

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM ETKİSİNDEKİ BİNALARIN
PERFORMANSINA BODRUM KATI ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül ARIKAN

Enstitü Anabilim Dalı : Yapı EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Seyhan FIRAT

Eylül 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


DEPREM ETKİSİNDEKİ BİNALARIN
PERFORMANSINA BODRUM KATI ETKİSİNİN
İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Ayşegül ARIKAN

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 21 / 09 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Seyhan FIRAT
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr. Ömer ÖZKAN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki en büyük rolü üstlenen, her durumda ilgi, anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini sınırsızca paylaşan, kendisiyle çalışma fırsatını yakalamış olmak benim için bir dönüm noktası olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Seyhan FIRAT'a ve bu çalışma boyunca hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAGLAR'a ve Doç. Dr. Yasin FAHJAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan ve her anımda bana destek olan değerli dostum Yıldız YORULDU'ya, hayatım boyunca hep yanımda olan maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen canım kardeşim Yeşim ARIKAN'a ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayşegül ARIKAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Poblemin Tanımı.....	1
1.2. İlgili Çalışmalar.....	3
1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	6

BÖLÜM 2.

2.1. Yerkürenin Yapısı.....	8
2.2. Deprem.....	9
2.2.1. Deprem dalgaları.....	12
2.2.1.1. Cisim dalgaları.....	12
2.2.1.2. Yüzey dalgaları.....	14
2.3. Depremlerde Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli.....	19
2.4. Deprem Ölçüm Birimleri.....	22
2.4.1. Magnitüd.....	22
2.4.2. Şiddet.....	24
2.5. Zemin Araştırması.....	26

BÖLÜM 3.	
3.1. Zemin Hareketinin Deprem Hareketine Etkisi.....	29
3.2. Depremın Yapılara Etkisi.....	29
3.3. Zemin Yapı Etkileşimi.....	30
3.4. Zemin – Yapı Etkileşimi Problemlerinde Çözüm Yöntemleri.....	34
3.4.1. Direk yöntem.....	36
3.4.2. Viskoz sınır şartı.....	38
3.4.3. Yapı – zemin etkileşiminin sonlu elemanlar yöntemiyle İncelenmesi.....	39
BÖLÜM 4.	
4.1. Sakarya Bölgesinin Jeolojisi.....	41
4.2. Bölgenin Jeolojik Yapısı.....	41
4.3. Bölgenin Depremselliği.....	43
4.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi.....	45
BÖLÜM 5.	
5.1. Lusas Programı.....	47
5.2. Sınır Şartları.....	47
5.3. Modelleme.....	48
5.3.1. Bodrumsuz binanın çözümlenmesi.....	51
5.3.2. Bodrumlu binanın çözümlenmesi.....	55
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

c	: Sönüm
V _s	: Zeminin Kayma Dalga Hızı
A	: Etkili Alan
G	: Kayma Modülü
P	: Kütleli Yoğunluk
E	: Elastisite Modülü
ν	: Poisson Oranı
\emptyset	: İçsel Sürtünme Açısı
K _o	: Yanal Zemin Basınç Katsayısı
I _p	: Plastisite İndisi
[N]	: Şekil Fonksiyonlarının Matrisi
[B]	: Deformasyon-Yer Değiştirme Matrisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Ortak sistem yaklaşımında sonlu eleman modeli	4
Şekil 2.1.	Yer kürenin Yağışı	9
Şekil 2.2.	Yeryüzünün 150 milyon yıl önceki durumu	10
Şekil 2.3.	Yeryüzünün bugünkü durumu ve tektonik levhalar	10
Şekil 2.4.	Tektonik levhaların hareket türleri	11
Şekil 2.5.	Türkiye deprem bölgeleri haritası	12
Şekil 2.6.	Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, P dalgası	13
Şekil 2.7.	Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, S dalgası	13
Şekil 2.8.	Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, Rayleigh dalgası	14
Şekil 2.9.	Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, Love dalgası	14
Şekil 2.10.	Deprem dalgaları şematik gösterimi	15
Şekil 2.11.	Deprem kaynağından yayılan sismik dalgaların yerin değişik katmanlarınca yansıtılmasını ve kırılmasını gösteren sismik dalga hızları	15
Şekil 2.12.	Yerin içinde P ve S dalga hızlarının ve yoğunluğunun değişimi	16
Şekil 2.13.	Zemin sıvılaşma mühendisliğinin anahtar elemanları	18
Şekil 2.14.	Sıvılaşabilir zemin cinslerinin değerlendirilmesi ile ilgili öneriler	12
Şekil 3.1.	Dinamik sınırsız ortam – yapı etkileşimi	31
Şekil 3.2.	Zemin- yapı etkileşmesinin incelenmesi için değişik hassasiyette modelleri	33
Şekil 3.3.	Zemin modelleme şekilleri	35
Şekil 3.4.	Zemin yapı etkileşim analiz metotları	36
Şekil 3.5.	Zemin yüzeylerinin kesilmesi	37
Şekil 3.6.	Direkt yöntemde sınır şartları	38
Şekil 3.7.	Zemin parçasının sonlu elemanlara ayrılması	39
Şekil 4.1.	Yerçekimi anomali esasına göre elde edilen model	42

Şekil 4.2.	Yerçekimi anomali esasına dayalı model için kesitler ve yüzey topografyası.....	43
Şekil 4.3.	Kuzey anadolu fayında gerçekleşen son depremler.....	44
Şekil 5.1.	17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ivme- zaman grafiği.....	50
Şekil 5.2.	17 Ağustos 1999 Marmara Depremi hız- zaman grafiği.....	50
Şekil 5.3.	17 Ağustos 1999 Marmara Depremi hız- zaman grafiği	50
Şekil 5.4.	Kara Osman ilkokulu profilinde 17 Ağustos deprem hareketine ait yüzeydeki ivme- zaman grafiği.....	51
Şekil 5.5.	Lusas bilgisayar programında oluşturulan model.....	51
Şekil 5.6.	Lusas bilgisayar programında oluşturulan modellemede noktaların gösterimi.....	52
Şekil 5.7.	Modal analizden elde edilen 26. moda ait deforme olmuş model.....	52
Şekil 5.8.	Modal analizden elde edilen 26. moda ait deforme olmuş model.....	52
Şekil 5.9.	Modal analizden elde edilen 26. moda ait gerilme.....	53
Şekil 5.10.	Modal analizden elde edilen 42. moda ait gerilme.....	53
Şekil 5.11.	Modal analizden elde edilen 4. moda ait yer değiştirme.....	53
Şekil 5.12.	Modal analizden elde edilen 26. moda ait yer değiştirme.....	54
Şekil 5.13.	Modal analizden elde edilen 42. moda ait yer değiştirme.....	54
Şekil 5.14.	Bodrumsuz yapıya ait LUSAS programında elde edilen ivme- zaman grafiği	54
Şekil 5.15.	Lusas bilgisayar programında oluşturulan model.....	55
Şekil 5.16.	Lusas bilgisayar programında oluşturulan modellemede noktaların gösterim.....	55
Şekil 5.17.	Modal analizden elde edilen 35. moda ait deforme olmuş model.....	56
Şekil 5.18.	Modal analizden elde edilen 54. moda ait deforme olmuş model.....	56
Şekil 5.19.	Modal analizden elde edilen 35. moda ait gerilme	56
Şekil 5.20.	Modal analizden elde edilen 54. moda ait gerilme.....	57
Şekil 5.21.	Modal analizden elde edilen 8. moda ait yer değiştirme.....	57
Şekil 5.22.	Modal analizden elde edilen 35. moda ait yer değiştirme.....	57
Şekil 5.23.	Modal analizden elde edilen 54. moda ait yer değiştirme.....	58
Şekil 5.24.	Bodrumlu yapıya ait LUSAS programında elde edilen ivme- zaman grafiği	58
Şekil 5.24.	Bodrumlu ve bodrumsuz yapının grafik üzerinde karşılaştırılması.....	59

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Dünyada, aletli ölçüm döneminde olmuş en büyük depremler.....	23
Tablo 2.2.	Türkiye’de, Cumhuriyet döneminde oluşmuş bazı büyük depremler.....	24
Tablo 2.3.	Depremlerin büyüklüklerine göre yıllık oluş adedi	24
Tablo 2.4.	Mağnitüd-Şiddet bağıntıları	26
Tablo 5.1.	Model Tablosu	48
Tablo 5.2.	Modelde kullanılan zemin türleri ve mekanik özellikleri.....	48
Tablo 5.3.	Modelde kullanılan üst yapının mekanik özellikleri.....	49

ÖZET

Anahtar Sözcükler: Deprem, Deprem zemin analizi, Lusas, yapı- zemin etkileşimi

Ülkemizde ciddi hasarlar meydana getiren deprem hareketleri, dünyanın ilk oluşumundan bu yana insanlığı etkileyen büyük felaketlerden biri olmuştur. İnsanoğlu bu ciddi felaketlerden korunmak için çeşitli önlemler almaya çalışmıştır. Bilim dünyasında yaşanan gelişmeler bu arayışlara çözüm yöntemleri getirmiştir.

Bilimsel çalışmalar açısından zemin incelemeleri büyük önem arz etmektedir. Yapıların depreme karşı davranışını inceleyen pek çok çalışmada yapıların zemin bağlantısı tam rijit kabul edilerek zeminin yapı davranışı üzerindeki etkisi ihmal edilmektedir. Gerçekte bir deprem sırasında yapı ve zemin farklı şekillerde hareket ederler. Bu çalışmada ülkemizde son yılların en büyük deprem hasarını gören Sakarya ili incelenmiştir. Zemin üzerinde bodrumlu ve bodrumsuz olarak üç katlı binaların modellenmesi yapılmıştır. Bu modellemeye göre bodrumlu ve bodrumsuz yapıların aynı büyüklükteki deprem etkilerine verdikleri tepkiler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla farklı özelliklerde zemin tabakaları modellenmesi oluşturulmuştur. Bu modellerin LUSAS (FEM) paket programında 2 boyutlu olarak zaman-tanım aralığı yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Çözümleme sonucunda, farklı modeller için elde edilen ivme, yer değiştirme sonuçları karşılaştırılmıştır.

THE ANALYZING OF THE BASEMENT EFFECT TO PERFORMANCE OF THE BUILDINGS ON EARTHQUAKE EFFECT

SUMMARY

Keywords: Earthquake, Earthquake ground analysis, Lusas Structure Analysis, ground-structure interaction

Earthquakes vary among the biggest disasters that affect the humanity adversely since the birth of the earth, and cause serious damages in our country as well. Humankind has tried to develop precautions to protect themselves from these serious disasters. Scientific developments have devised methods to solve these problems.

Ground examinations constitute a very important aspect of scientific research. In many studies, that investigate buildings' responses to earthquakes, ground connections of buildings are considered to be totally rigid. Consequently, the ground's effects on the behaviours of buildings are neglected. However, during an earthquake buildings and their grounds move in different ways. In this study, the ground structure of Sakarya is investigated as the latest earthquakes in Turkey caused the greatest damage in this city. This investigation has been done by drawing a model for three storey buildings with basement and without basement alternatively. Afterwards, the reactions of buildings with basements and without basements to earthquakes of the same magnitudes have been compared according to this modelling. For this purpose ground layer models with different characteristics have been drawn. Moreover, by using LUSAS (FEM) software, nonlinear dynamic structure analyses of these models have been made bi-dimensionally with time-definition method. At the end of the analysis, the acceleration and displacement outcomes of different models have been compared.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Depremler insanlık tarihinden büyük felaketler getiren ve hayatta endişe uyandıran doğanın en büyük olayları arasındadır. Deprem neredeyse her kıtada şehirleri ve köyleri yok edebilmektedir. Uygun mühendislik önlemleri alınmadığı zaman depremler çok büyük hasarlara ve çok sayıda insanın ölümüne neden olmaya ve milyonlarca dolarlık ekonomik kayıplar meydana getirmeye devam edecektir. Yapılar ve insan yapımı özel mühendislik yapıları üzerindeki hasarların ana nedenleri taşıma gücü kaybı, yüzey kırılmaları, akma, sıkışma, kum kaymaları ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak zeminin kalıcı deformasyonlarıdır.

Depremler, üzerlerinde bilimsel çalışmaların ve araştırmaların sürekli devam ettiği, ne zaman gelecekleri öngörülemeyen kimlikleriyle insanlık tarihinde korku kaynağı olmuş çok güçlü yer kabuğu hareketleridir. Bu yer kabuğu hareketleri eski çağlardan bu yana, çok değil birkaç yüzyıl öncesine kadar, daha çok mitolojik kavramlarla açıklanmaya çalışılıyordu. İçinde bulunduğumuz bilimsel çağda ise depremlerin niçin ve nasıl oldukları üzerinde çoğunluğun kabul ettiği bir teori üzerinde görüş birliği sağlanmış ve bilim depremlerin oluşlarından makul bir süre önce tahmin etmenin yöntemlerini bulmanın çabası içindedir.

Depremler hakkında yapılabilen en eski çalışma kayıt tutmak olmuştur. Yapılan ilk kayıt tutma çalışmalarının da esk Çin Uygarlığı dönemine ait olduğu ve M.Ö. 800–1000 yıllarından itibaren başladığı bilinmektedir. M.Ö. 373 yılında, Maritonas Pelepenes yarımadasının kuzeyinde denize 2 kilometre uzaklıkta bulunan Helice kentinde meydana gelen bir deprem hakkında yazılmış bir yazı da mevcuttur. Bu yazı, depremlerin neden olduğu yıkımlar hakkında bilgi veren ilk tarihi kayıtlardan

sayılmaktadır. Aynı yazıda farelerin ve diğere bazı hayvanların deprem öncesi gösterdikleri garip davranışlardan da bahsedilmektedir.

Dünyanın kuruluşundan bu yana yerkürenin her tarafında olagelen, ancak yaygınlığının kitle iletişim araçlarının da yardımıyla yeni farkına varılan bu ürkütücü doğa olayı, yarattığı korkunun yanında bir de “Deprem etkisindeki bir yapının nasıl bir performans göstereceği?” ya da başka bir ifadeyle “Deprem etkisindeki yapılar neden farklı performanslar göstermektedir?” sorularını güncellemiştir.

Depremlerde yapıların uğradıkları hasarların tüm dünya bilim insanlarınca uzun yıllar gözlenmesi, yapılan gözlemlerin sonuçlarının ve yaşanan tecrübelerin yayınlar yoluyla paylaşılması, yapılarda “depreme dayanıklılık” olgusunu ortaya çıkarmıştır. Bugün için yeryüzünün herhangi bir noktasında olması muhtemel bir depremin ne zaman meydana geleceği hakkında kesin bir tarih verilmemekte ancak bir yapının verilen büyüklükteki bir depreme karşı dayanıklılık düzeyi doğruya yakın bir oranda öngörülebilmektedir [1].

Bu açıdan bakıldığında yerleşim alanlarındaki zeminlerin yapısının incelenmesi ve bu konuda yapılan araştırmalar önem kazanmıştır. Zeminlerin yapısı ve deprem büyüklüklerine karşı verdikleri tepkilerin incelenmesi, farklı zeminlerin karşılaştırılması insanoğlunu daha bilinçli ve depreme karşı daha güçlü olmasını sağlamıştır.

Ülkemizde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasar, can ve mal kaybına neden olmaları, bu büyük kayıpların kırsal alanlarda olduğu kadar yoğun yerleşim bölgelerinde dikkat çekicidir. Bu durum, deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

Yakın geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerin sonrasında yapılan yoğun incelemeler ve araştırmalar, depremlerde hasar gören yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizliklerin,

- a) bilimsel esaslara ve yönetmeliklere uygun olmayan hatalı tasarımda,
- b) malzeme ve özellikle beton kalitesi yetersizlikten,
- c) projeye, yönetmeliklere ve temel mühendislik prensiplerine uygun olmayan kusurlu yapımdan

kaynaklandığını göstermektedir [1].

Son Marmara depreminde bu üç önemli nedene bir etki daha eklenmiştir; zeminden kaynaklanan sorunlar. Bilindiği gibi özellikle Adapazarı'nda sınıvlaşma nedeniyle bazı binalarda oturmalar, dönmeler ve göçmeler olmuştur.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı sağlanması gerekli üç koşul vardır.

- a) Dayanım
- b) Süneklilik
- c) Sınırlı Yanal Öteleme (rijitlik) [2].

Bu çalışmada deprem olgusunun bir kez daha tanıtılması ve deprem etkisinde kalan bir yapının bodrum katına göre nasıl performans göstereceği konusu Lusas programında açıklanmaya çalışılmıştır. Bodrumlu bir yapının, bodrumsuz bir yapıya göre deprem etkisi altında nasıl bir performans göstereceği incelenmiştir.

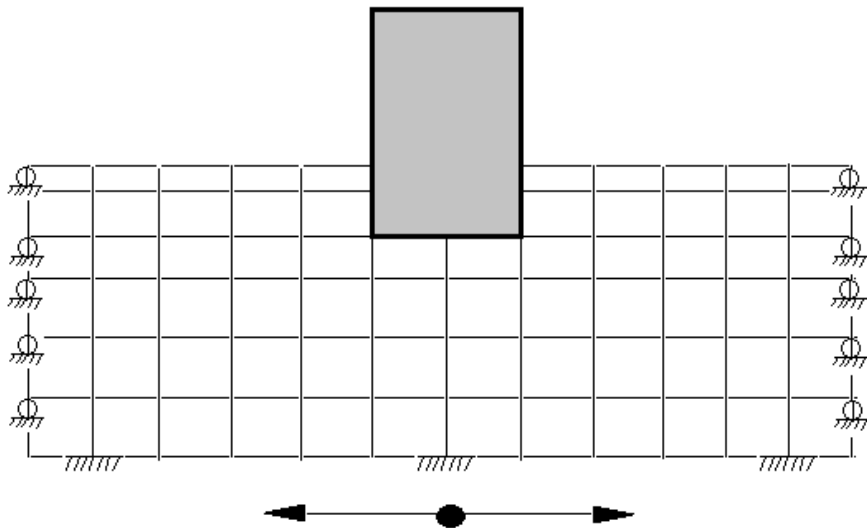
1.2. İlgili Çalışmalar

Sonlu elemanlar Yönteminin (SEY) mühendislik uygulamalarında karmaşık problemlerin çözümünde bilgisayar yazılımları ile birlikte kullanılmaya başlamasıyla, araştırmalar basit analitik çözümlerden çok bilinmeyenli sayısal modellemelere doğru kaymıştır [3]. SEY kullanılarak yapı-zemin etkileşimi daha detaylı araştırılmıştır.

Yapı- zemin etkileşiminde zemin bölgesinin idealleştirilmesi için kullanılan iki ana yaklaşım, “altsistem yaklaşımı” ve “ortak sistem (doğrudan çözüm) yaklaşımı”dır.

Gupta et al. [4] tarafından geliştirilen modelde, zeminin yapıya yakın kısmı sonlu elemanlarla, geri kalan kısmı ise yarı sonsuz ortam olarak idealleştirilmiştir. İki bölgenin arakesiti yarı küresel bir yüzey olarak alınmıştır. Yarı küresel yüzeyle sınırlanan sürekli ortamda kesin çözüm sadece burulma durumu için yaklaşık çözüme gidilmiştir. Gupta ve arkadaşlarının bu çalışması, daha sonraki yıllarda başka araştırmacılar tarafından tabakalı zeminler için geliştirilmiştir [5], [6].

Ortak sistem yaklaşımının yapı zemin dinamik etkileşimi problemlerinin çözümünde kullanılması, altsistem yaklaşımı ile eş zamanlıdır. Pek çok yapı mühendisinin bu yöntemi kullanmasındaki etkenlerden bazıları, zemindeki geometrik süreksizlikler, mekanik özelliklerin değişimi ve temelin zemine gömülü olması durumunun bu yöntemde kolaylıkla göz önüne alınabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapı zemin dinamik etkileşimi problemlerinin çözümünde ortak sistem yaklaşımının tercih edilmesinin önünde yer alan engellerden biri olan dalga enerjisinin yutulması probleminin çözümü bağlamında, literatürde viskoz sınırlar olarak geçen Lysmer ve Kuhlemeyer'in [7] çalışması öncü olmuştur. Viskoz sınırlar ancak belirli doğrultudaki dalgaları yutabildiği ve sınır boyunca yer değiştirmelerin karşılıklı etkisini göz önüne alamadığı için yetersiz kalmıştır (Şekil 1.1).



ü_g (yer hareketi)

Şekil 1.1. Ortak sistem yaklaşımında sonlu eleman modeli

Yüzeysel ve gömülü temellerin zemin dinamik rijitlik matrislerinin hesaplanmasında, sınırlı elemanlar yönteminin çok verimli ve etkili olduğu 1980'li yılların başından itibaren yer almaya başlamıştır. Metot, genelde Green fonksiyonlarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Sınır elemanlar yöntemi, radyasyon sönümünü direkt olarak hesaba katması ve problemin çözüm boyutunu bir derece azaltması sebebiyle sürekli ortamların idealleştirilmesinde çok uygun bir yöntemdir. Radyasyon sönümünü direk hesaplaması, geçirgen sınırlar gibi yapay elemanların kullanılmasına gerek bırakmamaktadır. Sınır elemanlar yöntemi ile ilgili çeşitli teknikler Wolf [8], [9] tarafından verilmiştir.

Karabalis ve Beskos [10], sınır elemanlar yöntemini kullanarak lineer, elastik, izotrop, homojen yarı-uzay üzerinde yer alan üç boyutlu rijit yüzeysel temelin muhtelif tip ve doğrultudaki sismik dalgalar altında dinamik davranışını ilk defa zaman tanım alanında incelemişlerdir. Sonuç olarak bu metodun çok hassas ve verimli olduğu ispatlanmıştır.

Yapı zemin dinamik etkileşimi analizlerinde, son yıllarda en çok kullanılan tekniklerden biri de sınır elemanlar ve sonlu elemanlar birlikte kullanılmasıdır. Estorff ve Kausel [11], dinamik zemin yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde sınır elemanlar ve sonlu elemanlar yöntemlerini birleştirerek kullanmışlardır. Böylece, sınır elemanlar, sonlu elemanların zayıf kaldığı sınırsız ortamların modellenmesi konusunda avantaj sağlarken, sonlu elemanlar tekniği de lineer ve homojen olmayan sistemlerde hesap kolaylığı sağlamıştır. Sınır elemanların sadece lineer elastik homojen tanım aralığında kullanılabildiği dikkate alınarak, zemin ortamının lineer olmayan, homojen olmayan ve geometrik süreksizlikler gösteren yapıya yakın bölgelerin sonlu elemanlarla modellenmesi ile bu eksiklik giderilmiştir. Homojen olmayan zemin ortamının yapıların dinamik davranışına olan etkisini gösteren çalışmalarında, Antes ve Estorff [12], sınır elemanlar ve sonlu elemanları birlikte kullanmışlardır. Abouseeda ve Dakoulas [13] in çalışmalarında yarı sonsuz zemin ortamını lineer elastik ve homojen kabul ederek iki boyutlu sınır elemanlar kullanarak ayırtmışlardır; üstyapıda ise sonlu elemanlar tekniği kullanarak ayırtmışlardır. Yöntemin geçerliliğini kanıtlamak amacıyla, iki boyutlu toprak

barajın sismik davranışı hakkında parametrik çalışma yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [14].

