

167964

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

167964
DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME
YAPILARDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Zehra Şule GARİP

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

OCAK 2005

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME
YAPILARDA YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Zehra Şule GARİP

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Bu tez 11 / 01 / 2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı


Jüri Üyesi


Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Doç. Dr. Hasan Arman

Y. Doç. Dr. Seyhan Fırat

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalıőmalarımı her aőamada izleyip değerlendirerek yön veren ve her türlü desteği sağlayan hocam sayın Yrd. Doç Dr. Naci ÇAğLAR'a minnet ve őükranlarımı sunarım. Ayrıca Dr. Murat PALA'ya, bilgi birikiminden her zaman yararlandığım Yrd. Doç Dr. Erkan ÇELEBİ'ye ve çalıőmalarımı sürekli teővik edip anlayıőla karőılayan babam İnşaat Müh. Hasan GARİP'e ve tüm aileme de ayrıca teőekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2005

Zehra şule GARİP

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1 Konu İle İlgili Çalışmalar	2
1.2 Amaç ve Kapsam	3
BÖLÜM 2.	
ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ	5
2.1 Yapı-Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri	8
2.1.1 Direkt metod.....	9
2.1.2 Viskoz sınır şartı	10
2.2 Yerel Zemin Koşulları.....	12
2.2.1 Yerel zemin kalınlığı	14
2.2.2 Zemin spektrumları	15
2.2.3 Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi	17
2.2.4 Deprem-temel ilişkisi	18
2.2.5 Zemin sıvılaşması.....	19
BÖLÜM 3.	
SONLU ELEMANLAR METODU.....	21
3.1 İki Boyutlu İzoparametrik Elemanlar.....	22
3.2 Düzlem Çerçevesel.....	29

BÖLÜM 4.	
DEPREM ETKİSİNİN ANALİZİ.....	32
4.1 Hareket Denkleminin Sayısal Çözümü	32
4.1.1 Doğrusal ivme değişimi yöntemi	33
BÖLÜM 5.	
SAYISAL ÖRNEKLER.....	36
5.1 Zemin Altyapı Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi	38
5.2 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=50\text{m/sn}$ Olan Yapı-Zemin Modeli	40
5.3 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=100\text{m/sn}$ Olan Yapı-Zemin Modeli ..	43
5.4 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=150\text{m/sn}$ Olan Yapı-Zemin Modeli ..	46
5.5 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=300\text{m/sn}$ Olan Yapı-Zemin Modeli ..	49
5.6 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=500\text{m/sn}$ Olan Yapı-Zemin Modeli ..	52
5.7 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=1000\text{m/sn}$ Olan Yapı-Zemin Modeli	55
5.8 Zemin Kayma Dalga Hızlarına Göre Modeller.....	58
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$[D]$: Malzeme Matrisi
$[C]$: Sistemin Sönüm Matrisi
E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülünü
B	: Bina Genişliği
H	: Bina Yüksekliği
ZYE	: Zemin Yapı Etkileşimi
$YASS$: Yer altı Su Seviyesi
H_z	: Hertz
k	: Eleman Rijitlik Matrisi
$[K]$: Sistem Rijitlik Matrisi
m	: Eleman Kütlesi
$[M]$: Kütle Matrisi
t	: Zaman
T	: Periyod
ν	: Poisson Oranı
ν_s	: Zeminin Kayma Dalgası Hızı
η	: Histeresis Sönüm Faktörü
θ	: Temeldeki Rölatif Dönme
ρ	: Kütleli Yoğunluk
u	: Deplasman
ψ'	: Lokal koordinatlarda ki virtüel noktasal yer değiştirmedir.
ψ	: Global koordinatlarda ki virtüel noktasal yer değiştirmedir.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi.....	6
Şekil 2.2	Katlı Bir Sistemde Zeminin (A) Rijit (B) Zemin Kayma Dalgası Hızı 50 m/sn Olması Durumunda İlk Beş Mod Şeklinin Ve Frekansının Değişimi.....	7
Şekil 2.3	Zemin Modelleme Şekilleri	8
Şekil 2.4	Zemin Yapı Etkileşim Analiz Metotları [19].....	9
Şekil 2.5	Zemin Yüzeylerinin Kesilmesi	9
Şekil 2.6	Direkt Metotta Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar).....	11
Şekil 2.7	Birim Kayma Deformasyonun Kayma Modülü ve Sönüm Oranına Göre Değişimi [21].....	13
Şekil 2.8	(a) Farklı Şekil Değişimlerinde Histeresik Gerilme- Şekil Değiştirme Değişimi (b) Eşdeğer Viskoz İçin Histeresis Sönüm Faktörü	14
Şekil 2.9	Yerel Zemin Kalınlığının Maksimum Temel Kesme Kuvvetine Etkisi [22].....	15
Şekil 2.10	Değişik Zeminler İçin Spektral İvme Periyot İlişkisi.....	16
Şekil 2.11	Farklı Zeminler İçin Deprem Şiddeti ve Episantr Uzaklığı Arasındaki İlişki	16
Şekil 2.12	Herhangi Bir Temelde Meydana Gelen Yer Değiştirmenin Tüm Sistemi Etkilemesi [24]	18
Şekil 2.13	Temelde Meydana Gelen Yer Değiştirme Nedeniyle Perde Duvarın Olumlu Katkısının Ortadan Kalkması.....	19
Şekil 2.14	Niigata (1964) Depreminde Sıvılaşma Nedeni ile Oluşan Yapı Hasarları	20
Şekil 3.1	Dört Noktalı izoparametrik Eleman.....	22
Şekil 3.2	Çubuk Eleman	29

