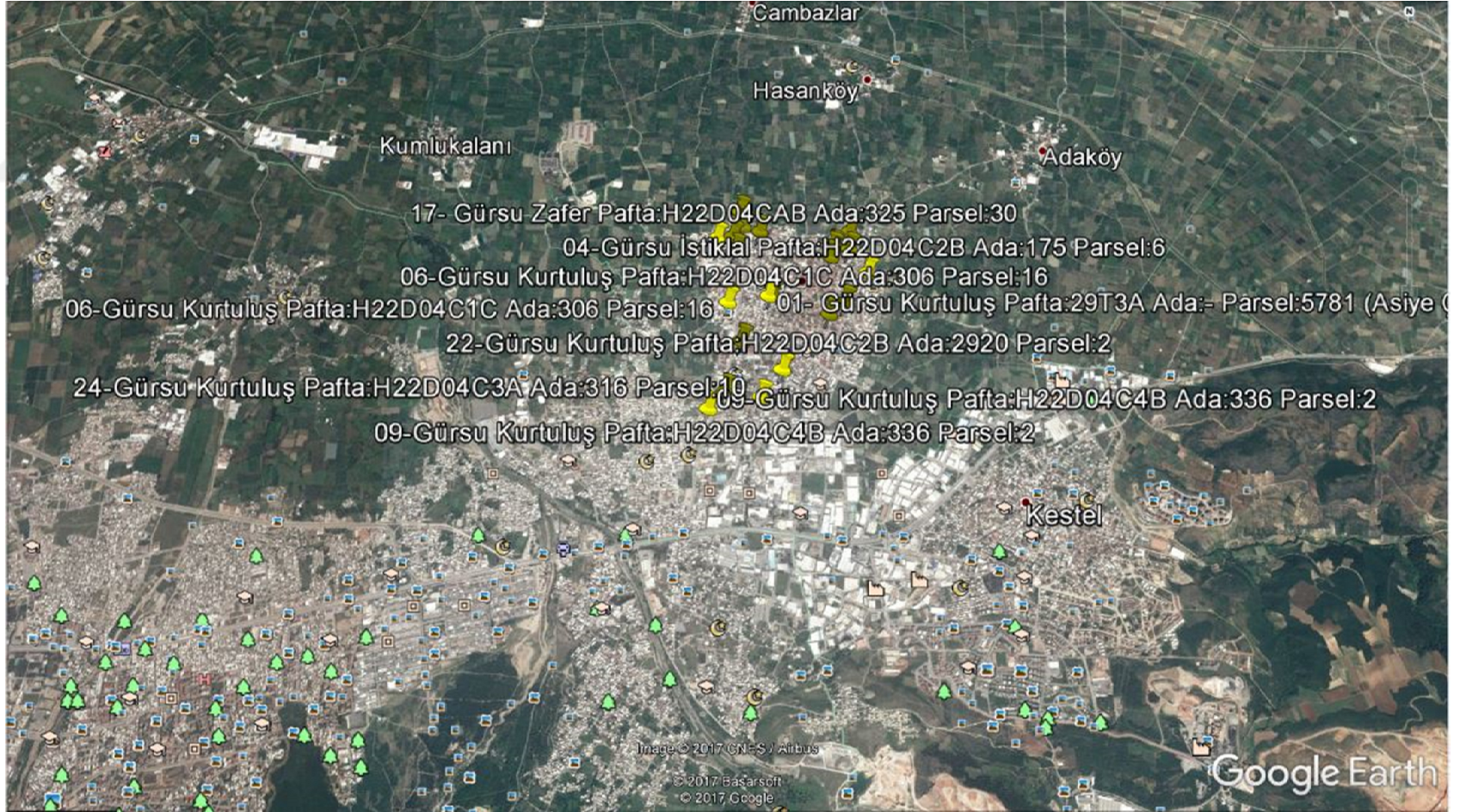
- [1] Ansal, A., Depremlerde Yerel Zemin Koşullarının Yapısal Hasara Etkisi ,Yapı Endüstri Merkezi Deprem Semineri, 1986 İstanbul, sf.1-35
- [2] Haşal, M.E. Topoğrafik Düzensizliklerin Zemin Büyütmesine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2009, 358 s. (Doktora Tezi).
- [3] Bard, P. Y. and Bouchon, M.. The seismic response of sediment-filled valleys. Part 1. The case of incident SH waves, Bulletin of the Seismological Society of America, 1980a, 70, 1263–86.
- [4] Bard, P. Y. and Bouchon, M. The seismic response of sediment-filled valleys. Part 2. The case of incident P and SV waves, Bulletin of the Seismological Society of America, 1980b, 70, 1921–41.
- [5] Kramer, S. L. Geoteknik Deprem Mühendisliği (Doç. Dr. Kamil Kayabalı, Çev.). Ankara,Gazi Kitabevi, 2003,708 s
- [6] Kawase, H. and Aki, K. (1989). A study on the response of a soft basin for incident. S, P and Rayleigh waves with special reference to the long duration observed in Mexico City, Bulletin of the Seismological Society of America, 79, 1361–82.
- [7] Faccioli, E., Vanini, M. and Frassinetti, L. Complex site effects in earthquake ground motion, including topography, 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Reference: 2002, 844
- [8] Bursa Büyükşehir Belediyesi Gürsu İlçesi Zemin Araştırma Raporu-2017, Bursa 2017
- [9] Bursa Büyükşehir Belediyesi Zemin Araştırma Raporu-2017 , Bursa 2017
- [10] Bursa İli – Gürsu İlçesi Zafer Mahallesi H22D04C1B Pafta 336 Ada 12 Parsel Mühendislik Jeolojisi Raporu, 2015, SEGA MÜHENDİSLİK. Rapor No:ZM-153236, Bursa
- [11] Bursa İli – Gürsu İlçesi Kurtuluş Mahallesi H22D04C3A Pafta 336 Ada 12 Parsel Mühendislik Jeolojisi Raporu, 2016, GEOCENTER SONDAJCILIK. Rapor No:ZM-164683 , Bursa / 33
- [12] Başarı, E., 2011. Kuzey-doğu Bursa İl Merkezi Zeminlerinin Dinamik Zemin Davranış Analizleri. DEÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2011, 13(1), 39–53.
- [13] Tonouchi, K., Sakayama, T., and IMAI, T. 1983. S wave velocity in the ground and the damping factor. Bull.1983, IAEG. No.26-27, pp.327-333 Tonouchi et all