1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Çalışmada yapılan araştırmalar ileri de yapılabilecek çalışmalara hem veri sağlayabilecek hem de karşılaştırma yapabilmesi açısından önem taşımaktadır. Adapazarı bölgesindeki zemin araştırması çalışmaları yüksek deprem riski üzerindeki bu bölge için büyük önem taşımaktadır. Yapılan modellemeler ve bu modellemelerin deprem karşısındaki performansları yapılabilecek diğer çalışmalara da ışık tutacaktır.

Çalışmanın amacı yapıya bodrum katı eklenerek deprem etkisindeki performansı ölçümlenmesidir. Sonuçlarının analiz edilerek yorumlanması yapılan çalışmanın temel amacıdır.

Çalışma Adapazarı bölgesinin zemini üzerinde modellenmiştir. Adapazarı'na ait zemindeki deprem etkileri modelleme kapsamında yer almaktadır.

Yapı olarak, üç katlı betonarme yapı model olarak zemin üzerine oturtulmuştur. Yapıya bodrum katı eklenerek deprem karşısındaki performansları ölçümlenmiştir. Non lineer malzeme kullanılmıştır. Doğrusal olmayan yapı analizleri yapılmıştır.

İkinci bölümde, yerküre ve deprem hakkında bilgi verilmiştir. Deprem kavramı ile birlikte kullanılan terimler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, zemin hareketinin deprem hareketine etkisi, depremin yapılara etkisi ve zemin yapı etkileşimi açıklanmaya çalışılmıştır.

Dördüncü bölümde, Adapazarı bölgesini jeolojik yapısı incelenmiştir. Bölgenin depremsel özelliği açıklanmaya çalışılmıştır. Bölgede yaşanan son büyük deprem hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, araştırmaya temel oluşturan modelleme bodrumsuz bir yapı zemin üzerinde modellenmiştir daha sonra bodrum katı eklenerek binaların zemin

üzerindeki modellemeleri yapılmıştır. Bu modellemeler ışığında sayısal uygulamalar incelenmiştir. Yapılan modelleme ve analizler Lusas programı ile analiz edilmiştir.

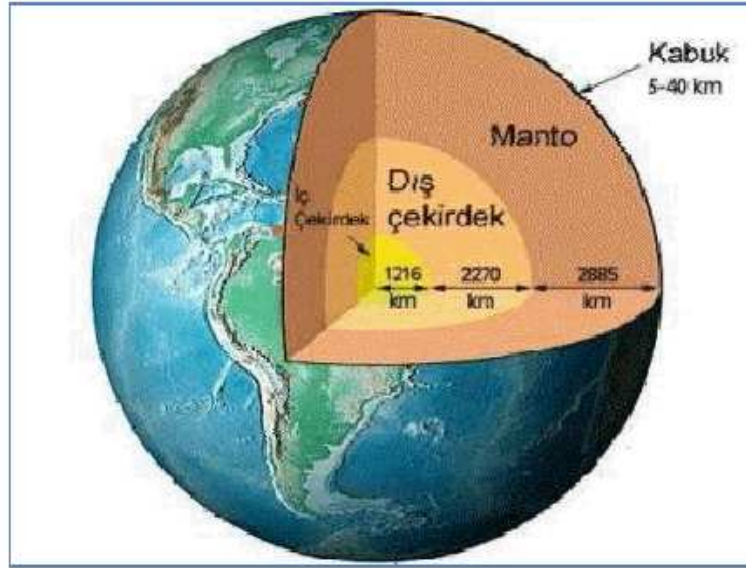
Altıncı bölüm sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

BÖLÜM 2.

2.1. Yerkürenin Yapısı

Yeryüzünün içyapısıyla ilgili olarak jeolojik ve jeofizik verilerin desteklediği ve hala geçerli olan bir yerküre modeli vardır. Buna göre yerkürenin en dış kısmında kıtaların ve okyanusların bulunduğu 70–100 km kalınlığında bir taşküre (litosfer) vardır. Daha sonra yaklaşık 2900 km kalınlığında Manto adını alan bir tabaka bulunmakta ve en son olarak da çekirdek gelmektedir (Şekil 2.1).

Taşkürenin hemen altında astenosfer de denilen yumuşak üst manto vardır. Bu üst mantoda oluşan konveksiyon akımlarının etkisiyle taş kabuk parçalanmakta ve büyük levhalara bölünmektedir. Konveksiyon akımları mantodaki yüksek ısıya bağlanmaktadır. Konveksiyon akımları yukarılara doğru yükseldikçe taşkürede gerilmelere ve bunun sonucu olarak da kırılmalara neden olabilmektedir. Bu kırılmalarda birbirinden ayrılmış, kendi içinde daha küçük levhaları barındıran ve manto üzerinde bir sal gibi yüzen ana levhaları oluşturmuştur. Halen 10 adet ana levha ve bunların içinde daha küçük olan yüzlerce levha vardır. Bu levhalar birbirlerine göre, insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedirler [15].

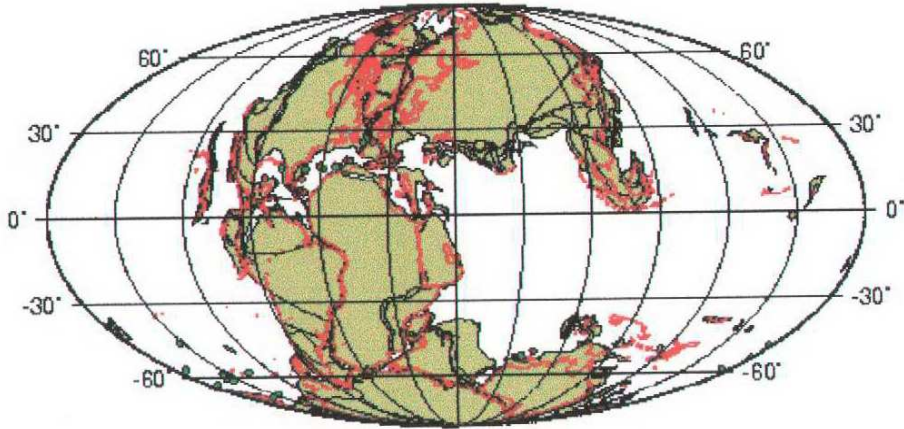


Şekil 2.1. Yer Kürenin Yapısı [16]

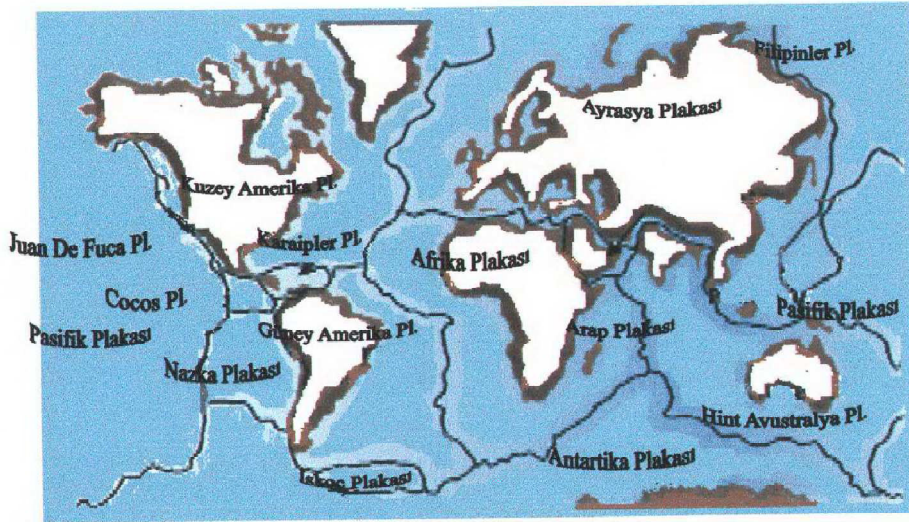
2.2. Deprem

Yerküre içerisindeki kırık düzlemleri üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinden kaynaklanan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sarsması olayına deprem denir.

Yeryüzü kabuğu başlangıçta yekpare bir parça iken, milyonlarca yıl boyunca, yukarıda bahsedilen hareketleri sonucu bugünkü halini almış ve günümüzde şu andaki haliyle kıtaların üzerinde bulunduğu büyük tektonik levhalardan oluşmuştur (Şekil 2.2, 2.3).



Şekil 2.2. Yeryüzünün 150 milyon yıl önceki durumu



Şekil 2.3. Yeryüzünün bugünkü durumu ve tektonik levhalar [17]

Tektonik levhalar, birbirine göre halen hareket halindedir (Şekil 2.4). Bu hareketleri sırasında bu levhalar birbirine çarparlar, sürtünürler ya da biri diğerinin altına girer ve levhaların birbirlerine değdikleri yüzeylerde büyük enerji birikimleri oluşur. Bu enerji belli bir birikimden sonra salıverilir. İşte bu salıverilme işlemi, levhaların birbirine göre çok ani, şok hareketlerine yol açar. Deprem, bu ani enerji boşalması adıdır. Bu hareketler sonucu yeryüzünde fay denilen, uzunlukları ve genişlikleri depremin büyüklüğüne göre değişen kırılmalar olur. Bu ani hareketler sırasında yerkabuğu içinde cisim dalgaları denilen dalgalar büyük bir hızla yol alarak yerkabuğunun sarsılmasına, düşey ve yatay doğrultuda yer değiştirmesine yol açan

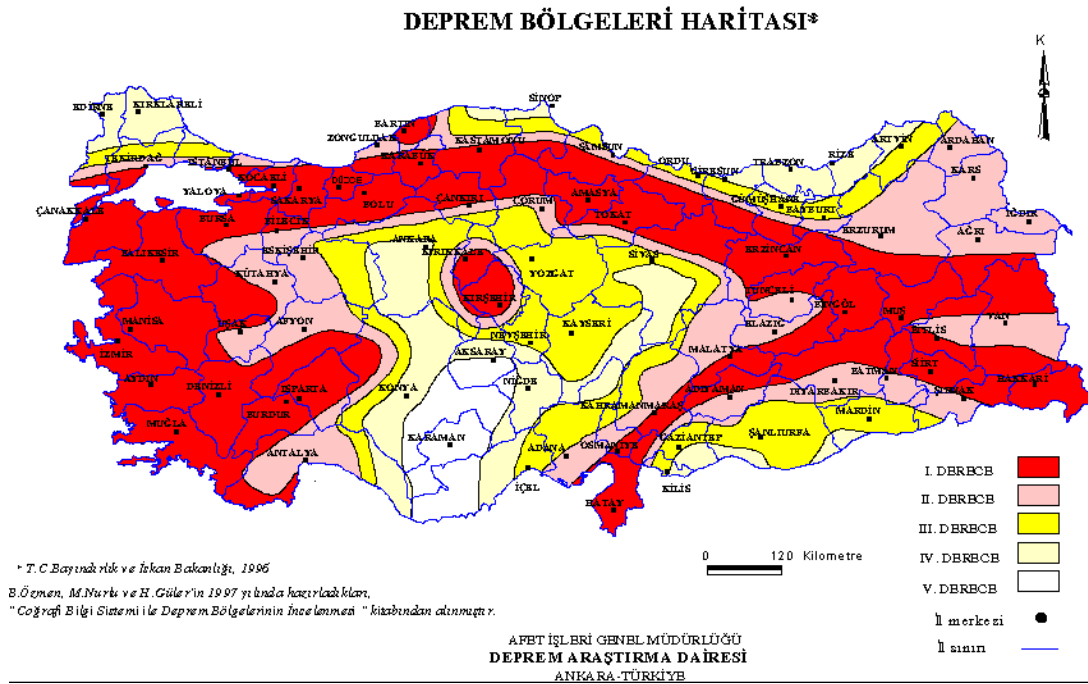
etken bu dalgalardır ve bu muazzam olay, yeryüzünde bir yıl içinde değişik büyüklüklerde, milyonlarca kez tekrar eder.



Şekil 2.4. Tektonik levhaların hareket türleri [17]

Bu açıklanan depremler tektonik depremler olarak adlandırılan depremlerdir. Bunlardan başka volkanik ve çöküntü depremleri vardır. Volkanik depremler, volkanların harekete geçmesi ile yerkabuğunun derinliklerinde bulunan ergimiş magmanın yeryüzüne çıkışı sırasında fiziksel ve kimyasal olaylar neticesi oluşan gazların neden oldukları patlamalarla meydana gelirler. Türkiye’de aktif yanardağ olmadığı için volkanik deprem de olmamaktadır, ancak Japonya ve İtalya’da olan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Çöküntü depremleri ise yeraltındaki büyük mağaraların, tuzlu arazilerdeki boşlukların tavanların ve kömür ocaklarındaki galerilerin çökmesiyle oluşurlar. Bu depremlerin etkileri dar bir alanı etkiler ve yıkıcı etkileri yoktur. Çok büyük meteorların yeryüzüne çarpması da sarsıntılara neden olabilmektedir.

Türkiye coğrafi alanının %92’si deprem bölgesi içerisinde, nüfusunun %95’i deprem tehdidi altındadır. Büyük sanayi bölgelerinin %98’i, barajların %93’ü deprem tehlikesi altındadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Türkiye deprem bölgeleri haritası 1995 [18]

2.2.1. Deprem dalgaları

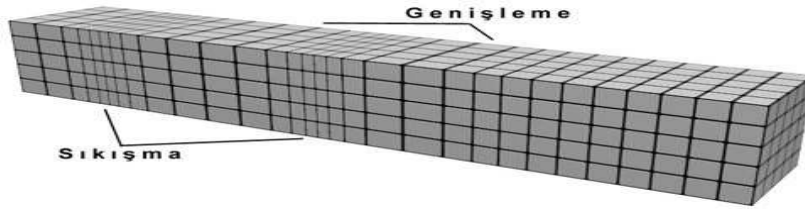
Bir kırık boyunca biriken enerjinin boşalması sırasında çevreye sismik dalgalar yayılmaktadır. Deprem dalgaları olarak nitelenen bu sismik dalgalar, önce hafif bir sarsıntı ile yer içerisinden gelen top seslerini andıran gürültüler şeklinde hissedilmektedir. Daha sonra sarsıntılar birdenbire şiddetlenmeye başlar ve bir süre sonra en yüksek mertebeye ulaşır. En şiddetli sarsıntıyı oluşturduktan sonra deprem yeniden yavaşlar ve gün-yıl mertebesi içerisinde aynı kırık üzerinde hafif sarsıntılar şeklinde (artçı depremler) devam ederler. İki tür deprem dalgası vardır. Bunlar cisim dalgaları ve yüzey dalgalarıdır. Cisim dalgaları kendi içinde P dalgası ve S dalgaları olarak ikiye ayrılır. Yine yüzey dalgaları da Love ve Rayleigh olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır [19].

2.2.1.1. Cisim dalgaları

Boyuna dalgalar (P dalgaları-Primer dalgaları)

Ses dalgalarına benzerler. Hızları en fazla olan dalgalardır ve kayıt istasyonlarına ilk bu dalgalar ulaşır. Hızları 7-8 km/sn kadardır. Bu dalgaların yayılması sırasında titreşim hareketi dalgalının yayılma doğrultusundadır. Bu nedenle boyuna dalgalar

olarak adlandırılırlar. İçinden geçtikleri cisimlerin taneciklerini birbirine yaklaştırır ya da uzaklaştırırlar ve bu nedenle basınç/dilatasyon dalgaları da denilir. Bu dalgaların hızları yerin derinliklerine doğru gittikçe artar ve çekirdek–manto sınırında 13 km/sn’yi bularak en yüksek değerine ulaşır. Primer dalgalar sıvı gaz maddeler içinde de yayılabilmektedir (Şekil 2.6).

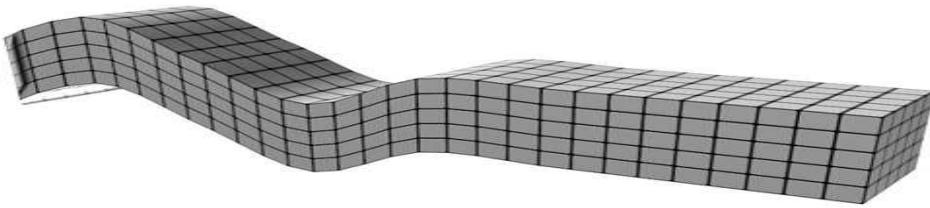


Şekil 2.6. Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, P Dalgası [20]

Enine dalgalar (S dalgaları)

Bu dalgalar hızları primer dalgalarına göre daha azdır. Ölçüm istasyonlarına ikinci olarak geldiklerinden sekonder dalgalar adı verilmiştir. Yerkabuğundaki taneciklerin titreşimi dalganın yayılma doğrultusuna diktir. S dalgaları sıvı maddeler içinde yayılmazlar. Yerkabuğu içindeki yayılma hızları 3,45–4,10 km/sn olarak belirlenmiştir. Bu dalgaların hızları da yerin derinliklerine doğru gittikçe artar. Manto–çekirdek sınırında yaklaşık iki kat artarak 7 km/sn’ye ulaşır.

Bu iki dalganın ortak adı cisim dalgalarıdır. Bunlardan başka yüzey ya da L dalgaları da denilen, periyotları 1 saniye ile 1 dakika da arasında değişen ve cisim dalgalarının yerin içinde yansımından sonra yüzeye çıkması ile oluşan dalgalar vardır (Şekil 2.7). Bu dalgalar ölçüm istasyonlarına en son gelen dalgalardır ve sismogramlar üzerinde en şiddetli hareketleri bunlar gösterirler [21].

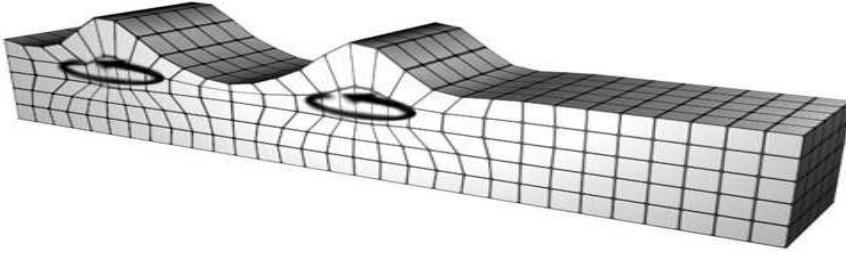


Şekil 2.7. Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, S Dalgası [20]

2.2.1.2. Yüzey dalgaları

Rayleigh dalgaları

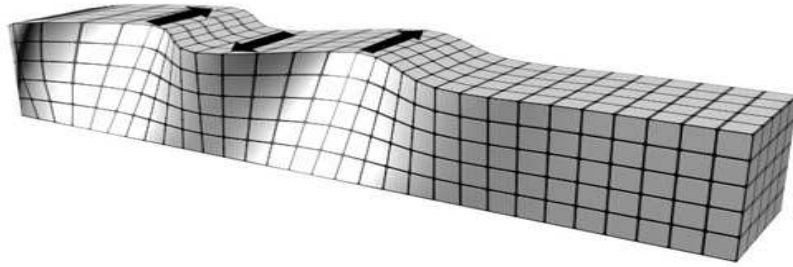
Yüzey dalgalarının bir türüdür. Yerin serbest yüzeyinde oluşurlar. Hızları yaklaşık 3,8 km/sn'dir (Şekil 2.8).



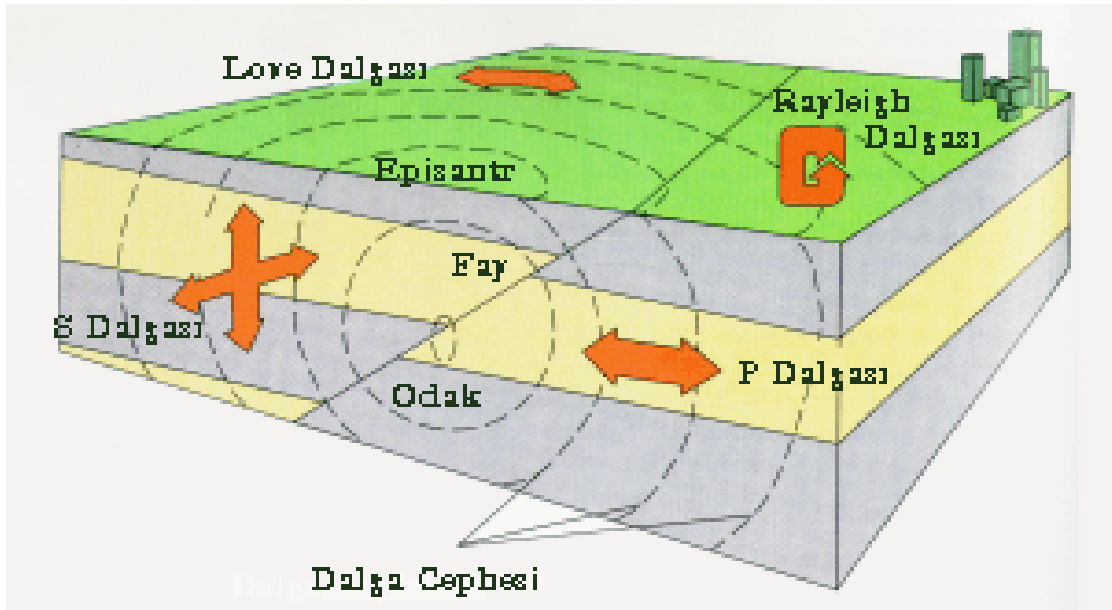
Şekil 2.8. Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, Rayleigh Dalgası [20]

Love dalgaları

Farklı elastik dalga hızına tabakaların bulunduğu ortamlarda, hızı daha az olan tabakanın üst ve alt sınırından tekrar tekrar yansıyan ve frekansları birbirine yakın olan dalgaların girişimi sonucu oluşur. Bu dalgaların genlikleri derinlikle birlikte azaldığından derin odaklı depremlerde kaydedilmemektedir (Şekil 2.9, 2.10), [22].