Şekil 5.1	Zemin-Yapı Modeli	35
Şekil 5.2	Dinamik Analizlerde Kullanılan Marmara Deprem Kaydı	37
Şekil 5.3	Üst Yapı Tepe Noktası Yer Değiştirme Değerleri	38
Şekil 5.4	Üst Yapı Rölatif Yer Değiştirme Değerleri	38
Şekil 5.5a	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=1,00$).....	40
Şekil 5.5b	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=1,50$).....	41
Şekil 5.5c	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=2,00$)	41
Şekil 5.5d	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=2,50$).....	42
Şekil 5.5e	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=3,00$).....	42
Şekil 5.6a	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=1,00$).....	43
Şekil 5.6b	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=1,50$)	44
Şekil 5.6c	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=2,00$).....	44
Şekil 5.6d	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=2,50$).....	45
Şekil 5.6e	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=3,00$).....	45
Şekil 5.7a	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=1,00$).....	46
Şekil 5.7b	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=1,50$).....	47
Şekil 5.7c	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer	47

	Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=2,00$).....	
Şekil 5.7d	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=2,50$).....	48
Şekil 5.7e	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=3,00$).....	48
Şekil 5.8a	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=1,00$).....	49
Şekil 5.8b	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=1,50$).....	50
Şekil 5.8c	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=2,00$).....	50
Şekil 5.8d	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=2,50$).....	51
Şekil 5.8e	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=3,00$).....	51
Şekil 5.9a	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=1,00$).....	52
Şekil 5.9b	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=1,50$).....	53
Şekil 5.9c	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=2,00$).....	53
Şekil 5.9d	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=2,50$).....	54
Şekil 5.9e	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=3,00$).....	54
Şekil 5.10a	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=1,00$).....	55
Şekil 5.10b	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=1,50$).....	56

Şekil 5.10c	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değişirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=2,00$).....	56
Şekil 5.10d	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değişirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=2,50$).....	57
Şekil 5.10e	Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değişirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=3,00$).....	57
Şekil 5.11a	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin tepe noktası yer değişirmesi (YASS yok).....	58
Şekil 5.11b	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin rölatif yer değişirmesi (YASS yok).....	58
Şekil 5.12a	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin tepe noktası yer değişirmesi (YASS 5m).....	59
Şekil 5.12b	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin rölatif yer değişirmesi (YASS 5m).....	59
Şekil 5.13a	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin tepe noktası yer değişirmesi (YASS 10m).....	60
Şekil 5.13b	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin rölatif yer değişirmesi (YASS 10m).....	60
Şekil 5.14a	Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerin tepe noktası yer değişirmesi (YASS 25m).....	61
Şekil 5.14b	Zemin kayma dalga hızlarına göre modellerin rölatif yer değişirmesi (YASS 25m).....	61

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Zemin Büyütmelerinin Zemin Türlerine Göre Değişimi..	12
Tablo 5.1	Zemin Tabaka Kalınlığı ZTK=50m İçin Zemin Hakim Periyotları	36



ÖZET

Anahtar Kelimeler : Yapı-zemin etkileşimi, sonlu elemanlar yöntemi, dinamik analiz, viskoz sınır şartı

Bu çalışmanın amacı, deprem etkisindeki betonarme yapıların davranışına zemin özelliklerinin etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, zemin-yapı modelinin zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dinamik analizleri yapılmıştır. Zemin-yapı modeli kurulurken aynı rijitliğe sahip 5 farklı betonarme binanın 6 farklı zemin durumları için deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Ayrıca YASS nin etkisi de çalışma kapsamına alınmıştır.

Birinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgi ve daha önce yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler verilmiş, bu çalışmanın kapsamı ve amacı özetlenmiştir.