- [14] Zhang J, Andrus R.D. and Juang H. . Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships. Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 131 (4) pp. 453-464.
- [15] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı [AFAD]. Depremler Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) <http://www.deprem.gov.tr/sabis/veritabanı/>
- [16] Bardet, J.P., Ichii, K. and Lin, C.H., “EERA: A Computer Program for Equivalent-Linear Earthquake Response Analyses of Layered soil Deposits”, 2000, University of Southern California, Los Angeles
- [17] Ishihara, K. . Soil behavior in earthquake geotechnics. 2. Press, ISBN: 0-19-856224-1, 2003, New York: Oxford University Press
- [18] Jacobsen, S. Experimental study of the dynamic behavior of models of timber walls,. Bulletin of the Seismological Society of America, 1930, 20: 115–146
- [19] Seed H.B. ve Idriss,, I.M., “Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses” Report EERC 70-10, 1970, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley - pelin
- [20] Hardin ve Drnevich, “Shear modulus and damping in soils: design equations and curves”, Journal of the soil Mech. And Found. Division, 1972, ASCE, 98 (SM7) , p667-692
- [21] Seed H.B., Wong, R.T., Idris, I.M., ve Tokimatsu, K. Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils, Journal of Geotechnical Engineering, 1986, ASCE, 112 (GTII, p1016-1032
- [22] Vucetic, M., ve Dobry,, R., Effect of soil plasticity on cyclic response” Journal of Geotechnical Engineering, 1991, ASCE, 117(1), pp.88-107
- [23] Matasovic N. Seismic Response of Composite Horizontally Layered Soil Deposits. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of California at Los Angeles Matasovic. 1993
- [24] Kodner R.L., Zelasko J.S., “Hyperbolic stres-strain formulation of sands”, Proc. 2nd Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sao Paulo. 1963, Brazil pp. 289-324.
- [25] Hashash Y., Park D., “Non-linear One-dimensional Seismic Ground Motion Propagation in the Mississippi Embayment”, Engineering Geology vol 62, 2003, p.185 206
- [26] Hashhash, Y., DeepSoil (2004) “ Tutorial and User Manual”, V2.5, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign and Youssef Hashash. 2004