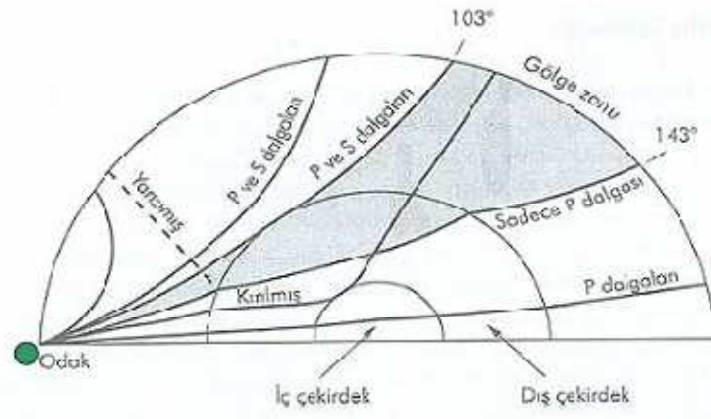
Şekil 2.9. Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar, Love Dalgası [20]



Şekil 2.10. Deprem dalgaları şematik gösterimi

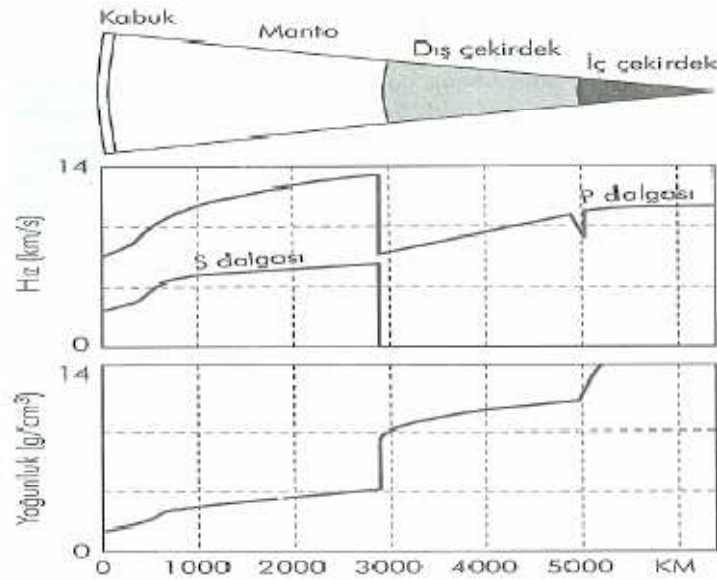
Yerkabuğu kalınlığının yaklaşık 2 katından daha uzak mesafelerde maksimum yer hareketinin oluşmasında cisim dalgalarından çok yüzey dalgaları rol oynamaktadır. Mühendislik açısından en önemli olan yüzey dalgaları Rayleigh dalgaları ve Love dalgalarıdır. P dalgaları ile SV dalgalarının yer yüzeyi ile etkileşiminden oluşan Rayleigh dalgalarında partikülün yatay ve düşey yönlerin ikisinde de hareket etmesi söz konusudur.

Bir bakımdan, bir su birikintisi içine atılan taşın oluşturduğu dalgalara benzerler. Love dalgaları, SH dalgalarının yumuşak çökellerle etkileşimi sonucunda oluşur ve bunlarda partikül titreşiminin düşey bileşeni yoktur.



Şekil 2.11. Deprem kaynağından yayılan sismik dalgaların yerin değişik katmanlarına yansıtılmasını ve kırılmasını gösteren sismik dalga izleri

Şekil 2.11'de yer yapısının deprem sırasında oluşan dalgaların dağılımı üzerine etkisi görülmektedir. Dalga ilerleme hızları genellikle derinliğe bağlı olarak arttığından, dalga izleri yer yüzeyine doğru kırılmaktadır. Bunun tek istisnası, dış çekirdeğin hızının manto hızından daha düşük olduğu çekirdek-manto sınırında gerçekleşmektedir. P ve S dalgalarının 0 derece ile 103 derece arasında yerin yüzeyine eriştiğine, fakat dış çekirdeğin sıvı karakterinden dolayı 143 derece ile 180 derece arasında sadece P dalgalarının yerin yüzeyine eriştiği dikkat çekmektedir. Öte yandan, 103 derece ile 143 derece arasındaki bölge zonunda sadece iç çekirdekten yansıyan izler yerin yüzeyine erişebilmektedir [23].



Şekil 2.12 Yerin içinde P ve S dalga hızlarının ve yoğunluğunun değişimi [24]

Yüzey dalgaları, yer yüzeyindeki katmanlar ile cisim dalgaları arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu dalgalar, genellikle kabaca derinliğe göre üssel olarak azalan şekilde yer yüzeyinde ilerler (Şekil 2.12), [24].

Merkez Üssü

Bu aslında bir nokta değil, yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı bir alandır. Ancak pratik uygulamalarda kolaylık açısından nokta diye anılmaktadır. Odak noktası veya iç merkez olarak da adlandırılır.

Dış Merkez

Odak noktasına yeryüzündeki en yakın alandır. Bu da bir alan olmasına rağmen nokta diye adlandırılır. Depremin en şiddetli hissedildiği ve hasar etkisinin de en büyük olduğu alandır. Bu alanın büyüklüğüne göre yüzlerce kilometrekareyi bulabilir.

Odak Derinliği

Depremde enerjinin ortaya çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı odak derinliği olarak adlandırılır. Odak derinliği depremler için aynı zamanda bir sınıflandırma aracı da olmaktadır. Odak derinlikleri 0–60 kilometre olan depremler sığ depremler, 70–300 kilometre olanlar orta derinlikte depremler 300 kilometreden daha derinlerde olan depremler de derin depremler olarak isimlendirilir. Türkiye’deki depremler genellikle sığ depremlerdir. Derin depremler daha geniş bir alanda hissedilirken çok büyük yıkımlara yol açmazlar. Sığ depremler ise daha dar bir alanda hissedilirler ancak daha fazla hasara neden olurlar.

Öncü Deprem

Ana depremden önce meydana gelen küçük şoklardır. Ancak bir deprem ya da depremlerin öncü olduklarını kestirmek hemen hemen imkânsızdır ve ancak ana deprem olduktan sonra bunların öncü oldukları anlaşılır.

Artçı Deprem

Ana deprem sonrası meydana gelen, genellikle ana depremden daha küçük olan şoklardır. Bunların sayısı ve süresi için bir üst bir sınır yoktur. Birkaç yıl bile devam edebilir.

Tsunami

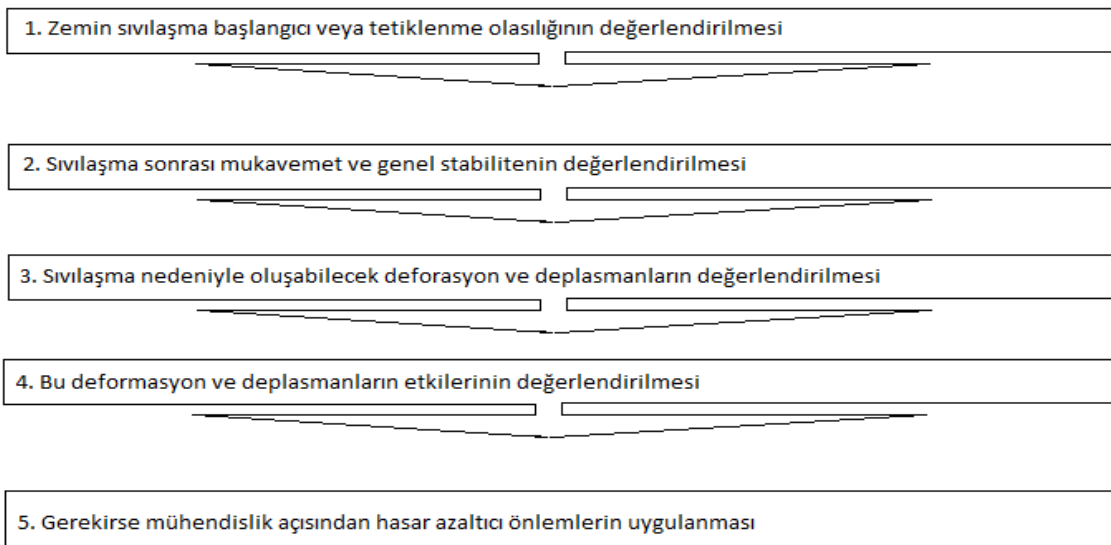
Odağı deniz ve okyanus diplerinde derin depremlerden sonra oluşan dev dalgalara bu ad verilir. Oluştığı çevreye göre çok büyük hasarlara sebep olabilirler. 1986’da Japonya’da meydana gelen bir deprem sonrası tsunami otuz bin insanın ölümüne neden olmuştur. 26 Aralık 2004 tarihinde meydana gelen Endonezyadaki depremin ardından tsunami olmuştur.

26 Aralık 2004 günü Kuzey Sumatra (Endonezya) ve bölgedeki pek çok ülkeyi etkileyen ve bu yüzyılın en büyük depremlerinden olan Mw ~9.1 büyüklüğündeki

yaklaşık 160 saniye sürmüş olan bu depremde açığa çıkan sismik enerji miktarı $M_0=2.25 \times 10^{22}$ newton-metre değerindedir ve depremin odak derinliği 37 km olarak belirlenmiştir. Bu depremle 17 Ağustos 1999 $M_w=7.4$ Gölcük depreminin sismik enerjisinden yaklaşık 300 kat daha büyük miktarda sismik enerji boşalmıştır. Deprem kırılğan üst kabuk içerisinde ve okyanus tabanından oluştuğundan 10 metre yüksekliğe kadar ulaşan tsunami (depreşim) dalgaları oluşturarak çevredeki pek çok ülkede yüksek hasar ve can kaybına neden olmuştur [25].

Zeminlerin Sıvılaşması

Zemin sıvılaşması depremler süresince hasarın en önemli nedenidir. Modern mühendislik uygulamalarında sıvılaşma ilgili çalışmalar ilk olarak 1964 yılındaki çok büyük depremlerden (1964 Niigata-Japonya, 1964 Büyük Alaska Depremi) sonra gelişmeye başlamış ve günümüze kadar çok büyük gelişmeler kayıt edilmiştir. Başlangıçta bu gelişmeler büyük miktarda temiz, kumlu zeminlerin sıvılaşması ile sınırlandırılmıştır. 1980'li yıllardan sonra ise meydana gelen depremler, araştırmalar, pratikte çalışan mühendisler artan miktarda siltli zeminlerin sıvılaşması, sıvılaşma sonrası mukavemetle ilgili önemli ilave problemler ve ayrıca gerilme-deformasyon davranışı bu olayın sadece temiz kumlarla sınırlı tutamayacağını ortaya koymuştur. Günümüzde bu kadar önemli bir konuda artık “zemin sıvılaşma mühendisi” terimi kullanılmaktadır. Bu alan Şekil 2.13’de gösterildiği gibi çok sayıda alt daldan oluşmaktadır [26].



Şekil 2.13. Zemin Sıvılaşma Mühendisliğinin Anahtar Elemanları [26]

Öncelikle sıvılaşma oluşumunun potansiyel olarak ciddi bir risk olup olmadığının belirlenmesi, sonraki aşamada potansiyel sıvılaşma etkisinin değerlendirilmesidir. İkinci olarak sıvılaşma sonrası mukavemetin değerlendirilmesi ve sonucunda bütün stabilitenin (bir bölgenin, yapının veya diğer yapıların) değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu aşama sonrasında sıvılaşma sonrası stabilite yeterli bulunmaz ve deplasman büyük olursa mühendislik açısından gerekli önlemler alınmalıdır. Sıvılaşma sonrası stabilitenin tamamı kabul edilemez olursa, üçüncü adım olan beklenen deformasyon ve deplasmanların değerlendirilmesi aşamasına geçilir. Bu aşamada arazi ve laboratuvar çalışmalarının birlikte yürütülmesi gerekir. Benzer olarak yapıların ve mühendislik uygulamalarının performansı üzerine sıvılaşmanın neden olduğu deformasyon ve deplasmanların etkisini (4. aşama) kabul edilebilir düzeye getirebilmek için bazı iyileştirmelerin yapılması (5. aşama) gerekebilir.

2.3. Depremlerde Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin mühendislik açısından değerlendirilme aşamasında ilk olarak bölgedeki zeminin potansiyel olarak sıvılaşabilir bir yapısının olup olmadığının belirlenmelidir.

Sıvılaşma çoğunlukla büyük depremler sırasında sığ, gevşek, doygun kumlar veya siltlerle ilgilidir. Aslında düşük plastisiteli veya plastik olmayan siltler ve siltli kumlar sıvılaşabilir zeminlerin en tehlikeli olanları arasındadır çünkü bu tür zeminler sadece dinamik olarak sıvılaşmazlar ayrıca bu zeminler iyi su tutabilir ve düşük permeabilitelerinden dolayı aşırı boşluk suyu basınçlarının yavaşça sönmelenmesini sağlayabilirler. Ancak son yıllarda büyük depremlerin meydana geldiği ülkelerde killi ince daneli zeminlerin sıvılaşmasıyla ilgili olaylara rastlanmaktadır. Doygun olmayan zeminler genelde sıvılaşmaya maruz kalmayabilir çünkü boşluk suyu basıncı oluşumu yeterli olmayabilir. Dinamik yükler altında meydana gelen yumuşama ve sınırlı deformasyonlar genişleyen zemin davranışıyla ilgiliyken, sıvılaşma ve büyük deformasyonlar sıkışan zeminlerin davranışlarıyla ilgilidir.

Zemin danelerinin özellikleri (dane çapı dağılımı, şekli, birleşimi) zemin sıvılaşma potansiyelini etkiler [22]. Üniform yuvarlak zemin daneleri genelde sıvılaşmaya çok hassastır [23]. Köşeli dane şekli olan iyi derecelenmiş kumlar genelde sıvılaşmaya

daha az hassastır çünkü zeminlerin birbirlerini tutma mekanizmaları daha sağlamdır. Diğer taraftan doğada siltli kumlar nehirler, yağışlar veya rüzgârın yardımıyla doğada gevşek durumda yerleşirler ve böylece temiz kumlara göre daha sıkışan kayma davranışı sergilerler.

Plastisitesi ölçülebilen killerin sahip oldukları kohezyondan dolayı dinamik yükleme sırasında danelerin hareketi sınırlıdır ve genellikle bu tür zeminlerde boşluk suyu basıncı oluşumu sınırlı olup sıvılaşma eğilimi yoktur. Kumlu zemin içindeki plastik ince daneli zeminler, kum daneleri arasında adhezyon yaratarak genellikle büyük daneleri daha sıkı konuma getirmeyi sınırlandırır. Sonuç olarak önemli derecede plastik ince dane oranına sahip zeminler nadiren depremler sırasında sıvılaşma eğilimi gösterirler.

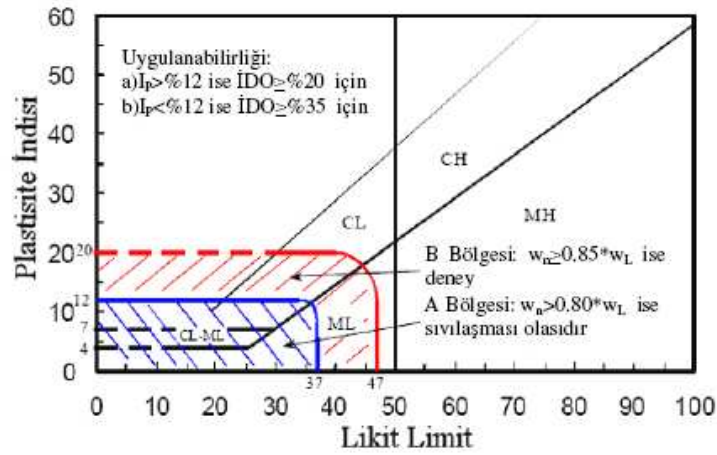
Kumlu ve düşük plastisiteli siltli zeminler tekrarlı yüklemeler altında oldukça düşük kayma şekil değiştirmelerinde (tipik olarak %3-6 seviyelerinde) sıvılaşarak mukavemet kayıplarına uğrarlar. Diğer taraftan daha yüksek plastisiteli zeminler artan boşluk suyu basıncı ile birlikte mukavemet ve rijitlik kaybı gösterebilir fakat elde edilen boşluk suyu basıncı oranları sıvılaşabilir zeminlere göre daha düşük olduğundan biraz daha büyük kayma şekil değiştirmelerinde mukavemet ile rijitlik kaybından söz edilebilir [21].

Koester [24], tarafından yapılan çalışmada yeterince ince daneli zeminlerin bulunduğu kumlu zemin tabakalarının aniden göçebileceğini bunun nedeninin ise kum daneleri arasındaki ince danelerin daha fazla sıkışmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminleri tanımlamak için geniş çapta kullanılan modifiye edilmiş Çin kriterine [26], [27] göre kil miktarı %15 den az ise (Çinde kil, dane çapı 0.005 mm'den küçük olan zemin olarak tanımlanır), likit limit (W_L) \leq %35 ve arazideki su muhtevası likit limitin %90'na eşit veya daha büyük olduğu zeminler sıvılaşabilir olarak değerlendirilir.

Şekil 2.14'de ince dane oranlarına göre zeminlerin sıvılaşabilirliğiyle ilgili aralığı göstermektedir [28]. Yeterli miktarda ince dane içeren zeminler kaba daneleri ayırır ve bütün davranışı kontrol eder. A bölgesi içerisinde kalan zeminlerin sıvılaşma potansiyeli yüksektir. B bölgesinde bulunan zeminler yumuşama eğilimi gösterir ve

mukavemet kayıplarına uğrarlar. Ayrıca çoğu durumlarda bu zeminlerin sıvılaşma potansiyelini arazideki SPT'ye bağlı olarak değerlendirmek çok uygun değildir. Bu tip zeminlerden örselenmemiş numune alınabilir bu nedenle laboratuarda test edilebilir. Ayrıca bu kohezyonlu zeminlerin hassaslığı kontrol edilmelidir. C bölgesindeki zeminler (A ve B bölgesi dışında kalan zeminler) sıvılaşmazlar fakat hassas olabilir ve büyük kayma deformasyonları veya yoğrulmadan dolayı mukavemet kaybına uğrayabilirler.



Şekil 2.14. Sıvılaşabilir Zemin Cinslerinin Değerlendirilmesi İle İlgili Öneriler [28]

Rauch [29]'in yaptığı araştırmalarda permeabilitenin zeminin sıvılaşma özelliklerini etkileyebildiği gözlenmiştir. Sıvılaşabilir zeminlerde boşluk suyunun hareketini düşük permeabiliteli zeminler yavaşlattığı zaman boşluk basınçları muhtemelen dinamik yükleme boyunca çok daha fazla oluşacaktır. Sonuç olarak fazla plastik olmayan ince dane oranına sahip zeminler sıvılaşmaya çok daha hassas olabilir. Çünkü ince daneler aşırı boşluk suyu basıncının drenajını engeller. İlave olarak, zeminin sıvılaşma potansiyeli çevredeki zeminlerin permeabilitesinden etkilenir. Daha az geçirimli killi zeminler doymun kumun bitişiğindeki zeminlerde oluşan aşırı boşluk suyu basıncının hızlı sönümlemesini engelleyebilir. Diğer taraftan doymun zeminin yukarı veya aşağısındaki yeterli drenaj sıvılaşma ve aşırı boşluk suyu basıncının birikmesini engelleyebilir.

Kaba çakıllı zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışı kumlu zeminlerinkinden biraz farklı olduğunu belirtmiştir. Bu tür zeminler potansiyel olarak boşluk suyu basıncı oluşumu ve sıvılaşmaya hassastır. Bu zeminler davranış olarak ince kumlu

zeminlerden iki bakımından farklıdır. Birincisi çok geçirimli olabilir ve sıklıkla tekrarlı yükler altında oluşan boşluk suyu basıncı hızlıca sönümlenir, ikinci olarak büyük danelerin kütesinden dolayı kaba çakıllı zemin nadiren yavaş şekilde yerleşir ve ince kumlu zeminler ile karşılaştırıldığında genelde çok gevşek durumda oluşmazlar. Çok gevşek durum, çakıllı zemin tabakası ve kaba zeminlerde çok yaygın durum değilken, kumlu zeminler çok gevşek ile çok sıkı aralığında değişebilir [21].

Kaba çakıllı zeminlerin drenaj potansiyeli aşağıdaki durumlardan dolayı görünen drenaj avantajı yok olabilir. İlk olarak ince, az geçirimli bir zemin ile kuşatılırsa, ikinci olarak kaba daneler arasındaki boşluklarda (D10 dane çapı ile zemin karışımının permeabilitesi arasında iyi ilişki elde edilebilir) ince daneli zeminlerin mevcudiyetinden dolayı içteki drenaj engellenirse veya kaba daneli zemin tabakaları büyük boyutta ise deprem boyunca hızlı şekilde oluşan aşırı drenaj mesafesi büyük olur. Drenajın engellendiği yukarıdaki durumlarda kaba daneli zeminler potansiyel olarak sıvılaşabilir olarak düşünülebilir [21].

2.4. Deprem Ölçüm Birimleri

Deprem büyüklüklerini ölçmek ve sınıflandırmak için farklı ölçü kullanılmaktadır. Bunlar, büyüklük (magnitüd) ve şiddettir.

2.4.1. Magnitüd

Depremlerde ortaya çıkan toplam enerjinin bir ölçüsüdür. 1930 yıllarında Amerikalı Profesör C.Richer tarafından geliştirilmiştir ve kendi adıyla anılarak Richter Magnitüdü terimiyle ifade edilmektedir [30].

Türkçe’de Richter Ölçeği diye adlandırılır. Richter büyüklüğü genellikle yüzey dalgalarından hesaplandığı gibi, yüzey dalgaları kaydedilmeyen ve çok uzaklardan, yerin içinde gelen hacim dalgalarından da hesaplanır [30].

Prof. Richter, deprem dış merkezinden 100 kilometre uzağa ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismogra (2800 büyütmeli, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson Sismogra ile) kaydedilmiş zemin hareketinin

mikron cinsinden ölçülen maksimum genliğin 10 tabanın göre logaritmasını bir deprem büyüklüğü (Magnitüd) olarak tanımlamıştır [30].

Deprem büyüklüğü hacim dalgalarından hesaplandığı gibi yüzey dalgalarından da hesaplanabilir. Hacim dalgalarından hesaplanan büyüklük “m” ile yüzey dalgalarından hesaplanan büyüklük te “M” ile gösterilmektedir ve bunların birbirlerine dönüşümünü sağlayan bağıntılar bulunmaktadır [30].