İkinci bölümde, zemin-yapı etkileşimi problemi üzerinde durulmuş ve çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Zemin ve yapı sisteminin birlikte modellendiği Direkt Metot açıklanmıştır. Bu metotla zemin belirli bir uzaklıktan kesilmekte ve kesim noktalarındaki sınırlar kaynaktan saçılan dalgaların yapay sınırlara çarparak bir kısmının tekrar ortama yansması gibi bir duruma neden olmaktadır. Bunun engellenmesi için viskoz sınır şartları, sonsuz elemanlar ve sınır elemanlar gibi yöntemler kullanılmaktadır. 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 seçilmek zorunda kalmaktadır. Bu çalışmada da viskoz sınır şartı kullanılarak, yapı temelini zemine gömülü olma etkisi de dikkate alınmıştır. Dinamik analizler SAP2000 sonlu eleman analiz metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü bölümde sonlu elemanlar yöntemi hakkında genel bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, deprem etkisinin analizi hakkında genel bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, öncelikle yapı-zemin modeli belirlenmiştir. Yapı-zemin modelinin kabulleri, farklı zemin özellikleri ve üst yapı özellikleri verilmiştir. Seçilen 7 farklı zemin için 5 farklı yapı tipi kullanılarak zemin-yapı modelinin dinamik analizleri 1999 Marmara deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik analiz sonucunda üst yapının tepe noktası yer değiştirmelerinin zaman-tanım alanındaki değişimleri grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir.

Altıncı bölüm, sonuçlardan ve önerilerden oluşturulmuştur.

SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE SUBJECTED TO EARTHQUAKE

SUMMARY

Keywords: soil structure interaction, finite element method, dynamic analysis, viscous boundary conditions.

The aim of this study is, to research the effects of soil characteristics to the reinforced concrete structures subjected to earthquake. For this purpose, time history analysis of the soil-structure models are carried out by using the finite element method. The response of 5 types of reinforced concrete structures, which have the same characteristics and different H/B ratios, is investigated. The response of the soil-structure model at various ground-water levels also is investigated.

In the first chapter, general information about topic and literature search are given, and the cover and goal of the study are summarized.

In the second chapter, the soil-structure interaction problem and solution methods are given. Direct method, which was modeled soil-structure system, is explained. By this method the soil was cut from a determined distance and boundaries of cutting points are induced a part of spanned waves to be reflected by crashing to artificial boundaries. For obstructing this, some methods like viscous boundary conditions, infinite elements and boundary elements methods have been used. In the event of using viscous boundary conditions, to have a solution, which is closer to the real, the soil has been divided into small pieces and cutting points must be chosen faraway from the structure. By using viscous boundary conditions in this study, the effects of buried foundation to the soil are taken into consideration.

In the third chapter general information about finite element method is given.

In the fourth chapter dynamic analysis is presented.

In the fifth chapter, firstly the soil-structure model is determined. Assumptions of soil-structure models, characteristic of soils and superstructures are given. Including the ratios of H/B, characteristic of soils and ground-water levels, the different of 140 soil-structure models are constituted. Using 1999 Marmara earthquake records carried out time history analysis of these models. The response of superstructures is presented in terms of top floor displacements.

In the sixth chapter, the conclusions and suggestions are presented.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapısal analizlerde genellikle temeller ankastre kabul edilerek çözüm yapılmakta ve temellerde yer değiştirme ve dönme olmadığı kabul edilmektedir. Oysa, yapı sistemlerinin statik yükler altındaki çözümlerinde dahi temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Yapılara etkiyen deprem gibi dinamik bir yükleme durumunda yapı, zemin ile birlikte hareket etmekte hatta bazen yapı ve zemin zıt yönde hareket etmekte ve temeller dinamik yükleme boyunca zemin üzerinde farklı konumlarda bulunabilmektedir.

Son yıllarda meydana gelen depremlerde de (1985 Mexico City, 1989 Loma Prieta, 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1999 Marmara ve Düzce) zemin yapı etkileşiminin (ZYE) yapıların dinamik performansları ve deprem hasarları üzerinde çok önemli bir rol oynadığı açık bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada ele alınan zemin-yapı modelinin dinamik analizi klasik yapı dinamiği problemlerinden aşağıdaki sebeplerden dolayı ayrılmaktadır:

1. Zemine mesnetlenmenin olduğu noktalarda çökme, yükselme veya dönmeler oluşabilmektedir.
2. Zemin deprem hareketini değiştirerek yapılara iletmekte bu etki bazen büyütme şeklinde olabilmektedir. Ayrıca yapı ile zeminin periyotlarının çakışması durumunda yapıda oluşacak rezonanstan dolayı üstyapı çok büyük zorlanmalara maruz kalmaktadır.
3. Zeminin ani hareketi, yapıda atalet kuvvetleri (eylemsizlik kuvvetleri) oluşturmaktadır.

4. Zemin özellikleri yapının periyot ve mod şekillerini değiştirmektedir.
5. Depremi düşey bileşeninin yapıya etkimesi durumunda yapı yukarı doğru zeminden ayrılarak hareket edebilir (Up Lift).

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı yapıların zemin ile birlikte düşünülerek çözümlerinin yapılması gerekir. En basit anlamı ile zemin yapı etkileşimi, yapının şekil değiştirmesinin zemin gerilmelerini, zeminin deformasyonunun da yapı iç kuvvetlerini etkilemesidir. Özellikle yumuşak ve orta sert zeminler yapılarda bir takım ilave kesit tesirleri ortaya çıkarmaktadır. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların tepe noktasındaki yer değiştirmeleri daha fazla oluşurken, orta sert zeminlerde ise zemin periyodu, yapı yüksekliğine bağlı olarak yapı periyodu ile sıklıkla çakışabilmektedir.