EKLER

EK-1 Sondaj Lokasyonları



EK-1-2:2 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C1B/336/12		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454438			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Az Çakıllı Killi Kum	SC	1,7	28	16	12	3	37	10,30	18,00	240,39
Y																
686097																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-4	6.00-6.45		SC	1,7	26	16	10	9	46	22,20		
10		10,50														
			SK-1	SPT-8	12.00-12.45	Çakıllı Siltli Kum	SW-SM	1,9	-	NP	-	43	9	12,20	21,00	252,32
		15,00														
			SK-1	SPT-12	18.00-18.45	Az Kumlu Siltli Çakıl	GW-GM	1,9	-	NP	-	77	5	6,50	43,00	315,99
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-3:3 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	-No.10 (%)	-No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C4B/332/5		0,60				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4453172			SK-1	SPT-2	3.00- 3.45	Az Kumlu Kil	CL	1,7	27	16	11	1	60	20,70	19,00	244,512
Y																
686047																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-4	6.00- 6.45		CL	1,7	24	15	9	1	68	20,00		
8		10,00														
			SK-1	KAROT	10.50- 12.00	İri Çakıl									>50.00	331
		15,00					GW	1,9	-	-	-	-	-	-		
						SİLT-KİL -KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-4:4 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	-No.10 (%)	-No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2B/175/6		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454249			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CL	1,7	26	15	11	8	74	20,60		
Y						Az Kumlu Kil									18,00	240,39
687157																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-4	6.00-6.45		CL	1,7	29	17	12	10	67	23,80		
8		7,50														
			SK-1	SPT-7	10.50-10.95	Az Killi Kumlu Çakıl	GM	1,9	-	NP	-	57	22	11,50	48,00	327,00
		12,00														
			SK-1	SPT-11	16.50-16.95	Az Kumlu Siltli Kil	CL	1,9	26	16	10	7	74	21,60	27,00	273,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-5:5 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

[illegible]

65

[illegible]

EK-1-7:7 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 kalan (%)	(-)No.20 0 geçen (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2A/297/6		0,50				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454615			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Çakıllı Killi Kum	CL	1,7	24	15	9	20	52	18,20	13,00	217
Y																
686294																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-6	9.00-9.45	Az Kumlu Siltli Kil	CL	1,7	25	16	9	13	53	22,90	25,00	266,00
6,00		9,00														
			SK-1	SPT-9	13.00-13.95	Az Kumlu Siltli Kil	CL	1,9	26	16	10	7	68	18,70	25,00	266,00
		15,00														
			SK-1	SPT-11	16.50-16.95	Çakıllı Killi Kum	SC	1,9	27	16	11	29	41	22,40	17,00	236,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-8:8 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 kalan (%)	(-)No.20 0 geçen (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
29T4C/178/2		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4453612			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Kumlu Kil	CL	1,7	29	17	12	0	72	16,60	11,00	206
Y																
686163																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-5	7.50-7.95		SC	1,7	25	16	9	20	38	12,00		
11,00		6,50														
			SK-1	SPT-8	12.00-12.45	Az Çakıllı Killi Kum	SC	1,9	24	16	8	27	30	9,70	24,00	263,00
		12,50														
			SK-1	SPT-11	16.50-16.95	Az Kumlu Az Çakıllı Kil	CL	1,9	26	16	10	26	53	21,70	11,00	206,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-9:9 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 kalan (%)	(-)No.200 geçen (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C4B/336/2		0,25				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4453024																
Y																
685921																
Y.A.S.S (m)																
16,50		4,50														
			SK-1	SPT-3	4.50-4.95	Kumlu Killi Çakıl	GC	1,7	25	15	10	44	25	16,50	34,00	293
			SK-1	SPT-7	10.50-10.95	Kumlu Kil	CL	1,9	28	17	11	4	55	24,00	20,00	248,00
			SK-1	SPT-12	18.00-18-45	Az Killi Kumlu,Siltli Çakıl	GM	1,9	-	NP	-	50	19	10,80	50,00	331,00
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