Richter büyüklüğünün belli bir sınırı yoktur. Ancak 1900 yılından bu yana kaydedilen en büyük deprem 22.05.1960 tarihli Şili depremidir ve M=9.5 büyüklüğündedir. Dünyanın en büyük depremlerine ait çizelge Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tarihi	Yeri	Büyüklüğü
31.01.1906	Ekvator	8.8
01.11.1952	Rusya	9.0
19.03.1957	Alaska	8.8
22.05.1960	Şili	9.5
28.03.1964	Alaska	9.2
20.01.2001	Hindistan	7.7
26.12.2003	Güney İran	6.6
26.12.2004	Endonezya	9.1
12.05.2008	Çin/Dogu Sıchuan	7.9
12.01.2010	Haiti	7.0

Tablo 2.1. Dünyada, aletli ölçüm döneminde olmuş en büyük depremler [17]

Türkiye sismik açıdan aktif bir bölgededir ve M=6 büyüklüğünü aşan depremler belli bir sıklıkta cereyan etmektedir (Tablo 2.2).

Tarihi	Yeri	Büyüküğü
31.03.1928	Torbalı-İzmir	6.5
26.12.1939	Erzincan	8.0
26.11.1943	Tosya-Ladik	7.6
28.03.1970	Gediz	7.2
24.11.1974	Çaldıran	7.2
27.06.1998	Ceyhan- Adana	6.2
17.08.1999	Gölcük-İzmit	7.4
12.11.1999	Düzce	7.2

Tablo 2.2. Türkiye’de, Cumhuriyet döneminde olmuş bazı büyük depremler [31]

İstatistikse veriler, depremlerin büyüğüne göre belli bir sıklıkta olduğunu göstermektedir (Tablo 2.3).

Büyükük	Yıllık Oluş Adedi
8'den büyük	1
7-7,9	18
6-6,9	120
5-5,9	800
4-4,9	6200
3-3,9	49000
2-2,9	1000 (Günde)
1-1,9	8000 (Günde)

Tablo 2.3. Depremlerin büyüüklerine göre yıllık oluş adedi [17]

2.4.2. Şiddet

Bir depremin şiddetinin değeriendirilmesi bazı sübjektif gözlemler kullanarak yapılır. Depremin insanlarca hissedilmesi, yapılar üzerindeki etkileri ve arazi üzerindeki etkilerine göre yapılan gözlemler ve tespitlere göre o depremin şiddeti belirlenir [30].

Türkiye’de en çok kullanılan şiddet cetveli MSK-MM (Medmedev- Sponhauer-Karnik ve Modifiye Merkalli) şiddet cetvelleridir. Başka ülkelerde değışik cetveller de kullanılmaktadır. Şiddet cetvellerinde I’den XII’ye kadar şiddet değeri verilir.

Ülkemizde kullanılan MSK-MM şiddet cetveli şöyle özetlenebilir:

I.Derece: Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarca kaydedilirler.

II. Derece: Sarsıntılar yapıların en üst katlarında, dinlenme bulunan az kişi tarafından hissedilir.

III. Derece: Yapıların içinde ve özellikle üst katlarında bulunanlar tarafından açıkça hissedilir. Ancak bazı insanlar bunu bir deprem olduğunu anlayamaz. Duran araçlar hafifçe sallanır. Sanki çok ağır bir motorlu araç geçiyormuş gibi hissedilir. Süresi tahmin edilebilir.

IV. Derece: Gündüz yapı içinde bulunan pek çok kişi duyabilir. Gece uyuyanları yandırabilir. Mutfak eşyaları, pencereler ve kapılar sarsılır. Duvarlarda çatlama sesleri duyulur. Duran araçlar sarsılır.

V. Derece: Hemen herkes tarafından duyulur. Uykudan uyandırır. Pencereler kırılabilir. Sıvalar çatlayabilir. Sağlam ve dengeli olmayan bardak, vazo ve sürahi benzeri eşyalar devrilebilir. Sarkaçlı saatler durabilir. Ağaçların ve elektrik direklerinin sallandığı görülür.

VI. Derece: Herkes tarafından hissedilir ve korku verir. Ağır mobilyalar yerinden oynar. İyi yapılmamış taş, tuğla ve kerpiç yapılarda önemli çatlaklar olur. Bacalar devrilebilir. Sıvalarda dökülmeler olur. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır.

VII. Derece: İnsanlar ayakta durmakta güçlük çekerler. İyi yapılmamış taş, tuğla ve kerpiç yapılarda ağır hasar ve yıkıntı olabilir. Bazı bacalar tamamen yıkılır. İyi yapılmamış yığma yapı duvarlarında hafif çatlaklar olur. Betonarme yapılarda ara duvarların çerçeve ile temas ettikleri yerlerde çatlaklar olur.

VIII. Derece: İyi yapılmamış taş, tuğla ve kerpiç yapılarda ağır hasar veya tümü ile yıkılma olur. İyi yapılmamış yığma kargir yapılarda ağır hasar olur. Ahşap karkas yapılarda çerçeve sistemlerinde hasar olur. İyi yapılmamış betonarme karkas yapılarda taşıyıcı sistemde çatlaklar oluşabilir. Arazide kum fışkırımları, çatlaklar, fay kırılmaları olur. Kaya düşmesi ve yamaç kayması olabilir.

IX. Derece: Yığma kargir yapılar yıkılır ya da çok ağır hasar görür. Betonarme yapılarda taşıyıcı sistemde mafsallaşma başlar. Donatıyı örten beton kabuk dökülür, donatı etriyelerinden ayrılır ve burkulma olur. Betonarme yapılarda önemli yatay ötelemeler ve düşeyden sapmalar olur. Yerde büyük çatlaklar oluşur. Yer altı su boruları kopar.

X. Derece: İyi yapılmamış ahşap karkas, betonarme yapılarda çok ağır hasar ya da yıkılma başlangıcı görülür. Taş ve tuğla kargir yapıların büyük bir çoğunluğu temelleriyle birlikte yıkılır. Demiryolu rayları bükülür, çamur ve kum akmaları olur.

XI. Derece: Pek az yapı ayakta kalır. Köprüler harap olur. Yer kaymaları önemli boyutlara ulaşır.

XII. Derece: yeryüzünde deprem dalgalarının geçişi görülür, eşyalar ve cisimler havaya fırlar. Ufuk çizgisi oynak bir yüzeye dönüşür.

Şiddet cetveli I-V dereceleri arasında insanlarca duyulma ve yapı içinde bulunan eşyalar üzerinde etki aşamalarına göre sınıflandırılmıştır. V şiddetinden sonra yapılarda hasarın başladığı kabul edilmiştir. VII şiddetinden sonra ise arazide etkilerin olacağı kabul edilmiştir.

Magnitüd ile şiddet arasında, birbirlerine karışıklık açısından da bir sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre, tam olmamakla birlikte ikisi arasında bir bağıntı kurulmuştur (Tablo 2.4).

Şiddet	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Magnitüd	1-3	3	3,9	4	4,5	5,1	5,6	6,2	6,6	7,3	7,8	8,4

Tablo 2.4. Magnitüd-Şiddet bağıntıları [31]

2.5. Zemin Araştırması

Zemin hakkında ilk bilinmesi gereken parametre, genelde bölgenin, özeldede arazinin depremselliğidir. Bu da, bölgenin herhangi aktif bir fayın neresinde olduğu ile

ilgilidir. Günümüz teknolojisi zemin yapısı ile ilgili detaylı bilgi elde edilmesi konusunda ileri düzeyde gelişme kaydetmiştir [32].

Zemin- depreme dayanıklı yapı ilişkisinde söylenecek ilk şey, fay hattı üzerine yerleşim kurulmamasıdır. Bu ise, jeoloji uzmanları ile koordinasyonlu bir çalışmayı gerektirir. İlk adımda jeolojik etüd için bir uzmandan yararlanılmadır. Bir bölgenin zemin etüdü verilerinin fay hattını işaret etmemesi, gelecek uzun vadede bir fay kırığı oluşmayacağı anlamına gelmemekle birlikte bu tür bir tedbir yakın gelecek açısından belirli bir düzeyde bir güvenlik arz eder. İkincisi ise mevcut fay hatlarından mümkün olduğunca uzaklaşmaktır. Depremın odak noktasından uzaklaştıkça etkisinin de azaldığı bilinen bir gerçektir [32].

Zemin seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, zeminin sıvılaşmaya uygunluğunun etüt edilmesidir. Sıvılaşma, gevşek toprak ya da kumlu zeminin deprem dalgaları etkisiyle sıkıştırılması ve bu suretle büyük alanlara yayılan çöküntülerin oluşması, ya da yine deprem dalgalarının yaptığı basınç etkisiyle yakın çevredeki yüzeye yakın yer altı sularının yumuşak zemine nüfus etmesiyle zeminin sıvılaşması şeklinde tanımlanabilir [32].

Zemin yapısının yapı davranışına bir diğer etkisi ise, deprem dalgalarının etkimesi sonucu zemin periyodunun yapı hakim periyoduyla rezonansa girerek deprem kuvvetlerinin büyüklüğünün artmasına neden olmasıdır. Zemin yapısının içine gömülmesine izin vermeyecek kadar sağlam, ancak yapı çeşitli nedenlerle artan kuvvetlere dayanamayacak kadar dayanıksız ise yapı çok ağır hasar görecektir [32].

Rezonans konusunda ortaya konulabilecek esas yaklaşım yapı periyodu ile zemin hakim periyodunu birbirinden uzaklaştırmaktır. Bu amaçla, yapılacak yapı yumuşak zeminlerde öncelikle sağlam tabakaya kadar temel indirilmeli, yapı periyodu ise düşük tutulmalıdır. Zemin sert kaya ise yapı periyodu yüksek (1 sn. gibi) tutulmalıdır [33].

Deprem kuvvetleri etkisi altındaki zemin-yapı ilişkisinde dikkat edilecek noktalar şöyle özetlenebilir;

Aynı büyüklükteki bir depremde, aynı özellikteki bir yapı, yumuşak ve gevşek bir zemin üzerinde olduğunda, sert ve kayaç bir zemin üzerinde olduğundan daha çok

yıkılma riski altında olduğu gör÷lmektedir. Yapılması gereken ise, ya o zeminde yapılaşmadan kaçınılması, ya da yapı temelinin beton kazık-temel elemanlarıyla sağlam zemine dayandırılmasıdır.

İyi bir zemin etüdüyle zemin özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmalı, fay hatları üzerinde yapılaşmaktan kaçınılmalıdır.

Yapay dolgu zeminlerde yapılaşmaktan kaçınılmalıdır.

Sahil şeridi yerleşimlerinde kıyıya sıfır yapılaşmalardan kaçınılmalıdır.

BÖLÜM 3.

3.1. Zemin Hareketinin Deprem Hareketine Etkisi

Deprem yeryüzündeki bir bölgede meydana getirdiği etkinin bağlı olduğu başlıca değerler;

Deprem büyüklüğü

Göz önüne alınan bölgenin enerjinin açığa çıktığı kaynağa olan uzaklığı

Kaynaktan yayılan deprem dalgasının göz önüne alınan yere gelinceye kadar geçtiği ara bölgenin jeolojik durumu

Deprem enerjisinin kaynaktan açığa çıkma türü

Ara bölgelerde bulunan faylarda veya serbest yüzeylerde deprem dalgasının kırılması ve yansımaları

Göz önüne alınan bölgedeki zemin durumu olarak sıralanabilir.

3.2. Deprem Yapılara Etkisi

Deprem etkisi bir titreşim hareketidir. Bunu bazı binalar yerle bir olmuşken diğer binaların depreme uğramamışçasına sapsağlam durmasıyla açıklayabiliriz. Titreşim şeklinde yayılan bir yıkıcı enerjiden zarar görmek o titreşimle duyarlı olan ve önemli miktarda enerji yutan yapılar için söz konusudur.

Örnek olarak küçük bir tenekenin iri dalgalar üzerinde inip kalkarak dalgalardaki enerjinin hiçbir şekilde etkilenmeyeceği, buna karşılık daha büyük bir tenekenin ise dalgaların bütün şiddetine maruz kalarak parçalanma tehlikesiyle karşı karşıya kalabileceği söylenebilir.

Titreşim yolu ile enerji yutulmasından başka, depreme maruz yapılarda birde, yapıyı belirli bir anda belirli bir yönde yükleyen atalet kuvvetleri göz önüne alınmalıdır. Bu kuvvetler yapı altındaki zeminin deprem titreşimi tesiri ile hareketine karşı yapının kendi kütlelerinin reaksiyonudur. Bu reaksiyon hareketin en büyük olduğu alçak frekanslı titreşimlerde en büyük olup yer çekiminin %50 sinden daha büyük değerlere ulaşabilmektedir [34].

Deprem enerjisi merkezde maksimum olup ulaştığı zemin tabakaları sertliğine ve sağlamlığına bağlıdır. Buna göre zemin tabakası sert ise hızlı, yumuşak ise daha yavaş bir şekilde yayılarak her yöne dağılmakta, özellikle yumuşak ve çatlaklı kaya ve toprak zeminlerde daha fazla yutularak mesafenin karesiyle orantılı bir şekilde etkisini kaybetmektedir. Bu husus deprem afetlerinde merkeze yakın yerlerdeki hasarların büyüklüğü ile doğrulanmaktadır.

Sert bir zemin üzerinde, örneğin kaya üzerinde inşa edilmiş küçük bir yapı en şiddetli depremi dahi hafif hafif hasarlar ile atlattır. Buna karşılık kalın kum veya kil tabakaları üzerinde mesela bir vadi tabanında inşa edilmiş bir yapı temel zemini deprem enerjisini sönmüleyerek geniş sallantılara başlayacağı için, büyük yatay ve düşey yüklere maruz kalacak ve yıkılacaktır [34].

3.3. Zemin Yapı Etkileşimi

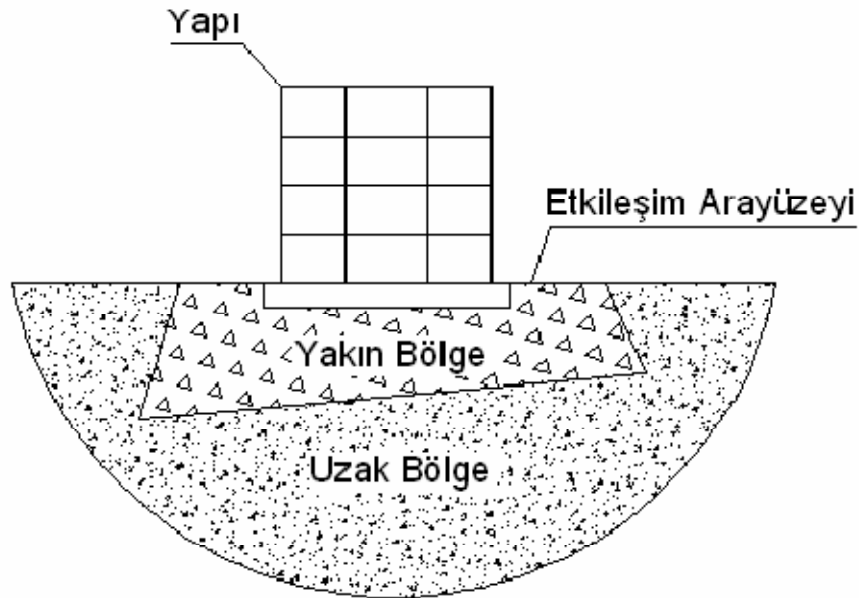
Zemin ve zemin içerisinde temeli olan taşıyıcı sistem, birbirleri ile karşılıklı etkileşim içerisinde. Diğer bir ifadeyle zemin özellikleri, yapının dinamik hareketlerini etkilerken, yapının hareketleri de zeminin dinamik hareketlerini etkilemektedir. Teknik literatürde bu olaya yapı-zemin etkileşimi denilmektedir [34].

Zemin yüzüne ulaşan deprem hareketi yapının temeli yoluyla yapıya iletir. Deprem hareketinde yapı ve zemin birlikte hareket ettiklerinden dolayı birbirlerinin davranışlarını etkilemektedir. Yapılan araştırmalarda hasar görmüş yapıların ilk frekanslarının, üzerinde bulunduğu zemin tabakasının frekansına yaklaşık eşit olduğu tespit edilmiştir. Bu olay zemin yapı etkileşmesinden daha çok, zeminin deprem davranışına olan etkisini göstermektedir [34].

Genel olarak zemin-yapı etkileşimi, zemin jeolojik yapısına ve deprem odağından uzaklık parametrelerine bağlı olarak dikkate alınır. Deprem odağından uzaklık, “deprem bölgeleri haritası” olarak yansıtılır ve sağlam taban kayasından oluşabilecek “maksimum etkili taban ivmelerini” veren eşdeğer ivme eğrileri olarak ifade edilir [34].

Zemin – yapı etkileşimi çeşitli tipteki sistemlerin (alanların) tamamının veya bir kısmının iç içe veya üst üste gelmesi ile oluşan birleşik sistemlerdir. Birleşik sistemlerin analizi her sistemin ayrı ayrı analizi veya sistemlerin birbirlerine olan etkilerinin göz önüne alınması ile yapılır. Bu sistemler hesaplanırken herhangi bir alan (sistem) diğerinden ayrı çözülemez ve herhangi bir bağımsız değişken diferansiyel denklem düzeyinde yok edilemez [35].

Zemin-yapı sisteminde yükleme ve kuvvetler, ortamlar aracılığıyla iletilir. Bu ortamlar hesaplama kolaylığı sağlamak için çeşitli gruplara ayrılır ve değişik şekillerde modellenirler (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi [35]

Sınırsız ortam: zemin ortamı boyutları yeryüzü ile sınırlı olmakla birlikte sınırsız veya yarı sonsuz bir ortam olarak kabul edilmektedir. Birleşik sistem analizinde sınırsız ortamları gerçek boyutları ile modellemek mümkün olmadığından belirli bölge göz önüne alınarak problem tanımlanır. Sınırsız ortam, yapının dinamik rijitlik matrisine eklenen empedans katsayıları ile karakterize edilir. Sonsuz ve yarı sonsuz ortam analizlerinde dinamik yüklemeler (makine titreşimleri, depremler, yer altı patlamaları, yapı yakınındaki yollardan geçen araçların titreşimleri vs.) sınırsız ortam vasıtası ile tanımlanır.

Sınırlı ortam: yakın bölge de denilen ortamdır. Yapının sınırsız ortam ile etkileşime girdiği, malzeme davranışı bakımından büyük gerilme ve şekil değiştirmelerin meydana geldiği ve zemin davranışının lineer olmayan davranış gösterdiği kabul edilen ve zemin davranışının doğrusal davranış gösterdiği etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölgedir. Sınırsız veya yarı sınırsız ortamların analizi yapılırken sınırlı ortam, sınırsız ortam ile birlikte düşünülür. Sisteme zamanla değişen bir yük etkilediğinde yapı, dinamik olarak sınırsız ortam ile etkileşir. Sınırsız ortamlarda dinamik etkileşim analizi en iyi yapı - zemin etkileşim problemi ile karakterize edilebilir.

Etkileşim ara yüzeyi: zemin - yapı etkileşiminin sayısal olarak analizi uygun bir şekilde modellenmesi gereken ara yüzey etkilerini içerir. Etkileşim ara yüzeyi sınırlı ortam ile sınırsız ortamın etkileşime girdiği fiktif yüzey olarak kabul edilmektedir. Zemin - yapı etkileşim (ZYE) problemlerinin çözümünde sınırsız ortamın (uzak bölge) dinamik özellikleri etkileşim ara yüzeyinde tanımlanır. Çoğu problem etkileşim ara yüzeyinin Sonlu elemanlar modeli ile çözülebilmektedir. Yüzeyin gerçekçi davranışı plastisite teorisi kullanılarak uygun elemanlarla modellenebilir [36].

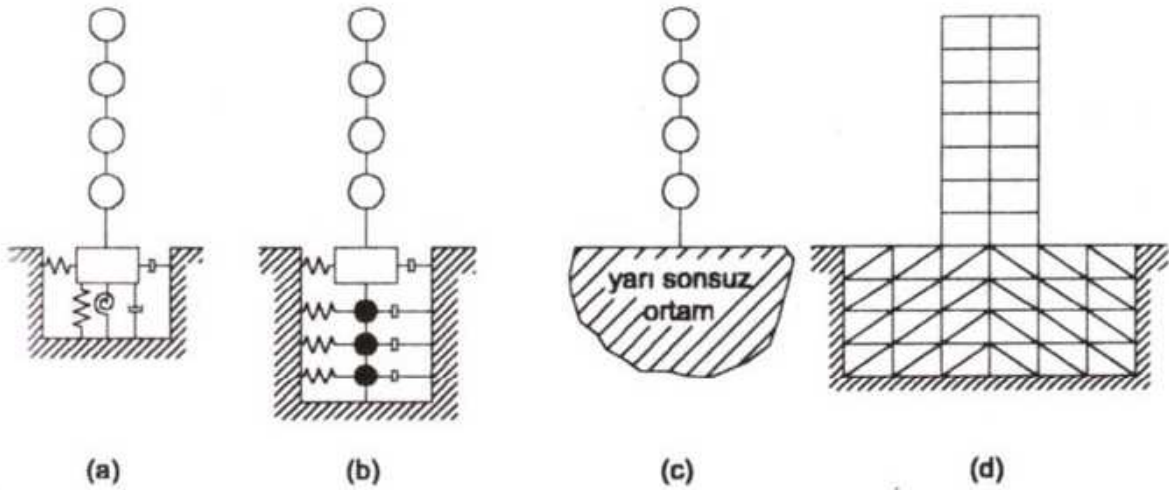
Yapı ile bitişik olan sınırlı zemin ortamı (yakın bölge) ve yapının kendisi doğrusal olmayan davranış gösterirlerken, yarı sonsuz sınırsız zemin ortamının ise doğrusal olarak davrandığı kabul edilir. Yapı ile bitişik sınırlı zemin ortamının büyüklüğü, zemin davranışının doğrusal olmayan davranıştan, doğrusal davranışa geçiş yaptığı etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölge kabul edilebilir [37].

Bir yapının sismik davranışı üst yapı, deprem kaynağı, zemin şartları ve temelin özellikleri ile yakından ilgilidir. Zemin ve yapının karşılıklı etkileşimi, üst yapı ve yerel zeminin dinamik karakteristiklerini etkiler. Kavramsal olarak ZYE, yapıda kütle ve rijitlik dağılımını etkileyerek sistemin bütününde frekans ve mod şekillerinin değişimine neden olur.

Taşıyıcı sistemin bulunduğu yöresel zemin şartları, (Z1- Z4)'e kadar değişen dört değişik zemin sınıfı ile yansıtılabilir. Her zemin grubunun deprem hareketine karşı göstereceği dinamik tepki de “spektrum karakteristik periyotları” olarak ifade edilebilir.