1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar

Zemin-yapı sisteminin dinamik analizlerinde yapay sınırların kullanılması durumunda, kaynaktan saçılan dalgaların yapay sınırlara çarparak bir kısmının tekrar ortama yansması gibi bir durum ile karşılaşmakta ve bu durum birtakım hataların oluşmasına neden olmaktadır. Bu yapay sınırların, dalga yansımalarını engellemek için Lysmer ve Kuhlemeyer [1] vizkoz sınır şartları adını verdikleri bir yapay sınır modeli geliştirmişlerdir.

ZYE problemlerinde yarı sonsuz zemin ortamını (uzak bölgeyi) modellemek için kullanılan modellerden birisi de Sonsuz Eleman Modelidir. Bu model, Bettess ve Zienkiewicz [2] tarafından statik ve harmonik yükler için geliştirilmiştir. Medina [3], zemin yapı dinamik etkileşiminin modellenmesinde sonsuz elemanları kullanmıştır. Daha sonra birçok bilim adamı [4-8] tarafından bu model sonsuza uzanan ortamlarda dalga yayılımı için geliştirilerek, düzlem şekil değiştirme, eksenel simetrik ve üç boyutlu problemler şeklinde de çözülmüştür.

Yapı ve zemin ortamının birlikte modellendiği direkt metotta, Parmelee [9] tarafından alt yapılara ayırma (altsistem yaklaşımı) adı verilen metot geliştirilmiştir. Altyapılara ayırma metodunda, zemin-yapı birbirinden ayrı iki matematiksel model

olarak düşünülür. Bu metodu kullanarak, iki araştırmacı [10-11] öncü çalışmalar yapmışlardır. Altyapılar metodu, yüzeysel üst yapılar için oldukça kullanışlı bir metottur. Gutierrez [12], Rosset ve Kausel [13] gibi araştırmacılar yakın bölge için Sonlu Eleman formülasyonunu kullanarak sonsuza uzanan zemine ait empedans matrislerini alt yapı metodu ile üst yapının dinamik rijitlik matrisine ekleyerek yapı zemin etkileşimi problemlerini çözmüşlerdir.

ZYE problemlerinin çözümü için araştırmacılar direk metot ve altyapılar metoduna dayalı birçok metot ileri sürmüşlerdir. Bunlar arasında Wolf ve Song [14] tarafından zemin-yapı etkileşim problemlerine uygulanan Sonsuz Küçük Hücreli Sonlu Elemanlar Metodu en önemlilerinden biridir.

Kutanis [15], doktora tez çalışmasında zemin-yapı ortak sistemini, birbirlerini etkileşim ara kesiti ile ayıran yakın bölgeye ve uzak bölgeye ayırmıştır. Dinamik analizleri sonlu elemanlar metodu kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, yapı davranışının, zemin ortamının ve üst yapının dinamik özelliklerine bağlı olmaları yanında, ele alınan depremin gelişigüzel karakterine ve özellikle frekans içeriğine bağlı olarakta değişkenlik gösterdiğini vurgulamıştır.

Pala [16], doktora tez çalışmasında Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapı-zemin etkileşimini incelemiştir. Eğitilen YSA modeli ile farklı zemin özellikleri ve yerel zemin kalınlıklarının, yapı davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Zemin özellikleri, yerel zemin kalınlığı ve bina kat sayıları değiştirilerek analizler yapmış ve binaların son kat yatay yer değiştirme, ivme ve periyot değerlerinin değişimini incelemiştir. YSA kullanılarak yapılan zemin yapı etkileşim analizlerinde modelleme ve analiz aşamasında yapılan kabullerin minimize edildiğini, çözüm süresinin oldukça kısaldığını ve YSA'nın zemin-yapı etkileşim problemlerinin çözümünde çok iyi bir performans gösterdiğini vurgulamıştır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, deprem etkisindeki betonarme yapıların davranışına zemin özelliklerinin etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, zemin-yapı modelinin zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dinamik analizleri yapılmıştır.

Zemin-yapı modeli kurulurken aynı rijitliğe sahip 5 farklı betonarme binanın 6 farklı zemin durumları için deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Ayrıca YASS'nin etkisi de çalışma kapsamına alınmıştır.

YASS'nin hiç bulunmaması durumu ve YASS 5m, 10m ve 25m de bulunması hali incelenmiştir. Dinamik analizlerin sonucunda tepe noktası yerdeğışirmesinin zaman tanım alanında ki değışimi grafikler halinde sunularak değıerlendirilmiş ve ileriye dönük yapılabilecek çalışmalar öneriler bölümünde sunulmuştur.