69

[illegible]

EK-1-11:11 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+) No.10 (%)	-No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2C/172/5		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4453975			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli Kil	CL	1,7	25	14	11	0	68	20,30	9,00	194
Y		4,00														
686974																
Y.A.S.S (m)																
13			SK-1	SPT-7	10.50-10.95	Siltli Kum	SC	1,9	24	16	8	15	42	19,60	12,00	211,00
		11,00														
			SK-1	SPT-10	15.00-15.45	Siltli Kil	CL	1,9	32	16	16	3	78	30,60	20,00	248,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350,00
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-12:12 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	-No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2C/2907/10		0,40				Bitkisel Toprak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Koordinatlar																
X			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli Kil	CL	1,7	25	14	11	0	58	15,20	18	240
4453865																
Y		5,00	SK-1	SPT-3	4.50-4.95	Siltli Kil	CL	1,7	29	16	13	1	63	19,70		
686850																
Y.A.S.S (m)																
6			SK-1	SPT-6	9.00-9.45	Siltli Kil	CL	1,9	32	17	15	3	53	30	14,00	222,00
		15,00														
			SK-1	SPT-10	15.00-15-.45	Çakıllı Kum	SC	1,9	26	16	10	26	40	18,70	50,00	331,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350,00
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-13:13 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	-No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2B/195/24		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli KİL	CL	SK-7	29,00	18,00	11,00	1,00	51,00	20,20	8,00	186,00
X																
4454387			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CL		30,00	17,00	13,00	1,00	66,00	24,70		
Y		5,00														
686967																
Y.A.S.S (m)																
6																
			SK-1	SPT-6	9.00-9.45	Siltli KİL	SC	1,9	23	16	7	31	20	15,5	10,00	199,00
		13,00														
			SK-1	SPT-8	12.00-12.45	Siltli KİL	SC	1,9	26	16	10	14	36	18,7	24,00	263,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350,00
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-14:14 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

[illegible]

EK-1-15:15 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2D/-/4714		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X			SK-1	SPT-1	1.50-1.95		CL	1,7	33	18	15	0	72	CL		
4454027			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CL	1,8	24	15	9	2	53	CL		
Y																
686394			SK-1	SPT-6	9.00-9.45		CL	1,8	30	18	12	1	69	CL		
Y.A.S.S (m)																
15		13,50	SK-1	SPT-8	12.00-2,45		CL	1,8	29	16	13	0	67	CL		
						Çakıl Arabanntlı Siltli Kil			-	-	-	-	-	-	26,00	269,81
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-16:16 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2A/307/3		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454664			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli Kum	SM	1,7	-	NP	-	8	27	26,60	14,00	222,155
Y																
686159																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CI	1,7	43	22	21	1	82	29,20		
9		4,00														
			-	-	-	Çakıl Arabantlı Siltli Kum	-	1,8	-	-	-	-	-	-	26,00	269,81
		10,00														
			SK-1	SPT-7	10.50- 10.95	Çakıllı Kum	SW-SM	1,8	-	NP	-	17	11	19,40	21,00	252,31
			SK-1	SPT-11	16.50- 16.95		SW-SM	1,8	-	NP	-	42	6	2,80		
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350,00
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-17:17 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C1B/325/30		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454545			SK-1	SPT-1	1.50-1.95		CL	1,7	27	15	12	0	77	7,40		
Y						Siltli Kil									16	231,66
685945																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CL	1,7	26	16	10	0	72	16,40		
10,00		7,50														
			SK-1	SPT-6	9.00-9.45	Kumlu Çakıl	GM	1,8	-	N.P	-	54	15	8,60	45,00	320,00
		10,00														
			SK-1	SPT-8	12.00-12- .45	Siltli Kum	SC	1,8	23	15	8	6	38	20,60	14,00	222,15
		16,00														
						Çakıllı Kum	-		-	-	-	-	-	-	35,00	296,22
		20,00														
						KUM-SİLT-KİL										350,00
		150,00														
						ANAKAYA										1500