Deprem şartnamelerinde zemin-yapı etkileşimi, deprem yükleri hesaplanırken “tepki spektrumunda,” (Z1-Z4) ün bir parametre olarak alınmasıyla yansıtılabilir.

Herhangi bir bölgedeki yapının deprem etkisi sonucunda davranışı değerlendirilirken, zemin -yapı sisteminin dinamik özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Çünkü zemin yapı davranışını değişik şekillerde etkiler. Zeminin dinamik karakterinin belirlenmesinde Şekil 3.2’de gösterilen değişik uygulamalar kullanılabilir.



Şekil 3.2. Zemin-yapı etkileşiminin incelenmesi için değişik hassasiyette modeller [37]

Burada;

a) Yapının temelinde kabul edilen eşdeğer elastik yay ve sönümlerle modelleme,

- b) Zemin düşey doğrultuda elastik yay ve sönümlerin bir gelmesinden oluşan kayma kirişi şeklinde modelleme,
- c) Yapının elastik veya viskoelastik yarı sonsuz ortamda yarı sonsuz olarak modellenmesi
- d) Zeminin iki veya üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi

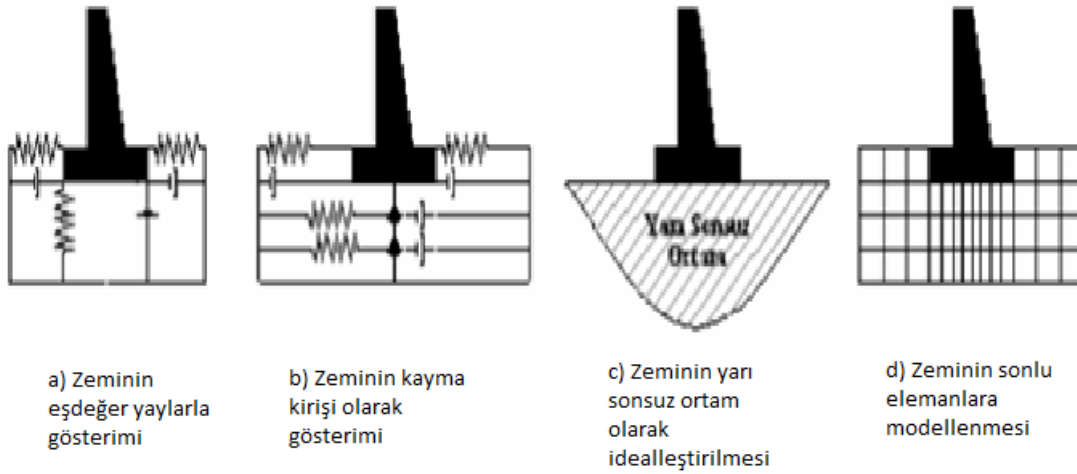
Zeminin yapıyı etkileme şekilleri;

- a) Yapının altındaki zemin, ana kayadaki deprem etkisini değiştirerek verir. Bu durum özellikle dolgu olan zeminlerde deprem etkisinin büyümesine neden olur.
- b) Zeminde hareketi ile yapının periyot ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir.
- c) Yapıdaki titreşim önemli bir kısmı, zemine mesnetlenmenin rijit olamaması, zemindeki sönüm ve zeminde geri dönmeyen yayılma etkisiyle söner.
- d) Yapının bulunduğu zeminin etkisiyle deprem sırasında taşıyıcı sistemde farklı oturmalar meydana gelebilir.

3.4. Zemin - Yapı Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri

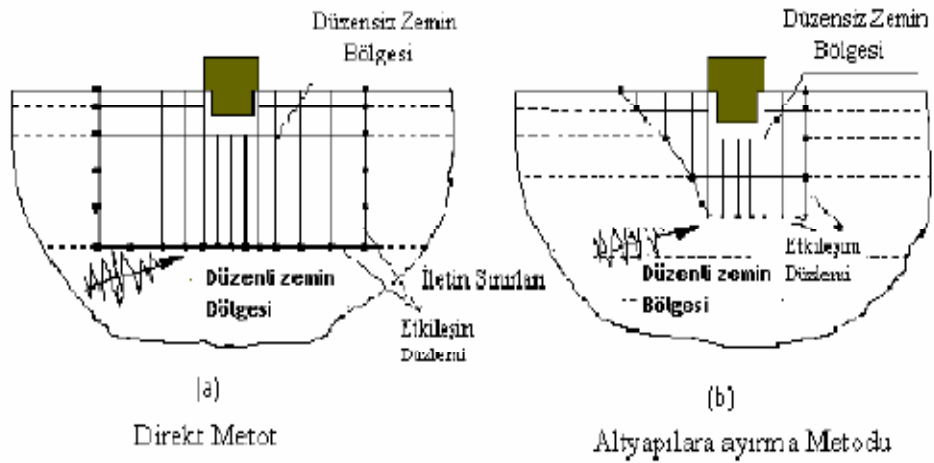
Yapı dinamiği, yapıya etkileyen dinamik yüklerden dolayı yapıda oluşan kesit tesirleri, gerilme ve yer değiştirmelerin belirlenmesi ile ilgilenir. Bu değerlerin bulunması, belirli sayıdaki serbestlik derecesine sahip dinamik modelin doğru olarak belirlenmesi ve uyum denkleminin genel çözümünün doğru olarak elde edilmesi ile mümkündür. ZYE problemi, sınırsız zemin ortamında dinamik enerjinin yayılması, zemin sönümünün histerik yapısı, yapının zeminin davranışını etkilemesi, sismik yükler altında zeminin sıvılaşma ihtimali, zeminin doğrusal olmayan davranışı gibi özellikleri nedeni ile çözümü son derece karmaşık ve zor olan bir problemdir. Ayrıca zemindeki süreksizlikler, zeminin yarı sonsuz bir ortam olması, zemindeki tabakalaşma ve bu tabakaların değişkenliği, zemindeki suyun varlığı, zeminin çekme gerilmesi olmayan bir malzeme olması gibi olgular zemin -yapı etkileşim problemlerini klasik analiz problemlerinden farklı kılan özelliklerdir.

ZYE analizi için ele alınan zemin ortamı çeşitli şekillerde modellenmekte ve çeşitli hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı analizlerde, zemin yay, kayma kirişi, yarı sonsuz ortam olarak modellenebilmektedir (Şekil 3.3). Analiz için seçilen matematik modelin ve hesap metodunun çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Zemin Modelleme Şekilleri [38]

Dinamik zemin -yapı sisteminin analizi genellikle a) Direkt Yöntem ve b) Çok Adımlı Çözüm Yöntemleri olmak üzere iki metoda dayalı olarak yapılmaktadır (Şekil 3.4). Bu çalışmada zemin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla modellendiğinden direkt yöntem kullanılmıştır.

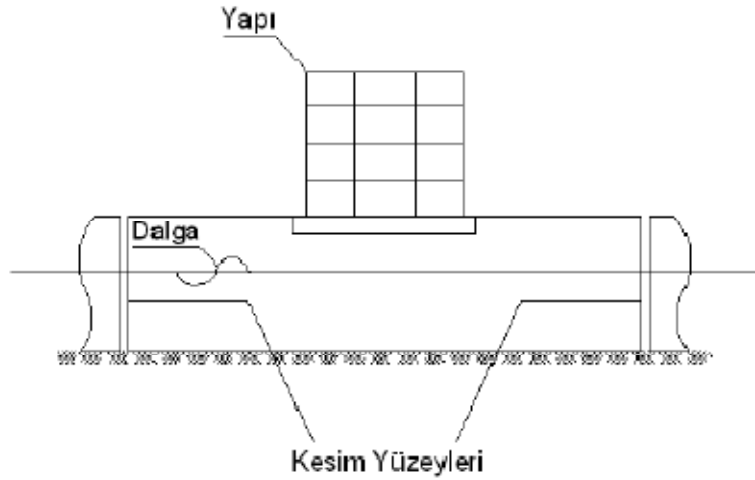


Şekil 3.4. Zemin Yapı Etkileşim Analiz Metodları [38]

3.4.1. Direkt yöntem

Bu yöntem dinamik yükleme etkisi altında zemin yapı sisteminde, yer değiştirme, mod şekilleri ve kesit tesirleri zaman ve frekansa bağlı olarak tek adımda sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılarak bulunmaktadır. Zamana bağlı çözümlerde hareket denklemi modal analiz ve direkt integrasyon yöntemi ile çözülür. Frekans uzayında ise hareket denklemi frekansın bir fonksiyonu olarak çözülüp Fourier dönüşümü uygulanarak zamana bağlı değerlere geçilebilir.

Belirli yönlerde sonsuza uzanan zemin, kesim yüzeyleri ile kesilerek (Şekil 3.5) kesim yüzeylerine yarı sonsuz zeminin özelliklerini yansıtacak özel sınır şartları konur.



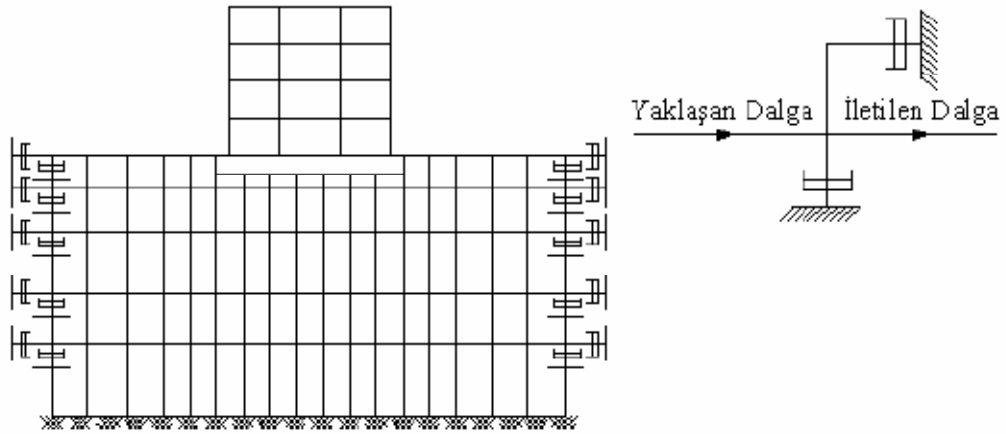
Şekil 3.5. Zemin Yüzeylerinin Kesilmesi [39]

Direkt analiz yönteminde, gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için kesim yüzeylerinin yapıdan çok uzak bir mesafede seçilmesi gerekmektedir. Fakat modelin çözülebilir olması için Sonlu Elemanlar bölgesinin çok büyük olması istenmez. Kesim sınırları ile sınırlanan zemin bölgesi SEM ile modellendiğinde kapalı ortam içerisinde yayılan dalgalar sınırlara çarparak tekrar analiz ortamına döner ve çözümü olumsuz etkilerler. Bu durumun engellenmesi için kesim sınırlarının özel sınır şartları ile dalga geçirimsizliğini sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Yapılan parametrik çalışmalar, zemin sonlu eleman ağının, özellikle geometrik sönümün (radyasyonun) önemli olduğu yüksek frekanslı yer hareketlerinde ve zeminin sönümünün büyük olması gibi özel durumlarda, yapı temel taban genişliğinin sağ ve solunda 8~10 katına kadar uzatılmasının yeterli olacağı belirtilmektedir [39].

Zemin kesim yüzeylerinde oluşan yapay sınırlardan enerji geçişini sağlayan bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir [40]. Direkt yöntemle sistemin doğrusal olmayan özelliği çok iyi bir şekilde analiz edilebilmektedir. Yeni geliştirilen yapay sınırlar frekansa bağımlı olarak da ifade edilebilmekte ve direkt yöntem yardımı ile zeminin histerik bir yapıda olan sönümü daha iyi dikkate alınabilmektedir.

3.4.2. Viskoz sınır şartı

Viskoz sınır şartının kullanılması durumunda gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için ele alınan zemin ortamı çok küçük elemanlara bölünmekte ve kesim noktaları yapıdan oldukça uzakta seçilmektedir (Şekil 3.6). Viskoz sınır şartının kullanılabilmesi için, düzlem dalga yayılımının izotrop ve lineer elastik bir ortamda gerçekleşmesi gerekmektedir. Çalışmalarda kullanılan direkt yöntemde zemin belirli bir uzaklıktan kesilmekte ve kaynaktan saçılan dalgaların kesim noktalarındaki yapay sınırlara çarparak bir kısmının tekrar zemin ortamına yansımaları gibi bir duruma neden olmaktadır. Bunun engellenmesi için viskoz sınır şartları kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Direkt Yöntemde Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar) [41]

Dinamik analizlerde modellenen viskoz sınır şartı efektif rijitlik ve efektif sönüm değerleri tanımlanmıştır. Efektif rijitlik, ilgili noktanın bir birimlik yer değiştirmesi için gereken kuvvet olarak belirlenir. Efektif sönüm ise aşağıdaki denklemden yararlanılarak hesaplanır;

$$c = \rho V_s A \quad (3.1)$$

burada, zeminin yoğunluğu, zeminin kayma dalga hızı ve ise etkili alandır. Zeminin kayma dalgası;

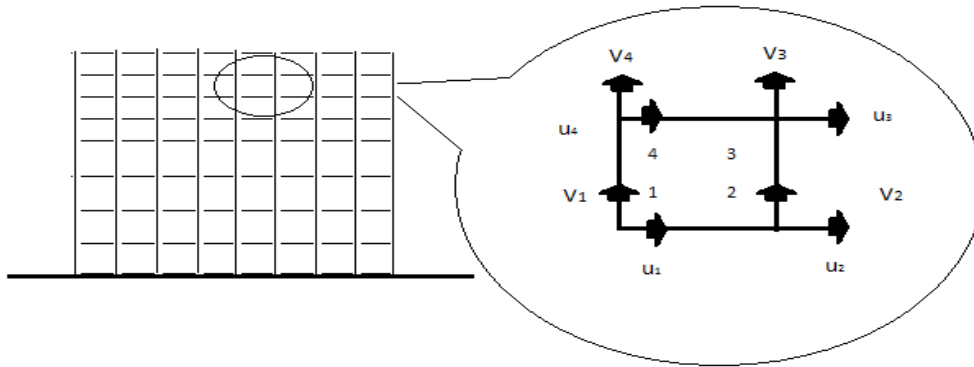
$$V_s = G / \rho \quad (3.2)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada G , zeminin kayma modülüdür ve bu değer;
 $G = E / 2 (1 + \nu)$ (3.3)

olarak tanımlanmıştır. Burada E , zeminin elastisite modülüdür [41].

3.4.3. Yapı- zemin etkileşiminin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi

Sonlu elemanlar yöntemi; bir bütünü, sınırları düğüm noktaları ile tanımlanan, ayrı elemanlardan oluşan bir topluluk olarak ele alır ve bütünün tepkisinin düğüm noktalarının tepkisi ile tanımlanabileceğini kabul eder. Bu yöntemde söz konusu problem önce Şekil 3.7’de görüldüğü gibi elemanlarına ayrılır. Bir eleman içinde herhangi bir noktadaki zemin yer değiştirmesi; $\{v\}=\{u,v\}$,



Şekil 3.7. Zemin parçasının sonlu elemanlara ayrılması [42]

Düğüm noktası yer değiştirmesi $\{q\}=\{u_1, u_2, u_3, u_4, v_1, v_2, v_3, v_4\}$ olmak üzere

$$\{v\}=[N]\{q\} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $[N]$, şekil fonksiyonları matrisidir. Birim deformasyon- yer değiştirme matrisi $[B]$, birim deformasyonların düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerden hesaplanmasını sağlar.

$$\{\epsilon\}=[B]\{q\} \quad (3.5)$$

Gerilme-birim deformasyon matrisi [D] de gerilmelerle birim deformasyonları şu şekilde ilişkilendirir.

$$\{\sigma\}=[D]\{\varepsilon\} \quad (3.6)$$

Yapısal çözümlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli sonlu elemanlar modelinin oluşturulması amacıyla yarı sonsuz zemin ortamının sonlu mesafelerde bitirildiği bilinmektedir. Bu durumda yapısal çözümlemede kullanılacak olan matematik modellerde seçilen sınıra bitişik zemin kütesinin sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisinin kabul sınırları içerisinde kalması gerekmektedir [43]. Yapılan parametrik çalışmalar, zemin sonlu eleman ağının özellikle geometrik sönümün (radyasyonun) önemli olduğu yüksek frekanslı yer hareketlerinde ve zeminin sönümünün büyük olması gibi özel durumlarda yapı temel taban genişliğinin sağ ve solunda 8-10 katına kadar uzatılmasının yeterli olacağı belirtilmektedir [44], [45].

Eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan sonlu eleman modellerinin ikisinin tepkisi de sonlu elemanlara ayrılma şeklinden etkilenir. Kısa dalga boylu frekans bileşenleri geniş aralıklı düğümlerle modellenemediğinden, özellikle iri ağı sonlu eleman modellerinin kullanılması durumunda yüksek frekans bileşenleri ihmal edilir. Modelde kullanılan elemanın maksimum boyutu, analizde kullanılan en kısa dalga boyunun sekizde biri ile onda biri arasında sınırlandırılmalıdır [42].

BÖLÜM 4.

4.1. Sakarya Bölgesinin Jeolojisi

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden Türkiye'nin batı kesimleri kuvvetli şekilde etkilenmiştir. Adapazarı şehri, depremin merkez üssüne yakın olması, kötü inşa edilen yapılar ve yapılaşmaya uygun olmayan temel zeminlerinden dolayı büyük hasar görmüştür. Adapazarı şehri çoğunlukla kırılan Kuzey Anadolu Fayı yakınında derin alüvyon havzaları üzerindedir. Bu nedenle 250000'den fazla insanın yaşadığı Adapazarı şehrinde 17 Ağustos 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) gibi büyük depremler sırasında sıvılaşma ve zemin yumuşamaları meydana gelmiştir.

4.2. Bölgenin Jeolojik Yapısı

Adapazarı ovası, aşağı Sakarya vadisinde, Sapanca Gölü ile Adapazarı merkez ve doğusunda yer alır. Doğuda Keremali Dağlarının eteklerine uzanan Akova, Marmara bölgesinin en büyük ovalarından biridir. Yüzölçümü 620 km² olan ovanın batı-doğu yönünde uzunluğu 27 km, kuzey-güney yönünde de genişliği 23 km'yi bulmaktadır.

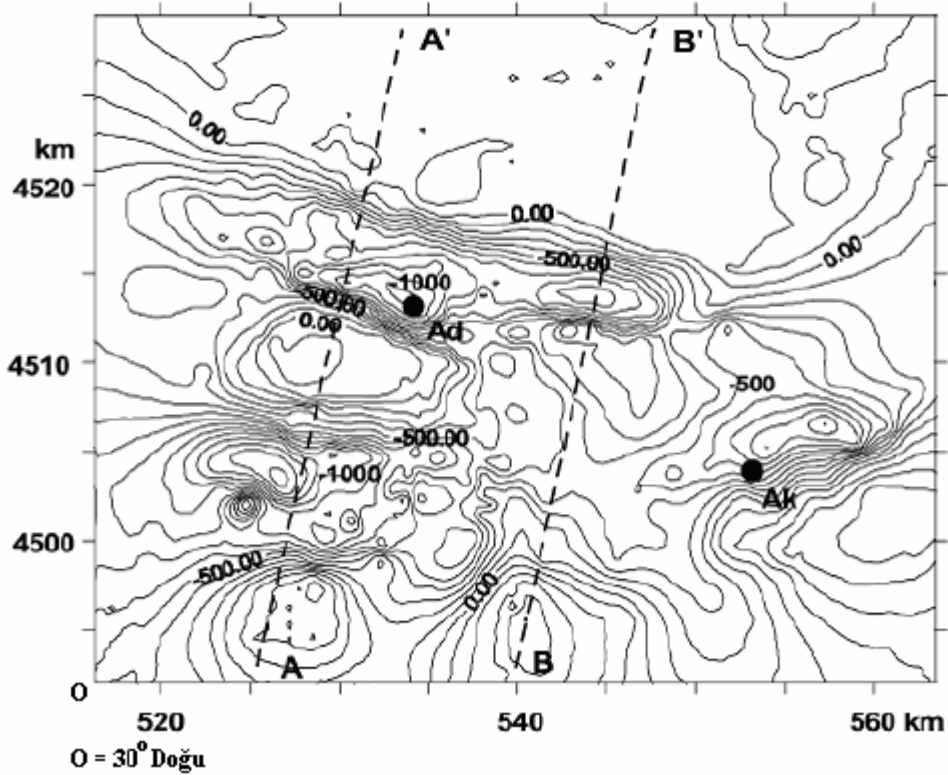
Yükseltisi yaklaşık 30 m olan ovaya, çevredeki dağlardan sırtlar sokulmakta ve bazı alanlarda tepecikler oluşmaktadır. Bunlardan başlıcaları, Adapazarı kent merkezinin güneyindeki Erenler tepesi (75 m), Alibey tepesi (112 m) ve güneydoğusundaki Tersiyer tepesi (85 m)'dir [46].

Adapazarı ovasının büyük bir kısmını Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin getirdiği çakıllı ve siltli kumlar içeren kuvaterner alüvyon birikintileri oluşturur. Genellikle çakıl-kum-silt serileri devamlı bir şekilde görülür. Bu birikintiler merceksi veya bant şekilde düşük plastisiteli kil ve silt serileri içerirler. Kil, kum, çakıl ve silt bazen tek başlarına belli seviyelerde bazen de bunların değişik kombinasyonları şeklinde ardalanmalı olarak görülmektedir. Kuvaterner oluşumlar değişik tabaka

kalınlıklarından oluşan gradasyonu düzgün çakıl, kum ve siltler içeren ve kayma dalga hızları 200 – 250 m/s civarında olan holosen alüvyon çökellerden oluşmaktadır [47].

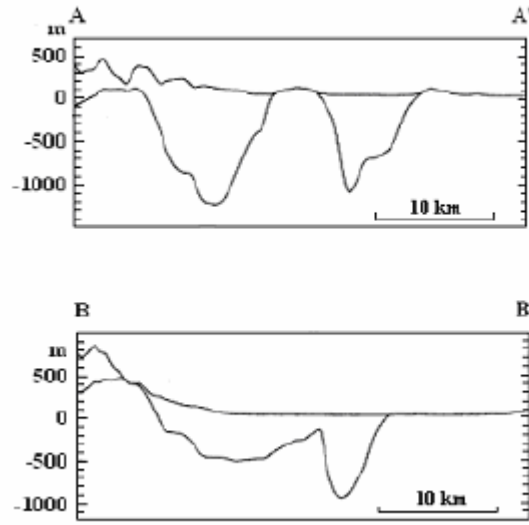
Adapazarı ovasını oluşturan alüvyonun yüzeyi günümüzde yataya yakın bir eğimdedir. Alüvyonun kalınlığı değişik araştırmacılar tarafından tartışılmıştır. DSİ tarafından 2001’de yapılan 200 m’lik derin sondajda kaya tabakasına ulaşılammıştır.