BÖLÜM 2 ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ

Birleşik sistemler; aralarında zayıf veya kuvvetli bağlantılar bulunan ve birbirleriyle etkileşim içinde bulunan sistemlerdir. Bu sistemlerin analizi her sistemin ayrı ayrı analizi ve sistemlerin birbirlerine olan etkilerinin göz önüne alınması ile yapılır. Bu sistemler analiz edilirken herhangi bir alan (sistem) diğerinden ayrı çözülemez ve herhangi bir bağımsız değişken diferansiyel denklem düzeyinde yok edilemez. Birleşik sistemler genellikle iki gruba ayrılarak incelenir [17]:

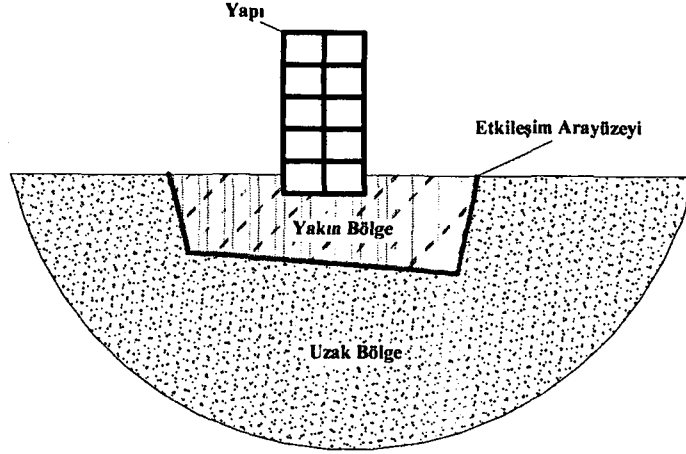
1. Sadece yüzeyler yolu ile oluşan birleşik sistemler. Buna örnek olarak katı-katı etkileşimi gösterilebilir.
2. Çeşitli tipteki sistemlerin (alanların) tamamının veya bir kısmının iç içe gelmesiyle oluşan birleşik sistemler. Buna örnek olarak katı-katı etkileşimi gösterilebilir.

Bu çalışmada deprem etkisindeki betonarme yapıların zemin-yapı etkileşimi incelenen sistemlerden 2.gruba giren birleşik sistem problemleri ele alınacaktır.

Zemin-yapı sisteminde yükleme ve kuvvetler, ortamlar aracılığıyla iletilir. Bu ortamlar hesaplanarak yapıyı sağlamak için çeşitli gruplara ayrılır ve değişik şekillerde modellenir.

Sınırsız ortam: Zemin ortamı boyutları yeryüzü ile sınırlı olmakla birlikte sınırsız veya yarı sınırsız bir ortam olarak kabul edilmektedir. Birleşik sistem analizinde sınırsız ortamı gerçek boyutları ile modellemek mümkün olmadığından belirli bölge gözetilerek alan olarak problem tanımlanır. Sınırsız ortam, yapının dinamik rijitlik matrisine karşılık gelen empedans katsayıları ile karakterize edilir. Sonsuz ve yarı sonsuz ortam analizlerinde dinamik yüklemeler (makine titreşimleri, depremler, yeraltı

patlamaları, yapı yakınındaki yollardan geçen araçların titreşimleri vs.) sınırsız ortam vasıtası ile tanımlanır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi

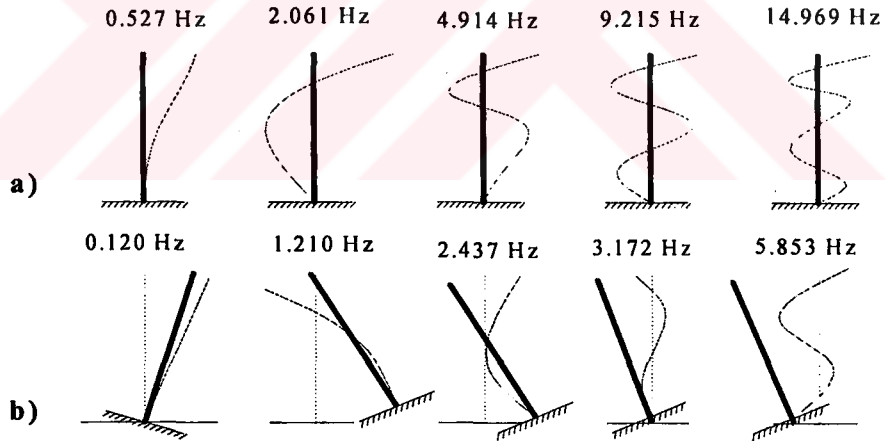
Sınırlı Ortam: Yapının sınırsız ortam ile etkileşime girdiği, yakın bölge de denilen ortamdır. Malzeme davranışı bakımından büyük gerilme ve şekil değiştirmelerin meydana geldiği ve zemin davranışının doğrusal olmayan davranış gösterdiği kabul edilen ve zemin davranışının doğrusal davranış gösterdiği etkileşim arayüzeyine kadar olan bölgedir.

Etkileşim Arayüzeyi: Yapı zemin 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 problemlerinin çözümünde sınırsız ortamın (uzak bölge) dinamik özellikleri etkileşim ara yüzeyinde tanımlanır. Çoğu problem etkileşim ara yüzeyinin SEM ile modellenmesi ile çözülebilmektedir. Yüzeyin gerçekçi davranışı plastisite teorisi kullanılarak uygun elemanlarla modellenebilir [18].