EK-1-18:18 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.200 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C1B/312/3		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454803			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Killi Kum	CL	1,7	27	15	12	0	77	7,40	7	178,7
Y		3,00														
686117																
Y.A.S.S (m)																
7,00																
			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Çakıllı Az Kumlu Silt	CL	1,7	26	16	10	0	72	16,40	15,00	227,02
			SK-1	SPT-6	9.00-9.45		GM	1,7		N.P	-	54	15	8,60		
			SK-1	SPT-8	12.00-12.45		SC	1,7	23	15	8	6	38	20,60		
		16,50														
						Killi Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	30,00	282,20
		20,00	-	-	-											
						KİL-SİLT-KUM										350
		150,00														
						ANAKAYA										1500

1-19:19 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

78

EK-1-20:20 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2B/249/30		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454485																
Y																
686889																
Y.A.S.S (m)																
5		4,00														
			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli Kum	CL	1,7	-	N.P	-	0	31	14,10	16	232
							CL	1,7		N.P	-	0	4	5,10		
			SK-1	SPT-3	4.50-4.95	Kumlu Çakıl	GM	1,8	25	16	9	54	55	22,30	45,00	320,00
		6,00														
			SK-1	SPT-8	9.00-9-.45	Siltli Kum	SC	1,8	25	16	9	6	80	23,00	14,00	222,00
		12,00														
					12,00-12,45	Çakıllı Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	35,00	296,00
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

80

[illegible]

EK-1-22:22 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2B/2920/2		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Az Çakıllı Siltli Kum	SC	1,8	27	16	11	14	35	15,4	13	217
X																
4453370			SK-1	SPT-4	6.00-6.45		SC	1,8	27	16	11	18	31	11,4		
Y		11,00														
686482			SK-1	SPT1-6	9.00-9.45	Kumlu Siltli Kil	SC	1,8	25	15	10	12	48	21,9	22	256,00
Y.A.S.S (m)																
11			SK-1	SPT1-8	12.00-12.45		CL	1,8	28	17	11	2	62	23,6		
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-23:23 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2C/197/5		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Kumlu Siltli Kil	CL	1,7	27	16	11	3	75	23,90	14,00	222
X																
4454468			SK-1	SPT-6	9.00-9.45		CL	1,8	24	16	8	2	73	22,10		
Y																
687015																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-10	15.00-.45		CL-ML	1,8	22	15	7	2	68	20,70		
7		17,00														
			SK-1	SPT-12	18.00-18.45	Çakıl Killi Siltli Kum	SC-SM		22	15	7	27	44	18,30	28,00	276
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

83

[illegible]

[illegible]

85

[illegible]

EK-1-16:16 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2A/307/3		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454664			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli Kum	SM	1,7	-	NP	-	8	27	26,60	14,00	222,155
Y																
686159																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CI	1,7	43	22	21	1	82	29,20		
9		4,00														
			-	-	-	Çakıl Arabantlı Siltli Kum	-	1,8	-	-	-	-	-	-	26,00	269,81
		10,00														
			SK-1	SPT-7	10.50- 10.95	Çakıllı Kum	SW-SM	1,8	-	NP	-	17	11	19,40	21,00	252,31
			SK-1	SPT-11	16.50- 16.95		SW-SM	1,8	-	NP	-	42	6	2,80		
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350,00
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-17:17 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C1B/325/30		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454545			SK-1	SPT-1	1.50-1.95		CL	1,7	27	15	12	0	77	7,40		
Y						Siltli Kil									16	231,66
685945																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-2	3.00-3.45		CL	1,7	26	16	10	0	72	16,40		
10,00		7,50														
			SK-1	SPT-6	9.00-9.45	Kumlu Çakıl	GM	1,8	-	N.P	-	54	15	8,60	45,00	320,00
		10,00														
			SK-1	SPT-8	12.00-12- .45	Siltli Kum	SC	1,8	23	15	8	6	38	20,60	14,00	222,15
		16,00														
						Çakıllı Kum	-		-	-	-	-	-	-	35,00	296,22
		20,00														
						KUM-SİLT-KİL										350,00
		150,00														
						ANAKAYA										1500