Bu konuda, [48] yerçekimi anomali esasına göre yaptıkları çalışmada ana kaya ve zemin tabakası arasındaki 500 kg/m³’lük yoğunluk farkı ile Şekil 4.1’de verilen modeli oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda, alüvyonun kalınlığını yaklaşık 1000 – 1500 m olarak açıklamışlardır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Yerçekimi anomali esasına göre elde edilen model [48]

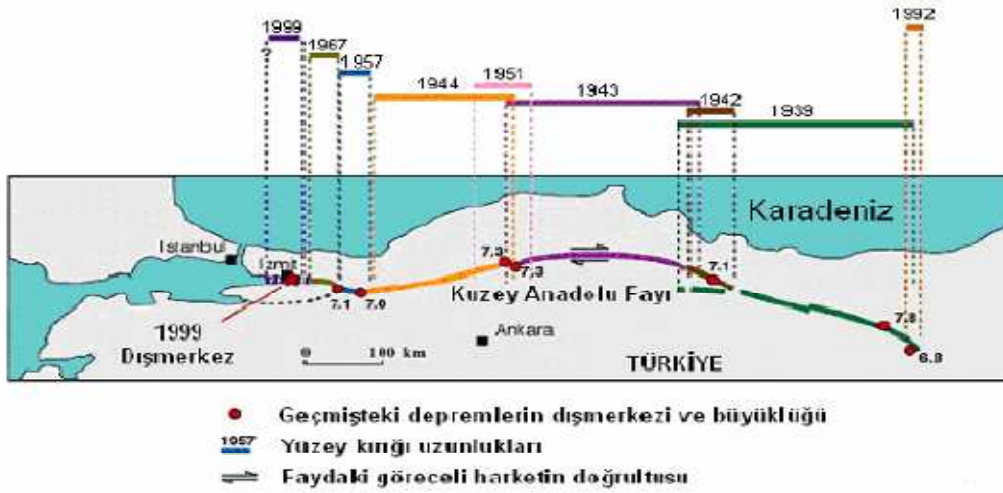
Kontur çizgileri arası 100 m olup derinliği göstermektedir. Ad ve Ak sırasıyla Adapazarı ve Akyazı'yı ifade etmektedir [48].



Şekil 4.2. Yerçekimi anomalisi esasına dayalı model için kesitler ve yüzey topografyası [48]

4.3. Bölgenin Depremselliği

Bölge doğudan batıya uzanan Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'dan dolayı tektonik açıdan aktif bir konumdadır. Adapazarı kenti aynı zamanda kalınca bir alüvyon dolgu zeminde yer alması sebebiyle muhtelif tarihlerde meydana gelmiş olan kuvvetli depremlerden büyük hasar görmüştür. Jeoloji ve yerel zemin şartlarından dolayı, deprem esnasında sıvılaşma ve zemin büyütmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Şekil 4.3'te Kuzey Anadolu Fayında gerçekleşen son depremlerde kırılan faylar resmedilmiştir.



Şekil 4.3. Kuzey Anadolu Fayında gerçekleşen son depremler [41]

Adapazarı ve yakın çevresini etkisi altında bulunduran Kuzey Anadolu Fay (KAF) kuşağı, sismik olarak dünyanın en önemli diri faylarından biri olup doğrultu atımlıdır. KAF'ın batı segmenti, Gerede, Bolu ve Mudurnu Suyu vadisi boyunca Dokurcun'a kadar tek hat halinde uzanır. Dokurcun'dan sonra iki ana kola ayrılan bu kuşak güneyde Geyve, Pamukova, İzmit, Gemlik, Bursa, Manyas, Yenice, Gönen üzerinden Ege Denizi'ne; kuzeyde ise Arifiye, Sapanca, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve Tekirdağ üzerinden Saros Körfezi'ne ulaşır. Değişik zamanlarda bu fay kuşağında meydana gelen depremlerden etkilenen Adapazarı şehri Kuzey Anadolu Fay kuşağının kuzey koluna yakın bir noktada yer almaktadır [41].

Adapazarı bölgesinde 1943 yılından günümüze kadar küçüklü büyüklü birçok deprem kaydedilmiştir. Hendek (1943, $M_s = 6.6$), Abant Depremi (1957, $M_s = 7.1$), Adapazarı – Mudurnu Depremi (1967, $M_s = 6.8$), Marmara Depremi (1999, $M_w = 7.4$) ve Düzce Depremi (1999, $M_w = 7.2$) bölgeyi etkileyen büyük depremlerdendir. Özellikle 1967 Adapazarı – Mudurnu ve 1999 Marmara Depremleri bölgede çok şiddetli hissedilmiş ve önemli oranda can ve mal kaybına neden olmuştur. Her iki depremde de yüzeyde geniş kırılmalar meydana gelmiş, yapılar ötelenmiş ve yıkılmıştır [41].

4.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi

17 Ağustos 1999 tarihinde, saat 03:02'de Marmara'nın doğusunda $M_w = 7.4$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve 45 s sürmüştür. Yüzeyde yaklaşık 140 km'lik bir yüzey kırılması ve 5 m'ye varan sağ yanal atılım meydana gelmiştir.

Depremde İzmit Körfezi bölgesinde şev kaymaları, sıvılaşmalar ve oturmalar meydana gelmiştir. Depremin büyük olması yanında, yurdumuzun nüfus yoğunluğu yüksek olan ve sanayi tesislerinin yoğun olarak bulunduğu bir bölgede meydana gelmesi, hasarın büyük olmasına sebep olmuştur. Bina hasarları İzmit Körfezi kıyısındaki Gölcük, Değirmendere, Yalova ve Adapazarı'nda yoğunlaşmıştır.

Yalova'da ve özellikle Adapazarı'nda yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olması nedeniyle pek çok temel göçmesi meydana gelmiştir. Adapazarı'nda binaların hiçbir hasar görmeden döndüğü, temellerinin açığa çıktığı ve bazı binaların deprem hareketi ile sıvılaşmış zemin içine 1.5 m düşey doğrultuda oturduğu ve bu sırada kaldırımların alt zemin tarafından kaldırıldığı görülmüştür. İzmit'te de binalarda önemli hasar olmuş ve İstanbul'da özellikle Avcılarda ağır hasarlı binalar tespit edilmiştir.

Gölcük'teki askeri tesislerde yüzey kırığının binalar ve tesisler arasında oluşması nedeniyle çok önemli hasarlar meydana gelmiştir. Bu bölgede 4.10 m' ye varan yatay ve 0.40 m civarında düşey hareket tespit edilmiştir. Değirmendere'de kıyı şeridinde şev kayması oluşmuş bazı bölgeler sular altında kalmıştır. Yalova'da da özellikle deniz kıyısındaki binalarda ağır hasar meydana gelmiştir [49].

Kocaeli ve Sakarya illerindeki otoyolların alüvyon dolgular üzerindeki kısımlarında 0.20 m civarında oturmalar meydana gelmiştir. Özellikle köprülerin yaklaşma plaklarında bu oturmalar açık biçimde ortaya çıkmış ve trafiğin hızını sınırlamıştır.

Bu bölgede otoyol üzerinden geçen prefabrike kirişli iki açıklıklı üst geçit köprüsünde açıklık kirişleri mesnetlerinden düşerek yolu trafiğe kapamıştır [49].

Bu depremde en büyük hasarı Adapazarı görmüştür. Hasarın büyük olmasının en önemli nedenlerinden biri, Adapazarı'nın genç alüvyonlar üzerine kurulmuş olmasıdır. Alüvyon tabakalar bazı bölgelerde sıvılaşmalara, bazı bölgelerde taşıma

gücü yenilmelerine ve bazı bölgelerde depremin etkisini büyütme olarak rol oynamıştır.

BÖLÜM 5.

5.1. Lusas Programı

Lusas programı her türlü doğrusal ve doğrusal olmayan gerilme, dinamik ve birleşimlerin analizinde kullanılan yazılım programıdır. Sonlu elemanların ve termal mühendislik konularının çözümünde, analizinde tercih edilen yazılımdır.

5.2. Sınır Şartları

Zemin-yapı etkileşimi ile ilgili ilk bildiri 1965 yılında, III. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulmuştur. Bu bildirinin ardından yapılan birçok araştırmada, yapı zemin etkileşimi problemi, Ortak Sistem (Doğrudan Çözüm) ve Alt sistem Yaklaşımı çerçevesinde çözülmeye çalışılmış, zaman tanım alanında, değişik zemin fonksiyonlarını kullanarak yüzeysel temeller için lineer olmayan zemin-yapı etkileşimi problemini irdelemişlerdir [50]. Yine Wolf ve Oberhuber [50], yaptığı birçok çalışmada, sınırsız ortamı basit modellerle idealleştirmeye çalışmıştır. Zemin sınırsız ortamını, en çok frekansa bağımlı yay ve sönüm sistemiyle temsil etmiştir. Bu yöntemin, diğer yöntemlere göre daha hızlı sonuca gittiği belirtilmektedir. Ancak yay modeli zemin davranışını tam olarak ifade etmekten uzaktır. Çünkü kullanılacak zemin modeli, beklenen şekil değiştirme sınırları içerisinde zeminin deformasyon özelliklerini taklit edebilmelidir.

Taşıma gücü yüksek olan sağlam zeminler üzerine inşa edilen yapılara etkiyen deprem etkisi çok fazla bir deformasyona sebep olmaz. Ancak taşıma gücü düşük sıkışabilir yumuşak zeminler üzerindeki yapılarda deprem etkisi büyük ölçüde hissedilebilmektedir ve bu zemin tabakaları üzerindeki yapıların analizinde yapı zemin etkileşiminin önemli ölçüde dikkate alınması gerekmektedir.

5.3. Modelleme

Bu tez çalışmasında kil, silt, çakıl ve kum olmak üzere dört zemin türü seçilmiştir. Sakarya ilindeki Karaosman İlkokuluna ait sondaj loglarındaki değerler kullanılmıştır (Tablo 1). Bu zemin durumu kullanılarak bodrumlu ve bodrumsuz modelleme yapılmıştır.

Model No	Zemin Durumu
1	1,2 m Dolgu
2	4 m Kumlu Silt
3	7,6 m Siltli Kil
4	14,8 m Siltli Kum

Tablo 5.1. Model Tablosu

Zeminler LUSAS paket programında iki boyutlu olarak modellenmiştir. Zemin elemanın boyutu, yapı taban genişliğinin sekiz katı, derinliği ise model 1’de 14,8 m, olarak alınmıştır. Yapı tabanında ve yakın çevresinde sonlu eleman ağı daha sık iken yapıdan uzaklaştıkça ağ aralıkları da genişletilmiştir. Zeminler için göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan Mohr-Coulomb Kırılma Teorisi kabulüne göre [51], zeminlerin Elastisite modülü ve içsel sürtünme açısı değerleri girilmiştir (Tablo 2).

Sonlu elemanlar ağı sağ ve sol kenarlarından yatay yönde harekete engellenmiştir. En alttaki yatay sınırdan ise hem yatay yönde hem de düşey yönde hareketi engellenmiştir. Ayrıca deprem durumu da, alt sınıra zorlanmış bir yer değiştirme verilerek modellenmiştir.

Derinlik (m)	Sınıf	Zemin Türü	E (N/m²)	Poisson Oram (v)	Yoğunluk (kg/m³)	c (kg/m²)	Ø
1,2	Dolgu		1,2				
2,8	CL	Kumlu Silt	2.50E+07	0.3	1.80E+03	6.00E+03	2.50E+01
3,6	ML	Siltli Kil	1.80E+07	0.3	1.80E+03	2.50E+04	1.60E+01
7,2	SP-SW	Siltli Kum	2.80E+07	0,2	2.20E+03	3.00E+04	2.80E+01

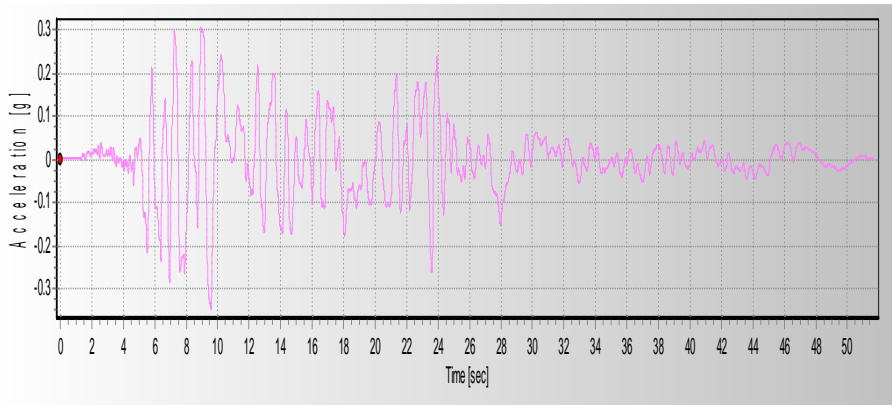
Tablo 5.2. Modelde kullanılan zemin türleri ve mekanik özellikleri

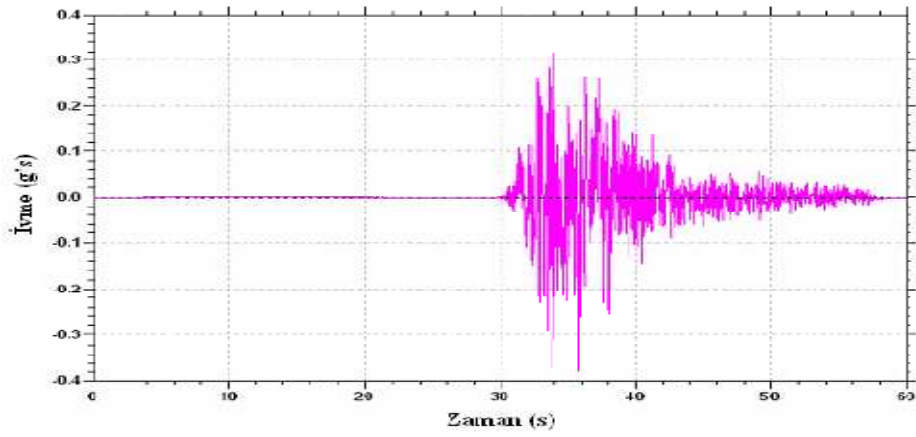
Üç açıklı betonarme bina 3 katlı bodrumlu ve bodrumsuz olarak modellenmiştir. Üst yapıda kolon ve kiriş kesitleri kullanılmıştır. Kullanılan betonarme binanın mekanik özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Yapı	E (N/m²)	Poisson Oranı (ν)	Yoğunluk (kg/m³)
Betonarme Bina	25.5E+3	0.2	2.4E+3

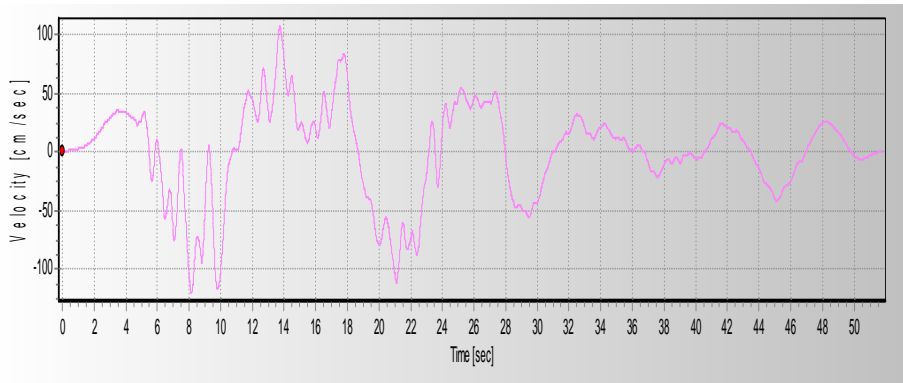
Tablo 5.3. Modelde kullanılan üst yapının mekanik özellikleri

Bu modeller iki boyutlu olarak 4 farklı zemin durumu için zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Zemin profillerinin en alt tabakasına etki ettirilen kuvvetli yer hareketlerinin zemin yüzeyinde değişime uğradığı görülen parametrelerinden biri zamana bağlı ivme değerleridir. 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminin ivme-zaman, hız-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3). Sismogram programı kullanılarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Bodrumlu ve bodrumsuz binalar için bu veriler kullanılmıştır.

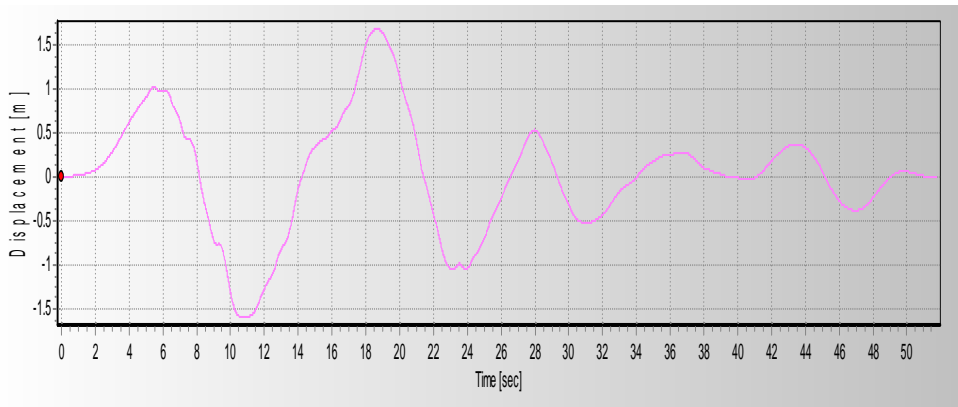




Şekil 5.1. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi İvme – Zaman Grafiği

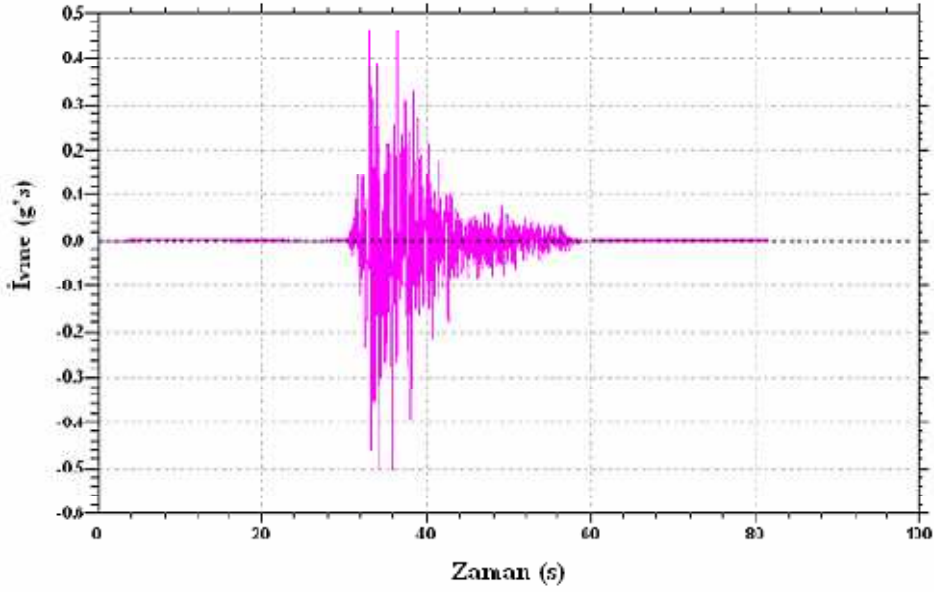


Şekil 5.2. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Hız – Zaman Grafiği



Şekil 5.3. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Yer değiştirme – Zaman Grafiği

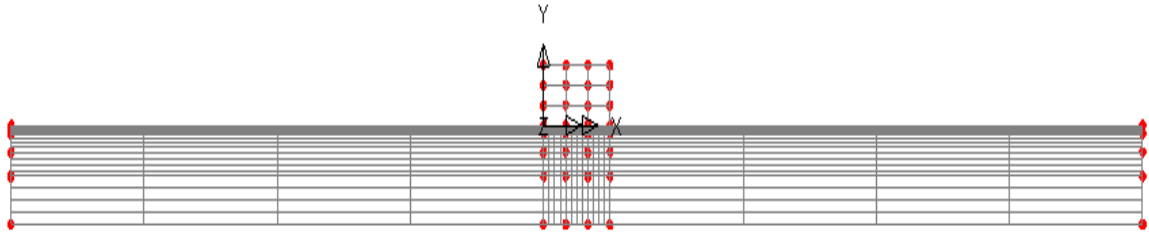
17 Ağustos 1999 da yaşanan Düzce depreminin Sakarya ili Karaosman ilköğretim okuluna ait ivme-zaman grafiği Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



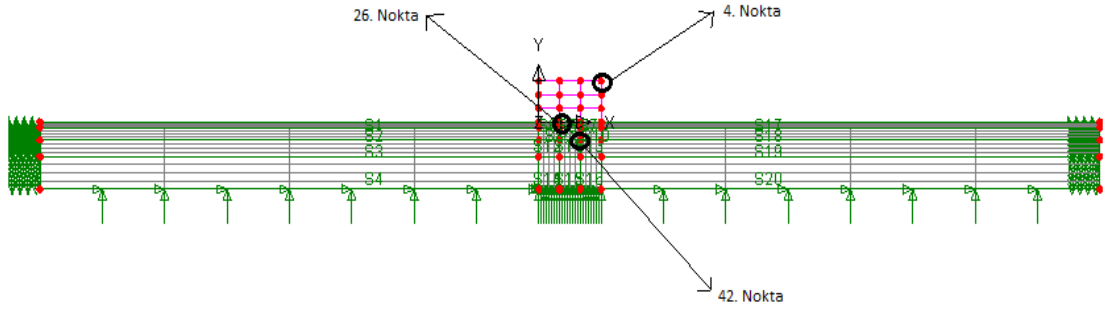
Şekil 5.4. Kara Osman ilkokulu profilinde 17 Ağustos deprem hareketine ait yüzeydeki ivme-zaman grafiği

5.3.1. Bodrumsuz binanın çözümlenmesi

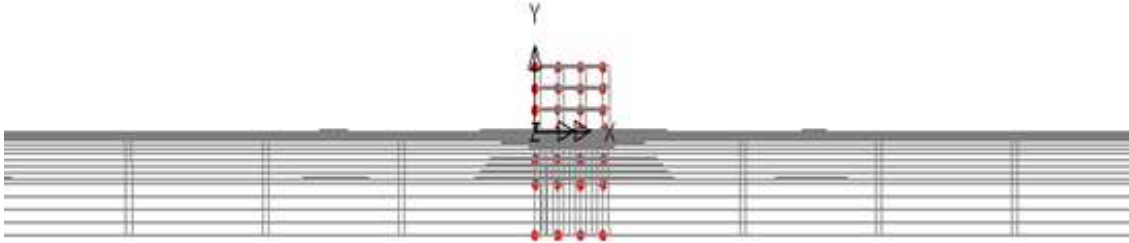
Sonlu elemanlar tekniği kullanılarak bodrumsuz binaya ait model Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Her bir model için modal analizler yapılmıştır. Bodrumsuz binaya ait deforme olmuş modal analizler gösterilmiştir (Şekil 5.7, 5.8).