Sınırsız veya yarı sınırsız ortamların analizi mühendislik ve fizik biliminin ilgi alanına girer. Bu tür ortamlarda hesap yapılırken sınırlı ortam, sınırsız ortam ile birlikte düşünülür. Sisteme zamanla değişen bir yük etkideğinde yapı, dinamik olarak sınırsız ortam ile etkileşir. Sınırsız ortamlarda dinamik etkileşim analizi en iyi yapı-zemin etkileşim problemi ile karakterize edilebilir.

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 ortamın büyüklüğü, zemin davranışının doğrusal olmayan davranıştan, doğrusal davranışa geçiş yaptığı etkileşim ara yüzeyine kadar olan bölge kabul edilebilir [10].

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. Şekil 2.2'de zeminin ankastre olması ve zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda kayma dalgası hızı 50 m/s olan 12 katlı bir kule için mod şekilleri ve frekansları verilmiştir [16]. Burada ZYE'nin sistem davranışı üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.



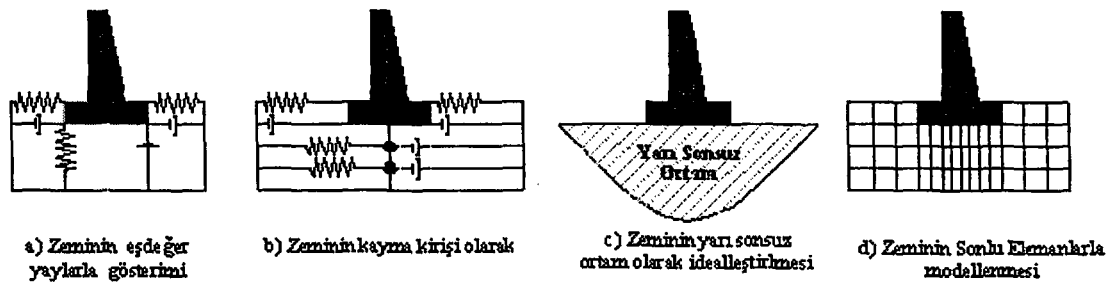
Şekil 2.2 Katlı Bir Sistemde Zeminin (a) Rijit (b) Zemin Kayma Dalgası Hızı 50 m/sn Olması Durumunda İlk Beş Mod Şeklinin Ve Frekansının Değişimi

Tasarım aşamasında genellikle yapı zemine rijit bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yapının zemine rijit bağlı olarak dinamik çözümü, yapı onu çevreleyen zemin ile etkileşim halinde bulunduğu için tek başına yeterli değildir ve ZYE'nin göz önüne alınması gereklidir.

2.1. Yapı–Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri

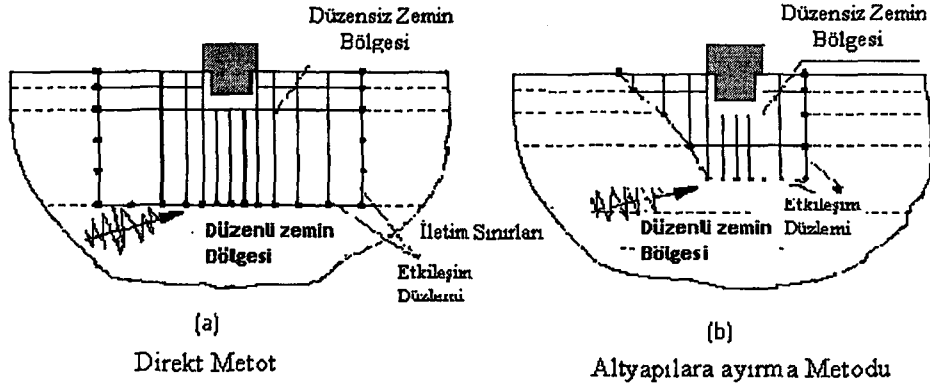
Yapı dinamiği, yapıya etkiyen dinamik yüklerden dolayı yapıda oluşan kesit tesirleri, gerilme ve yer değiştirmelerin belirlenmesi ile ilgilenir. Bu değerlerin bulunması, belirli sayıdaki serbestlik derecesine sahip dinamik modelin doğru olarak belirlenmesi ve uyum denkleminin genel çözümünün doğru olarak elde edilmesi ile mümkündür. Zemin Yapı Etkileşim 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 almayan 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 olarak modellenebilmektedir (Şekil 2.3). Analiz için seçilen matematik modelin ve hesap metodunun çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 2.3 Zemin Modelleme Şekilleri

Dinamik zemin yapı sisteminin analizi genellikle a) Direkt metot ve b) Çok Adımlı Çözüm Yöntemleri olmak üzere iki metoda dayalı olarak yapılmaktadır (Şekil 2.4). Bu çalışmada zemin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla modellendiğinden direkt metot kullanılmıştır. Burada sadece bu metodun açıklanması yoluna gidilecektir.