EK-1-18:18 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C1B/312/3		0,40				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454803			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Killi Kum	CL	1,7	27	15	12	0	77	7,40	7	178,7
Y		3,00														
686117																
Y.A.S.S (m)																
7,00																
			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Çakıllı Az Kumlu Silt	CL	1,7	26	16	10	0	72	16,40	15,00	227,02
			SK-1	SPT-6	9.00-9.45		GM	1,7		N.P	-	54	15	8,60		
			SK-1	SPT-8	12.00-12.45		SC	1,7	23	15	8	6	38	20,60		
		16,50														
						Killi Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	30,00	282,20
		20,00	-	-	-											
						KİL-SİLT-KUM										350
		150,00														
						ANAKAYA										1500

1-19:19 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

89

EK-1-20:20 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2B/249/30		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar																
X																
4454485																
Y																
686889																
Y.A.S.S (m)																
5		4,00														
			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Siltli Kum	CL	1,7	-	N.P	-	0	31	14,10	16	232
							CL	1,7		N.P	-	0	4	5,10		
		6,00	SK-1	SPT-3	4.50-4.95	Kumlu Çakıl	GM	1,8	25	16	9	54	55	22,30	45,00	320,00
		12,00	SK-1	SPT-8	9.00-9-.45	Siltli Kum	SC	1,8	25	16	9	6	80	23,00	14,00	222,00
		20,00			12,00-12,45	Çakıllı Kum	-	-	-	-	-	-	-	-	35,00	296,00
		150,00				SİLT-KİL-KUM										350
						KAYA										1500

1-21:21 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili



EK-1-22:22 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	Ip	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2B/2920/2		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar			SK-1	SPT-1	1.50-1.95	Az Çakıllı Siltli Kum	SC	1,8	27	16	11	14	35	15,4	13	217
X																
4453370			SK-1	SPT-4	6.00-6.45		SC	1,8	27	16	11	18	31	11,4		
Y		11,00														
686482			SK-1	SPT1-6	9.00-9.45	Kumlu Siltli Kil	SC	1,8	25	15	10	12	48	21,9	22	256,00
Y.A.S.S (m)																
11			SK-1	SPT1-8	12.00-12.45		CL	1,8	28	17	11	2	62	23,6		
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-23:23 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2C/197/5		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Kumlu Siltli Kil	CL	1,7	27	16	11	3	75	23,90	14,00	222
X																
4454468			SK-1	SPT-6	9.00-9.45		CL	1,8	24	16	8	2	73	22,10		
Y																
687015																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-10	15.00-.45		CL-ML	1,8	22	15	7	2	68	20,70		
7		17,00														
			SK-1	SPT-12	18.00-18.45	Çakıl Killi Siltli Kum	SC-SM		22	15	7	27	44	18,30	28,00	276
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

EK-1-23:23 No'lu sondaj kuyusu için oluşturulan zemin profili

Pafta/Ada/Parsel	Açıklama	Litoloji (m)	Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Zemin Türü	USCS Grup Sembolü	Doğal B.H.A. (t/m3)	LL	PL	lp	(+)No.10 (%)	(-)No.20 0 (%)	W(n) (%)	SPT-N	Vs
H22D04C2C/197/5		0,70				Bitkisel Toprak										
Koordinatlar			SK-1	SPT-2	3.00-3.45	Az Kumlu Siltli Kil	CL	1,7	27	16	11	3	75	23,90	14,00	222
X																
4454468			SK-1	SPT-6	9.00-9.45		CL	1,8	24	16	8	2	73	22,10		
Y																
687015																
Y.A.S.S (m)			SK-1	SPT-10	15.00-.45		CL-ML	1,8	22	15	7	2	68	20,70		
7		17,00														
			SK-1	SPT-12	18.00-18.45	Çakıl Killi Siltli Kum	SC-SM		22	15	7	27	44	18,30	28,00	276
		20,00														
						SİLT-KİL-KUM										350
		150,00														
						KAYA										1500

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Büşra ÖZ
Doğum Yeri ve Yılı : Bursa, 1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : 1busraoz@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Ertuğrulgazi Lisesi, 2010
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2014
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bölümü ,2018

Mesleki Deneyim

MTL Yapı Denetim	2014-2015
Nesrin ERDEMİR GEOTEKNİK	2015-2018 (halen)