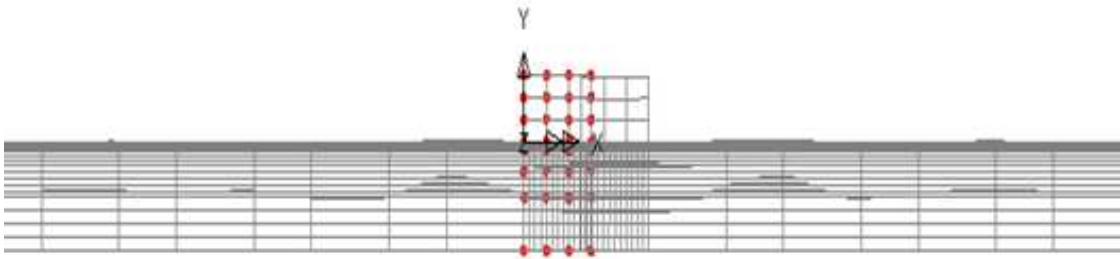
Şekil 5.5. Lusas bilgisayar programında oluşturulan model



Şekil 5.6. Lusas bilgisayar programında oluşturulan modellemede noktaların gösterimi



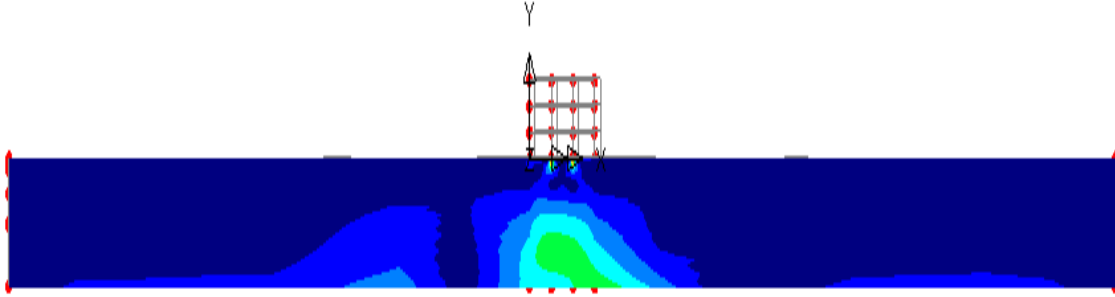
Şekil 5.7. Modal analizden elde edilen 26. moda ait deforme olmuş model



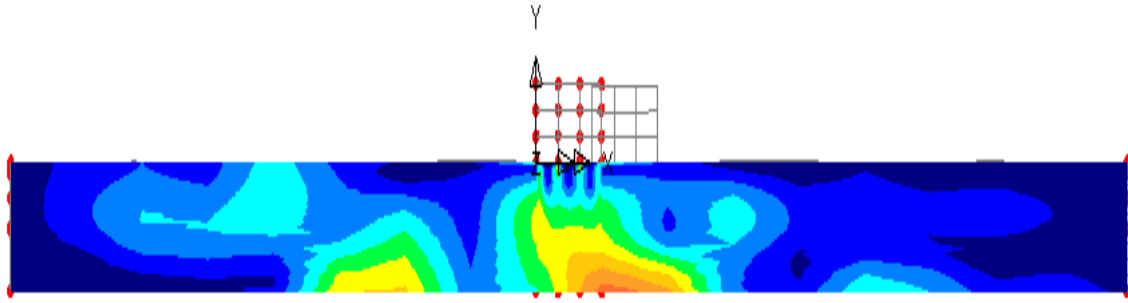
Şekil 5.8. Modal analizden elde edilen 42. moda ait deforme olmuş model

Bodrumsuz binaya ait (3 katlı binada) en büyük yatay yer değiştirme (bina tepe noktasında) $U_x = 3,00$ cm; $t = 5,00$ sn de oluşmaktadır. Bodrumsuz binaya ait en büyük yatay ivmesi $a_x = 1,0$ m/sn²; $t = 3,00$ sn de oluşmaktadır. Deformasyon temel altından tabakalara doğru gittikçe zamanla daha çok artmaktadır.

Aşağıdaki şekillerde gösterilen modellerde 26. Moda ve 42. Moda ait gerilmeler verilmiştir. Gerilmeler 26. Modda $t = 3,00$ sn'den sonra artmaya başlamıştır. Zemin tabaklarında ise 42. Modda $t = 5,00$ sn'den sonra gerilmeler artış göstermiştir.

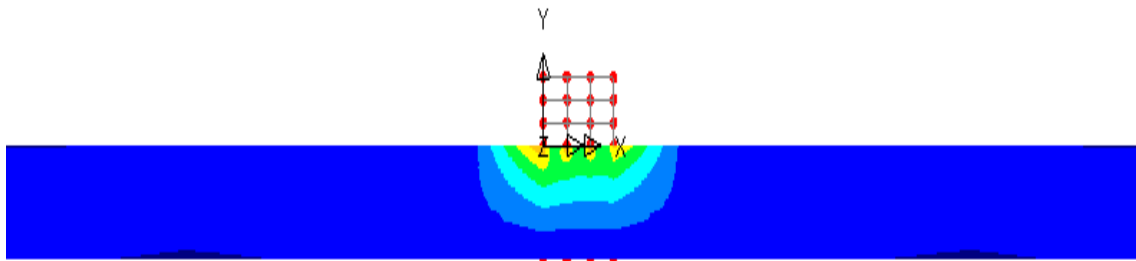


Şekil 5.9. Modal analizden elde edilen 26. Moda ait gerilme

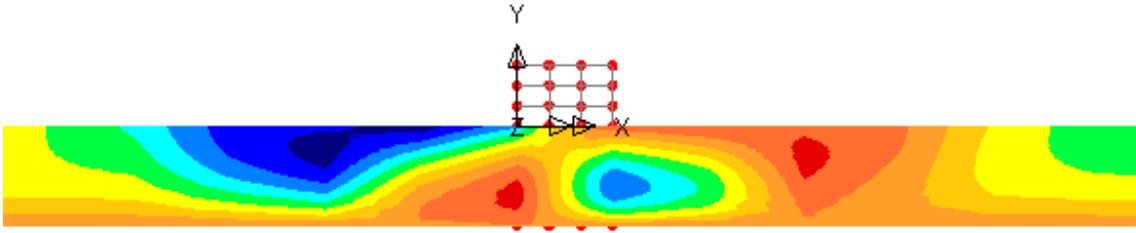


Şekil 5.10. Modal analizden elde edilen 42. moda ait gerilme

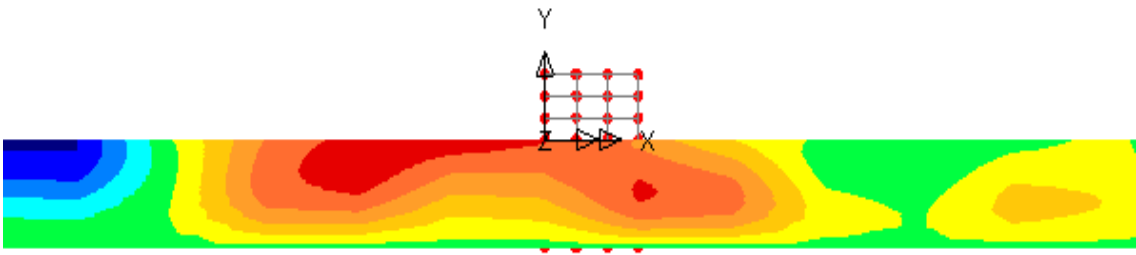
Aşağıdaki şekillerde gösterilen modellerde 4. Moda, 26. Moda ve 42. Moda ait yer değiştirmeler verilmiştir. 4. Moda ait yer değiştirme (bina tepe noktasında) $U_x=3,00$ cm; $t = 5,00$ sn de oluşmakta iken 26. ve 42. Modda yer değiştirmeler daha fazla artış göstermektedir.



Şekil 5.11. Modal analizden elde edilen 4. Moda ait yer değiştirmeler

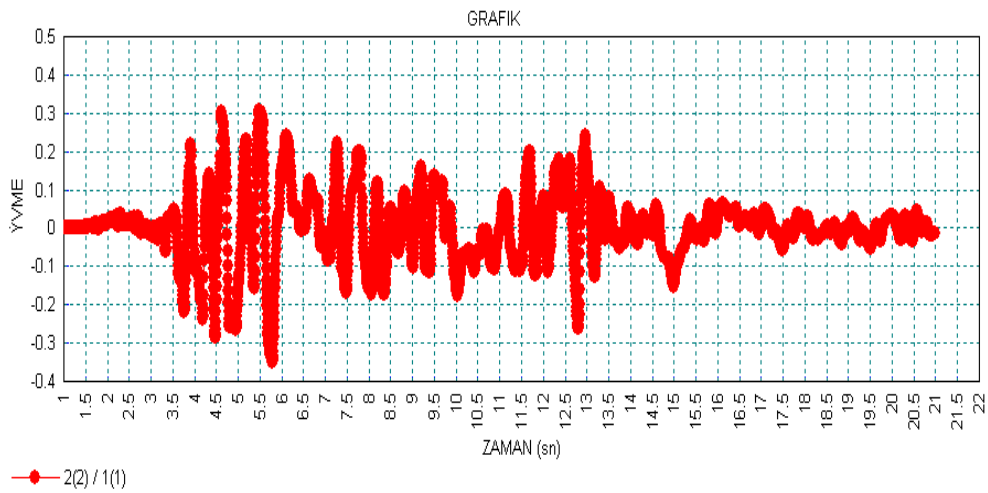


Şekil 5.12. Modal analizden elde edilen 26. Moda ait yer değiştirmeler



Şekil 5.13. Modal analizden elde edilen 42. Moda ait yer değiştirmeler

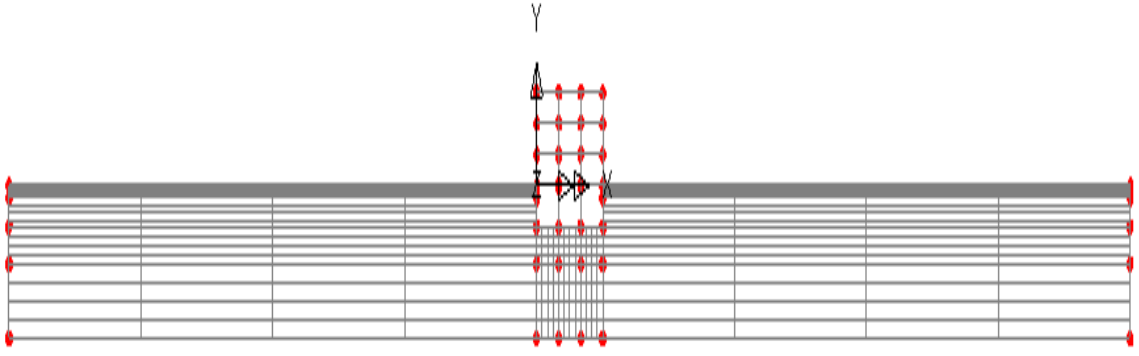
17 Ağustos 1999 yılında yaşanan depremin Lusas programında oluşturulan örnek model üzerinde uygulanması sonucu oluşan deprem grafiği Şekil 5.14. da verilmiştir.



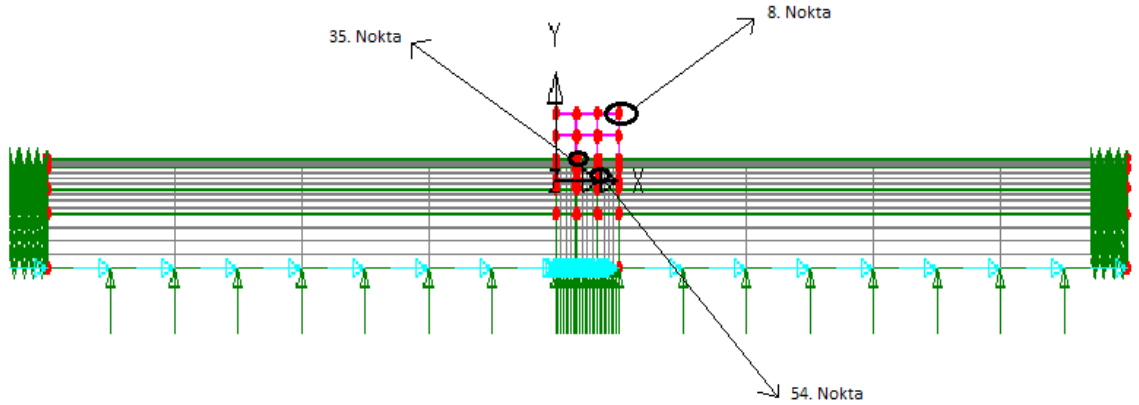
Şekil 5.14. Bodrumsuz yapıya ait LUSAS programında elde edilen ivme- zaman grafiği

5.3.2. Bodrumlu Binanın Çözümlemesi

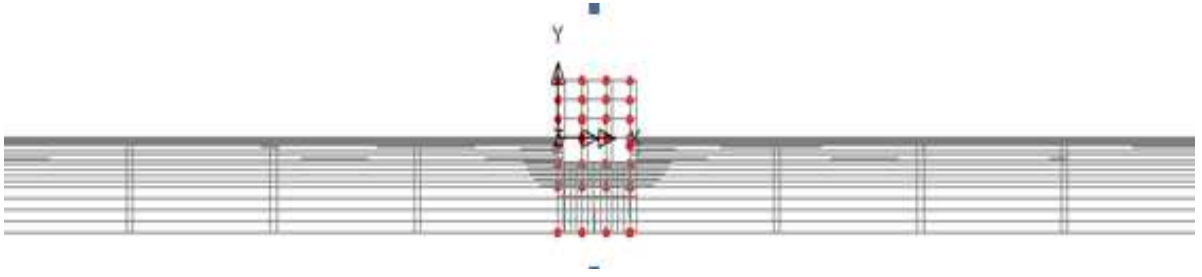
Sonlu elemanlar tekniği kullanılarak bodrumlu binaya ait model Şekil 5.15’de gösterilmiştir. Her bir model için modal analizler yapılmıştır. Bodrumlu binaya ait deforme olmuş modal analizler gösterilmiştir (Şekil 5.17, 5.18).



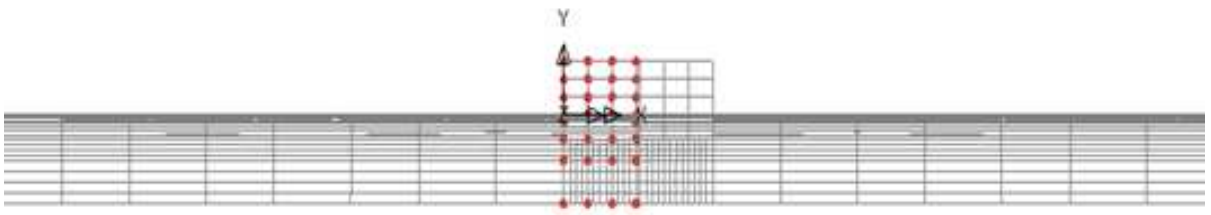
Şekil 5.15. Lusas bilgisayar programında oluşturulan model



Şekil 5.16. Lusas bilgisayar programında oluşturulan modellemede noktaların gösterimi



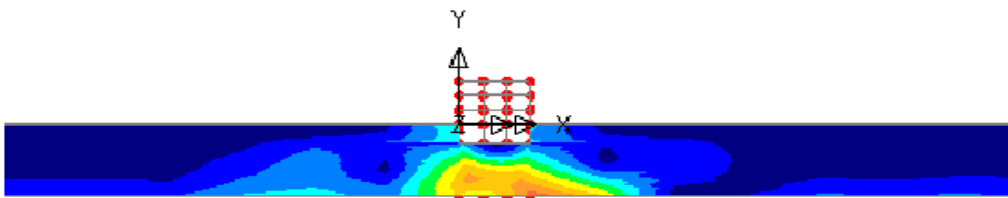
Şekil 5.17. Modal analizden elde edilen 35. moda ait deforme olmuş model



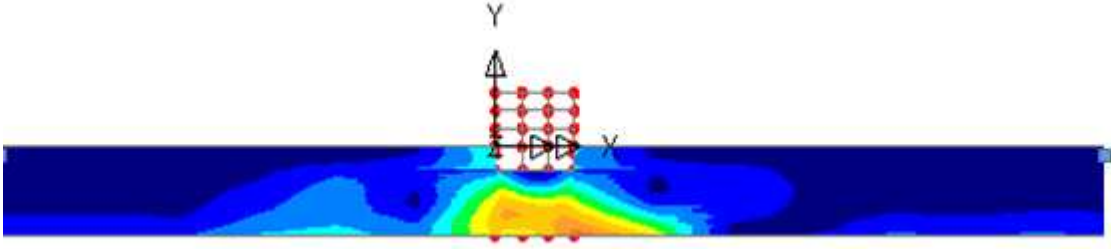
Şekil 5.18. Modal analizden elde edilen 54. moda ait deforme olmuş model

Bodrumlu binaya ait (3 katlı binada) en büyük yatay yer değiştirme (bina tepe noktasında) $U_x = 3,20$ cm; $t = 5,20$ sn de oluşmaktadır. Bodrumsuz binaya ait en büyük yatay ivmesi $a_x = 0,85$ m/sn²; $t \cong 3,20$ sn de oluşmaktadır. Deformasyon temel altından tabakalara doğru gittikçe zamanla daha çok artmaktadır.

Aşağıdaki şekillerde gösterilen modellerde 35. Moda ve 54. Moda ait gerilmeler verilmiştir. Gerilmeler 35. Modda $t \cong 3,00$ sn'den sonra artmaya başlamıştır. Zemin tabakalarında ise 54. Modda $t \cong 7,20$ sn'den sonra gerilmeler artış göstermiştir.

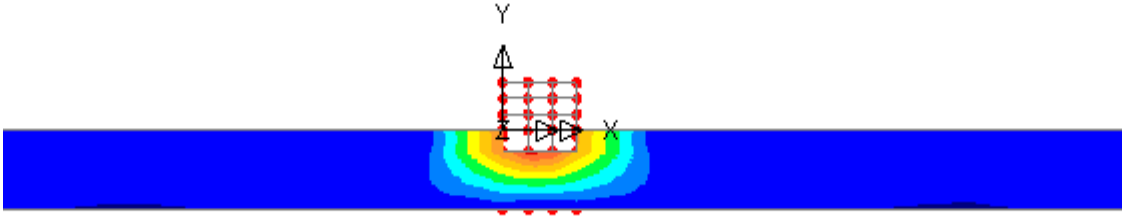


Şekil 5.19. Modal analizden elde edilen 35. Moda ait gerilme

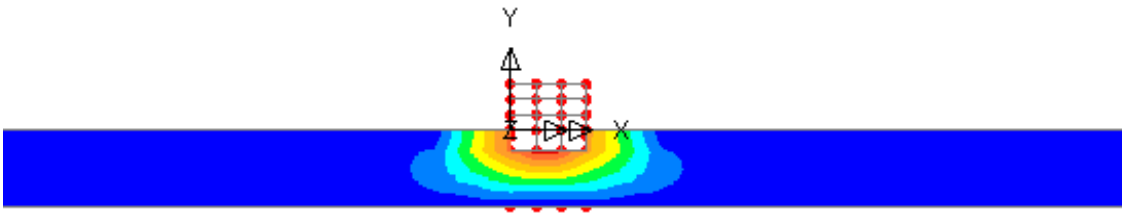


Şekil 5.20. Modal analizden elde edilen 54. Moda ait gerilme

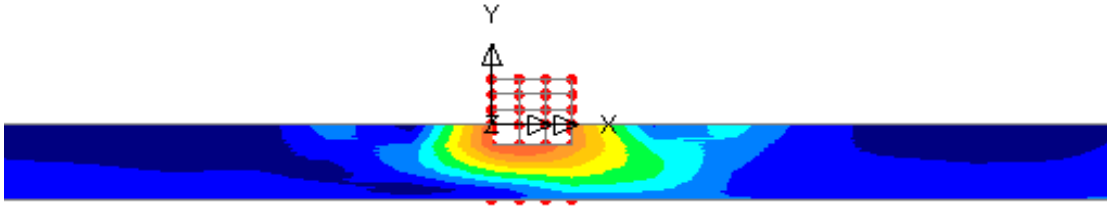
Aşağıdaki şekillerde gösterilen modellerde 8. Moda, 35. Moda ve 54. Moda ait yer değiştirmeler verilmiştir. 8. Moda ait yer değiştirme (bina tepe noktasında) $U_x=3,20$ cm; $t \cong 5,20$ sn de oluşmakta iken 35. ve 54. Modda yer değiştirmeler daha fazla artış göstermektedir.