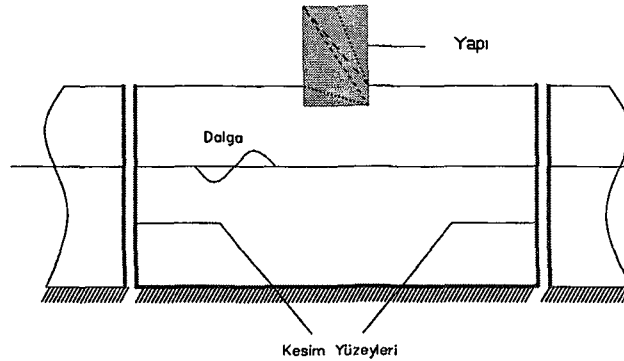


Şekil 2.4 Zemin Yapı Etkileşim Analiz Metotları [19]

2.1.1. Direkt metot

Bu metotta dinamik yükleme etkisi altında zemin yapı sisteminde, yer değiştirme, mod şekilleri ve kesit tesirleri zaman ve frekansa bağlı olarak tek adımda 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 2.5) kesim yüzeylerine yarı sonsuz zeminin özelliklerini yansıtacak özel sınır şartları konur.



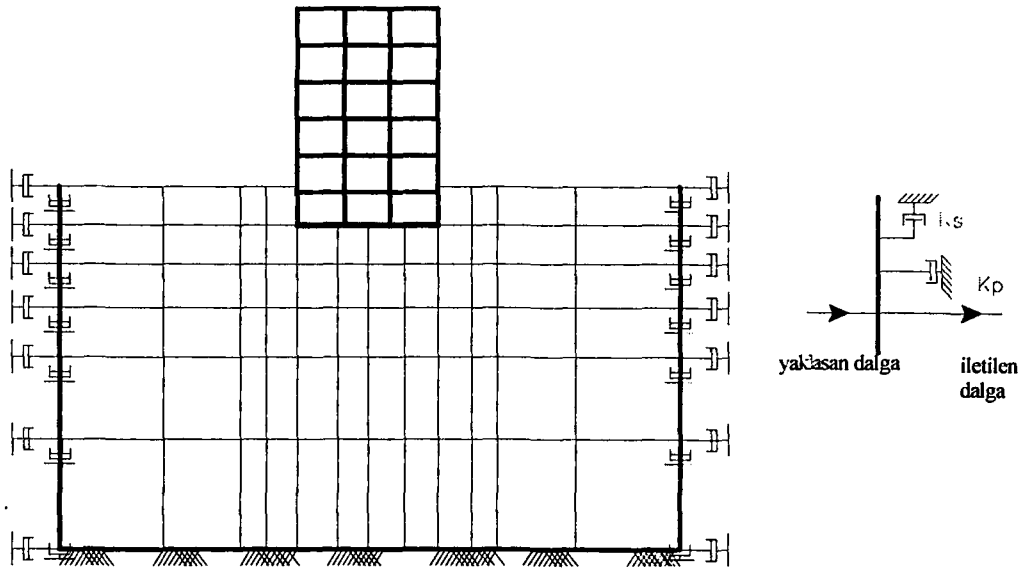
Şekil 2.5 Zemin Yüzeylerinin Kesilmesi

Direkt analiz metodunda, 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[20].

Zemin kesim yüzeylerinde oluşan yapay sınırlardan enerji geçişini sağlayan bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir [1]. Direkt metotla sistemin doğrusal olmayan özelliği çok iyi bir şekilde analiz edilebilmektedir. Yeni geliştirilen yapay sınırlar frekansa bağımlı olarak da ifade edilebilmekte ve Direkt Metot yardımı ile zeminin histerik bir yapıda olan sönümü daha iyi dikkate alınabilmektedir.

2.1.2. Viskoz Sınır Şartı

Viskoz sınır şartı, yapıdan belirli bir mesafeden sonra kesilerek elde edilen zeminin sınır yüzeylerine uygulanmaktadır [1]. Viskoz sınır şartının kullanılabilmesi için, düzlem dalga yayılışının izotrop ve lineer elastik bir ortamda gerçekleşmesi gerekmektedir. Ayrıca dalgaların sınıra çarpma açısını küçültmek için yapay sınırların yapıdan oldukça uzak bir bölgede tanımlanması gerekmektedir. Bu durumda yakın bölge çok sayıda sonlu elemanla modellenerek temsil edilmektedir (Şekil 2.6). Özellikle büyük ölçekli problemlerde eleman sayısı artmakta ve bu da bilinmeyen sayısını arttırarak çözümü güçleştirmekte ve çözüm süresini arttırmaktadır.