Şekil 5.21. Modal analizden elde edilen 8. Moda ait yer değiştirmeler

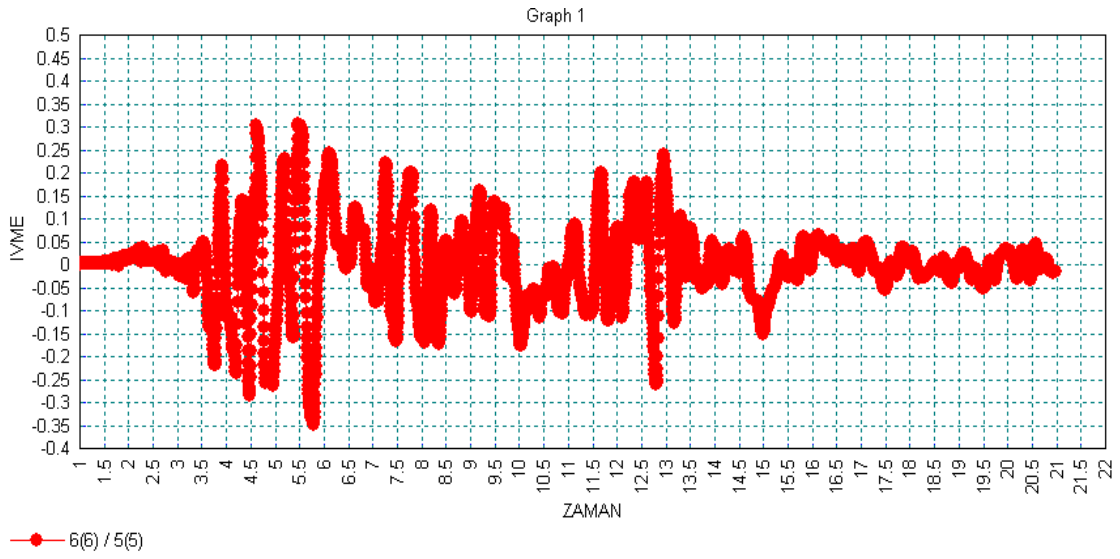


Şekil 5.22. Modal analizden elde edilen 35. Moda ait yer değiştirmeler

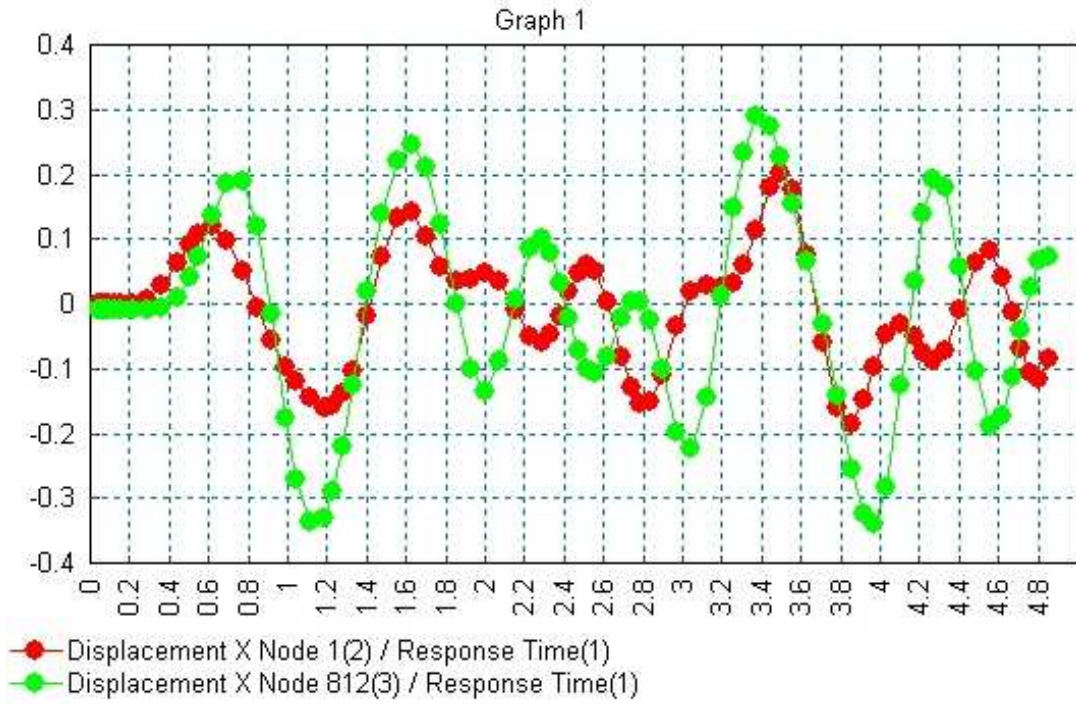


Şekil 5.23. Modal analizden elde edilen 54. moda ait yer değiştirmeler

17 Ağustos 1999 yılında yaşanan depremin Lusas programında oluşturulan örnek model üzerinde uygulanması sonucu oluşan deprem grafiği Şekil 5.24. da verilmiştir.



Şekil 5.24. Bodrumlu yapıya ait LUSAS programında elde edilen ivme-zaman grafiği



Şekil 5.25. Bodrumlu ve bodrumsuz yapının grafik üzerinde karşılaştırılması

Yukarda ki grafite bodrumlu ve bodrumsuz yapının yer değiştirme- zaman grafiğinin karşılaştırılması verilmiştir. Bodrumsuz bir yapıda en fazla yer değiştirme $U_x = 3,20$ cm iken bodrumlu yapıda $U_x = 3,00$ cm'dir. Alınan sonuçlar doğrultusunda yapıya bodrum katının eklenmesi deprem karşısında binanın ayakta durmasını kuvvetlendirmektedir. Yer değiştirmede kum ve kilin davranışı da baskın olmaktadır.

BÖLÜM. 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem etkisindeki bodrumlu ve bodrumsuz yapıların performansının incelenmesinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür. Alüvyonlu taşınmış zemin formasyonuna sahip Sakarya bölgesinde, zeminini göstermek amacıyla sondaj örnekleri alınmıştır. Ek-1 sondaj loğu kullanılarak oluşturulan zemin profilleri için LUSAS bilgisayar programı ile doğrusal olmayan yapı analizleri yapılmıştır.

Analizlerde, zemin profillerine uygulanacak kuvvetli yer hareketleri için 17 Ağustos 1999 Marmara deprem verileri kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

Analizde göz önüne alınan zemin profillerine göre bodrumsuz bir yapı uygulandığında deprem kuvvetlerine göre deformasyon oranı çok fazla gözlenmiştir. Deformasyon daha çok temel altındaki zeminlerde daha sık iken zeminde tabakalara inildikçe deformasyonda azalmalar gözlenmiştir. Analizde göz önüne alınan zemin profillerine ait davranış spektrumları, yönetmeliklerde öngörülen tasarım spektrumları sınırlarının çok ötesine geçmektedir. Özellikle Marmara depremine ait kuvvetli yer hareketi etkisinde elde edilen davranış spektrumlarının, diğer depremlere göre tasarım spektrumlarının çok daha fazla sınırları dışında kalmaktadır. Bir zemin profillerine uygulanan farklı yer hareketlerine o zeminin gösterdiği farklı davranış, zeminlerin deprem davranışı üzerinde yer hareketinin karakteristiğinin de etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Analizde göz önüne alınan zemin profillerine göre bodrumlu bir yapı uygulandığında deprem kuvvetlerine göre deformasyon oranı daha az gözlenmiştir.

Zemin profillerinin alt tabakalarına uygulanan kuvvetli yer hareketlerinin ivmeleri, zemin yüzeyine doğru ilerledikçe değişiklik göstermektedir.

Yapıya bodrum katının eklenmesi daha uygun gözükmektedir. Ayrıca yönetmeliklere bununla ilgili daha net kurallar eklenmelidir.

EKLER

ESER

K. BORDAJ VE TICARET A.Ş.
İSTANBUL - TÜRKİYEZEMİN SONDAJ LOGU
SOIL BORING LOGSONDAJ NUMARASI
BORING NUMBER
SK.2/2

E TİPİ	RIG TYPE	QIS-300	KOORDİNAT K-C(Y)	COORDINATE N-S(Y)	MÜHÜR - CONTRACTOR				
J YÖNÜ	DRILLING METHOD	ROTARY	KOORDİNAT D-B(X)	COORDINATE E-W(X)	ESER TEK. JON. TİC. A.Ş.				
BAŞLANGIÇ TARİHİ	START DATE	19.01.1998	SAPMA (M)	OFFSET (M)	SONDAJ YERİ - BORING LOCATION				
BİTME TARİHİ	FINISH DATE	22.01.1998	DERİNLİK (M)	DEPTH (M)	ADAPAZARI BCD.				
YER (KM)	STATION (KM)		NUMUNE/TEST	SAMPLE/TEST	LD	SPT	EST	PR	
KOTU	GROUND ELEVATION		TOPLAM (ADET)	TOTAL (EACH)	YERALTI SUYU DURUMU - GROUND WATER DATA				
TABAKA DERİNLİĞİ (M)	LAYER DEPTH (M)				1.10mt				
NAMUNE NUMARASI	SAMPLE NUMBER				ZEMİN TANIMLAMASI				
NAMUNE DERİNLİĞİ (M)	SAMPLE DEPTH (M)				SOIL DESCRIPTION				
NAMUNE TİPİ	SAMPLE TYPE								
30 CM İÇİN DAREE SAYISI	BELLOWS PER 30 CM								
STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ	STANDARD PENETRATION GRAPH								
KAROT ÇAP	ROD Ø								
SİLİNDİRİK KAROT %	CYLINDRICAL CORE %								
CATLAK SAYISI	NUMBER OF JOINTS								
ERLEN TAKIM SAYISI	SET OF JOINTS								
BASINÇLI SU TESTİ	PRESS. WATER TEST								
PRESİYOOMETRE TESTİ	PRESSIOMETER TEST								
ZEMİN PROFİLİ	SOIL SYMBOL								
6	10.00 10.45	SPT	1	1	(BOŞ)				
7	11.50 11.95	SPT	5	3	6				
8	13.00 13.65	SPT	4	5	7				
9	14.50 14.95	SPT	5	5	6				
3	16.00 16.50	UD			(BOŞ, Zemin östüğü)				
10	16.95	SPT	1	1	1	(BOŞ)			
11	18.00 18.45	SPT	8	10	15				
12	19.50 19.95	SPT	9	12	17				

Siltli kil-killi silt
Gri ve yeşilimsi
renkte. Yüksek
plastik. Birim arda
lanmalı olarak de
yam etmekte. Yer
yer çok ince taba
kallı, ince doneli çok
iyi pekizmiş kum bent
lari mevcut.
* 18.50mt'ye kadar
kati kıvamda
* 18.50mt'den sonra
çok kati.
** Zemin 10.00-10.80mt
ila 15.30-17.20mt
arasında östüğü
bir özellik göster
mekte. Tisler kendi
ağırlıklarına bu
metrelerde zemine
batmaktadır. **
özellikle 10.00mt'ye
12n s.p.t'de 2 arus
ta 70cm lik bir sep
lenma göstermiştir.

→ İ. Duran

NAMUNE ALICI TİPİ-SAMPLER TYPE	ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SOIL EVALUATION	KAYA TANIMI - ROCK DESCRIPTION	İSARETLER-MARKS	SONDAJÇI-DRILLER	İSİM-NAME
SPT	İNCE TANELİ FINE GRAINED	TANIM DESCRIPTION	BOZULMUŞ NUMUNE UNSTURDED SAMPLE	Y. YAĞLI	
STD PENETRASYON STD PENETRATION	ORTA TANELİ MEDIUM GRAINED		BOZULMUŞ NUMUNE DISTURBED SAMPLE	S. ÖZKAN	
PİSTON - PISTON	KOYU TANELİ COARSE GRAINED		KAROT CORE		
SELBİ - SHELBLY TUBE					

ZEMİN SONDAJ LOGU SOIL BORING LOG										SONDAJ NUMARASI BORING NUMBER		
TEKİRGÖZ BORDAJ VE TİCARİET A.Ş. MİKANA - TÜRKİYE										5C-2/3		
MÜTEAHHİT - CONTRACTOR										EYER TEK. SOH. TİC. A.Ş.		
SONDAJ YERİ - BORING LOCATION										ADAPAZARI BCD.		
YERALTI SUYU DURUMU - GROUND WATER DATA										1.10mt		
ZEMİN TANIMLAMASI SOIL DESCRIPTION										2040		
ZEMİN TANIMLAMASI SOIL DESCRIPTION										2780		
ZEMİN TANIMLAMASI SOIL DESCRIPTION										2940		
21	21.00	4	40									
22	21.50	13	SPT	10	13	18						
23	21.95											
24	23.00	14	SPT	12	15	19						
25	23.45											
26	24.50	15	SPT	9	10	10						
27	24.95											
28	26.00	16	SPT	10	10	11						
29	26.45											
30	27.50	17	SPT	10	11	14						
31	27.95											
32	28.00	18	SPT	11	15	17						
33	28.45											

KİL. (Organik)
Gri-yeşilimsi ve siyah renkli. Yuk sek plastik. Yer yer siltli kil özelliğinde.
Kati-gök kati.
* Ara ara siltlikum bentler geemekte.*

Kumlu Silt-Siltlikum.
Gri ve yeşil renkte.
Yer yer kil bentli.

S. Duran

NİCE TİPİ		ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SOIL EVALUATION		KAYA TANIMI - ROCK DESCRIPTION		İSARETLER-HAYS		SONDAJÇI	
SPT	STO PENETRATION	FINE GRAINED	COARSE GRAINED	ROD	TANIM	DESCRIPTION	NO	NO	NO
3-2	ÇOK YUMUŞAK	VERY SOFT	0-4	ÇOK GEVSEK	VERY LOOSE	0-25	ÇOK ZAYIF	VERY WEAK	
3-4	YUMUŞAK	SOFT	5-10	GEVSEK	LOOSE	25-50	ZAYIF	WEAK	
3-6	ORTA KATI	MEDIUM STIFF	11-30	ORTA SIKI	MEDIUM LOOSE	50-75	ORTA	MEDIUM	
3-15	KATI	STIFF	31-50	SIKI	DENSE	75-100	İYİ	GOOD	
3-30	ÇOK KATI	VERY STIFF	50	ÇOK SIKI	VERY DENSE	100-150	ÇOK İYİ	VERY GOOD	
30	BEKİ	HWD							


ZEMİN SONDAJ LOGU SOIL BORING LOG										SONDAJ NUMARASI BORING NUMBER SK-2/4			
BONDAL VE TİCARET A.Ş. TÜRKİYE										MÜTEAHHİT - CONTRACTOR EJER TELSONTICAS			
TARİHİ START DATE		19.01.1998		KORDİNAT D-B(X) SAPMA (M)		KORDİNAT K-G(Y) DERİNLİK (M)		KORDİNAT N-S(Y) DERİNLİK (M)		SONDAJ YERİ - BORING LOCATION APAPAZARI BLD.			
TAMAMLANMA TARİHİ FINISH DATE		22.01.1998		TOPLAM (ADET)		TOTAL (EACH)		LD		SPT			
STASYON NO STATION (NO)													
YERLİ SUYU DURUMU - GROUND WATER DATA										1.10 mt.			
ZEMİN TANIMLAMASI SOIL DESCRIPTION										<p>Kumlu Silt-Siltlikum- (Siltlikil) Gri ve yeşilimsi renkte. Birimler 10-20cm lik tabakalar halinde birbirini takip etmekte. Killer plastik özelliğe. Kumlar ince donulu ve iyi paklanmış.</p> <p>Silt - çakıllı.</p> <p style="text-align: right;">A. Duran.</p>			
YATKINLIK (M) LAYER DEPTH (M)		19		12 17 19									
NUMUNE NO SAMPLE NO		3095											
NUMUNE DERİNLİĞİ (M) SAMPLE DEPTH (M)		30.95											
NUMUNE TÜRÜ SAMPLE TYPE		SPT											
30 CM İÇİN DAPNE SAYISI BLOKS PER 30 CM		15		30		45							
STANDART PENETRASYON GRAFI													
STANDART PENETRASYON GRAFI													
KAROT % CORE %													
FİD % PIPE %													
SİLİNDİRİK KAROT % CYLINDRICAL CORE %													
CULAK SAYISI NUMBER OF JOINTS													
EĞİLİMİN SAYISI SET OF JOINTS													
BASINÇ SUYU TESTİ PRESS. WATER TEST													
PRESİVOMETRE TESTİ PRESSUREMETER TEST													
ZEMİN PROFİLİ SOIL SYMBOL													
ZEMİN BEĞERLEDIRİMESİ - SOIL EVALUATION													
KAYA TANIMI - ROCK DESCRIPTION													
SAYETLER-MARKS													
SODOR OPLUK Y.YAĞCI													
SODOR OPLUK J.DURAN													
KONTROL-CONTROL													

ZEMİN SONDAJ LOGU SOIL BORING LOG										SONDAJ NUMARASI BORING NUMBER SK-2/5	
TEKİRGÖZ SONDAJ VE TİCARİET A.Ş. ANKARA - TÜRKİYE										MÜTEAHHİT - CONTRACTOR ESEK TEK.SON.TİCARİS	
MACHINE TYPE SONDAJ METODU		RIG TYPE DİRLİNG M.İNGÜ		ROTARY		COORDINATE K-C(Y)		COORDINATE H-S(Y)		OFFSET (M)	
START DATE BAŞLAMA TARİHİ		19.01.1998		DEPTH (M)		60.00		STATION (RM)		ADAPAZARI BLD.	
FINISH DATE BİTİŞ TARİHİ		22.01.1998		SAMPLE/TEST		LD		SPT		EST	
STATION (RM)		GROUND ELEVATION		TOP/LAM (AGET)		TOTAL (CAO)		YERALTI SUYU D.R.M.J. - GROUND WATER DATA		1.10mt.	
ZEMİN NOTU		30 ON 10 CM CHARGE SAYISI BLK/30 CM		STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ		KAROT K CODE %		RED K		ZEMİN TANILMASI SOIL DESCRIPTION	
SAMPLER NUMBER		SAMPLER TYPE		STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ		SİLİNDİRİK KARBİT K CİLİNDRİKAL CORE K		CAYLAK SAKI Sİ NUMBER OF JOINTS		ZEMİN PROFİLİ SOIL SYMBOL	
SAMPLER NUMBER		SAMPLER TYPE		STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ		SİLİNDİRİK KARBİT K CİLİNDRİKAL CORE K		CAYLAK SAKI Sİ NUMBER OF JOINTS		ZEMİN PROFİLİ SOIL SYMBOL	
41											
42											
43	23	47.50	SPT	18	20	24					
44											
45											
46	24	45.50	SPT	20	22	27					
47											
48											
49	25	48.50	SPT	17	24	35					
50											

Siltli Kil- Kumlu Silt-
Siltli Kum.
Araklanmalı olarak
değerlendirilmelidir.

S. Duran.

NAME ALICI TİPİ SAMPLER TYPE		ZEMİN DEĞERLENDİRİLMİŞİ - SOIL EVALUATION				KAYA TANIMI - ROCK DESCRIPTION		SAMPLER MARKS		SOUNDING ENGINEER	
SPT	STD PENETRATION PISTON - PISTON	0-2	ÇOK YUMUŞAK VERY SOFT	0-4	ÇOK GEYSEK LOOSE	0-25	ÇOK ZARIF VERY WEAK	10	BOZULMAMIŞ NİHAİ UNDISTURBED SAMPLE	4. YAGLI	
P	SELBİ - SELBY TUBE	5-10	ORTA KATI MEDIUM STIFF	5-10	ORTA SIKI MEDIUM LOOSE	25-50	ORTA SIKI MEDIUM	20	BOZULMUŞ NİHAİ DISTURBED SAMPLE	S. DURAN	
		11-30	ORTA SIKI MEDIUM STIFF	31-50	ORTA SIKI MEDIUM LOOSE	50-75	ORTA SIKI MEDIUM	30	KAROT CORE	KONTROL-0-000	
		51-70	ORTA SIKI MEDIUM STIFF	71-100	ORTA SIKI MEDIUM LOOSE	75-100	ORTA SIKI MEDIUM				



ZEMİN SONDAJ LOGU
SOIL BORING LOG

SONDAJ NUMARASI
BORING NUMBER

5E.216

RIG TYPE		CIS-30C		KOORDİNAT K-S (Y)	COORDINATE N-S (°)	NOTES/NOT - CONTRACTOR				
DRILLING METHOD		ROTARY		KOORDİNAT D-B (X)	COORDINATE E-W (X)	ESER TEC. SAN. FİRMASI				
START DATE		19.01.1998		SAPMA (M)	OFFSET (M)					
FINISH DATE		22.01.1998		DERİNLİK (M)	DEPTH (M)	SONDAJ YERİ - BORING LOCATION				
STATION (QM)				NAMUNE/TEST	SAMPLE/TEST					
GROUND ELEVATION				TOPLAM (ADET)	TOTAL (EACH)	LD	SPT	EST	PR	ADAPAZARI B10
				YERALTI SUYU DURUMU - GROUND WATER DATA						
				1.10 mt						
				ZEMİN TANILMASI SOIL DESCRIPTION						

LAYER DEPTH (M)	SAMPLE NUMBER	NAME DEPTH (M)	NAME TOPO	30 CM CIV			STANDART				KAROT NO	KOD NO	SİLİNDİRİK KAROT NO	SİLİNDİRİK KOD NO	CAYILAN SAKINISI	SANDI TAKIM SAKINISI	SAKINISI	BAŞLIKLI SUYU	YERİNE	YERİNE	ZEMİN PROFİLİ	SOL SYMBOL			
				CHAPAK SAKINISI	YERİNE	YERİNE	10	20	30	40															
				CHAPAK SAKINISI	YERİNE	YERİNE																			
51.50	26	51.99	14	17	22																				
54.00	27	54.19	18	22	26																				
57.50	28	57.95	8	6	5 (BOZ)																				
60.00	29	60.66	15	17	19																				

60.50 KURU KÜREK

ZEMİN DEĞERLENDİRİLMİŞİ - SOIL EVALUATION					KAYA TANIMI - ROCK DESCRIPTION		
AGE TABELI	FİNE GRAİNERLER TABELI	DANISE GRAİNER	ROD	TANIM	DESCRIPTION	İSARETLENERKİNİS	
0-2 COX YALNIZ	0-4 ÇOK YALNIZ	0-4 COX KEVİK	0-25	COX ZATIF	VERY NEAR	İSARETLENERKİNİS	
2-4 YALNIZ	4-10 ÇOK YALNIZ	4-10 COX KEVİK	25-50	ZATIF	NEAR	İSARETLENERKİNİS	
4-8 ÇOK YALNIZ	11-30 YALNIZ	11-30 COX KEVİK	50-75	COX	MEDİUM	İSARETLENERKİNİS	
8-15 ÇOK YALNIZ	31-50 YALNIZ	31-50 COX KEVİK	75-90	COX	DENSE	İSARETLENERKİNİS	
15-20 ÇOK YALNIZ	51-70 YALNIZ	51-70 COX KEVİK	90-100	COX	VERY DENSE	İSARETLENERKİNİS	

İSARETLENERKİNİS

5000P-DRİLLER

4.46m

MÜHÜR

S. ÖZGÜR

KONTROL

İSİM

Siltli Kil - Kumsilt - Siltli Kum.

L. ÖZGÜR

ÖZGEÇMİŞ

02.12.1984 tarihinde Niğde’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adana’da tamamladı. 2003 yılında Çukurova Anadolu Teknik Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Yapı Öğretmenliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2007 yılında lisans eğitimini tamamlayarak Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Öğretmenliği Bölümü’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.