Şekil 2.6 Direkt Metotta Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar)

Dinamik analizlerde modellenen viskoz sınır şartı efektif rijitlik ve efektif sönüm değerleri tanımlanmıştır. Efektif rijitlik tanımlanırken ilgili noktanın bir birimlik yerdeğiştirmesi için gereken kuvvet alınmıştır. Efektif sönüm:

$$c = \rho V_s A \quad (2.1)$$

burada, ρ , birim hacim ağırlık, V_s , zeminin kayma dalga hızı ve A ise etkili alandır. Zeminin kayma dalgası;

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.2)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada G , zeminin kayma modülüdür ve bu değer;

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.3)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada E , zeminin elastisite modülüdür [21].

2.2. Yerel Zemin Koşulları

Deprem hareketi altında, yapılarda hasara neden olan en önemli faktörlerden birisi de yerel zemin koşullarıdır. Deprem etkisi altında yerel zeminler, sıvılaşma, göçme, oturma gibi nedenlerden dolayı yapısal hasarlara sebep oldukları gibi yerel zeminlerin dinamik özellikleri de zeminlerin deprem hareketi altındaki davranışını belirleyerek yapı hasarları üzerinde önemli rol oynamaktadır. Zemin, yapıya etkileyen deprem ivmesini büyütürken hasarın da büyümesine neden olur. Bu olay zeminin büyütme etkisi (amplifikasyon) olarak tarif edilir (Tablo 2.1).

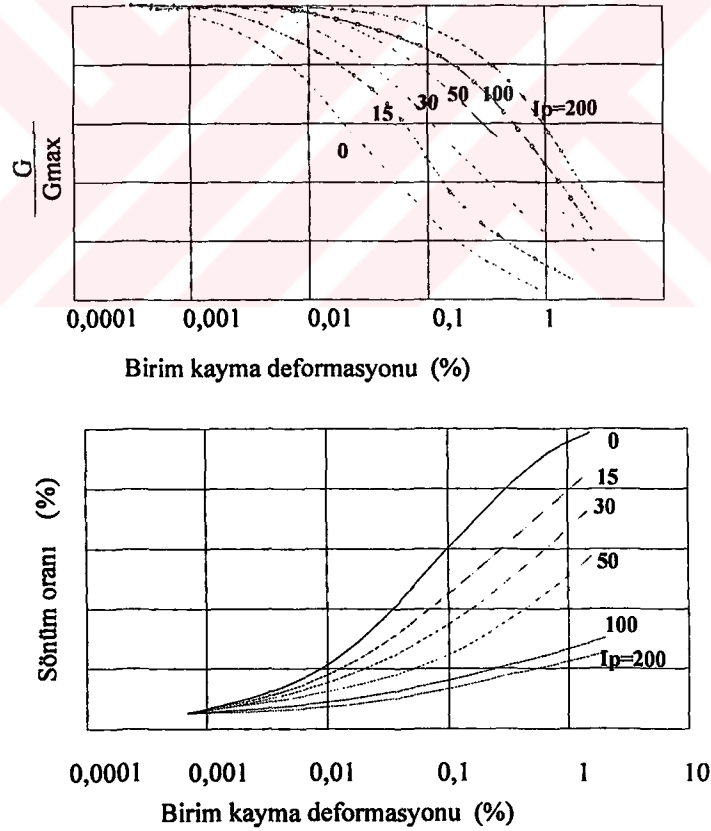
Tablo 2.1. Zemin Büyütmelerinin Zemin Türlerine Göre Değişimi

Zemin Kategorisi	Genel Tanım	Ortalama Kayma Dalgası Hızı, V_s (m/s)	Büyütmeye Karşı Zemin Davranışı
A	Kaya	$V_s > 750$	-
B	Derin kohezyonsuz zeminler, sıkı kohezyonlu zeminler yada ikisinin karışımından oluşan zeminler	$360 < V_s < 750$	Düşük
C	Kum silt veya sıkı-çok sıkı kil, bazı çakıllar, kalınlığı 3 m den küçük yumuşak kil tabakaları	$180 < V_s < 360$	Orta
D1	Kalınlığı (H_t) az veya yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_s < 180$, $3m < H_t < 15m$	Yüksek
D2	Kalınlığı (H_t) fazla ve yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$V_s < 180$, $15m < H_t < 35m$	Yüksek
E1	Organik madde oranı yüksek killer	$H_t > 3m$	Çok yüksek
E2	Yüksek plastisiteli killer	$H_t > 7m$ ve $PI < \%75$	Çok yüksek
E3	Çok kalın yumuşak veya orta sıkı kil içeren tabakalar	$H_t > 35m$	Çok yüksek

Yerel zemin koşullarının deprem hasarına olan etkisi, zeminlerin rijitlik ve dinamik karakteristikleri ile değişmektedir. Yapı-zemin etkileşim analizi için seçilecek analitik ve matematik modeller, yapı özelliklerinin yanında zemin özelliklerini de hassasiyetle yansıtmalıdır. Çünkü, zeminin enerjiyi yutması, zemin ortamının yarı

sonsuz büyüklükte oluşu ve zemine ait fiziksel parametreler; zeminin özellikle şekil değiştirmesine, kayma modülüne ve gerilme düzeyine bağlıdır.

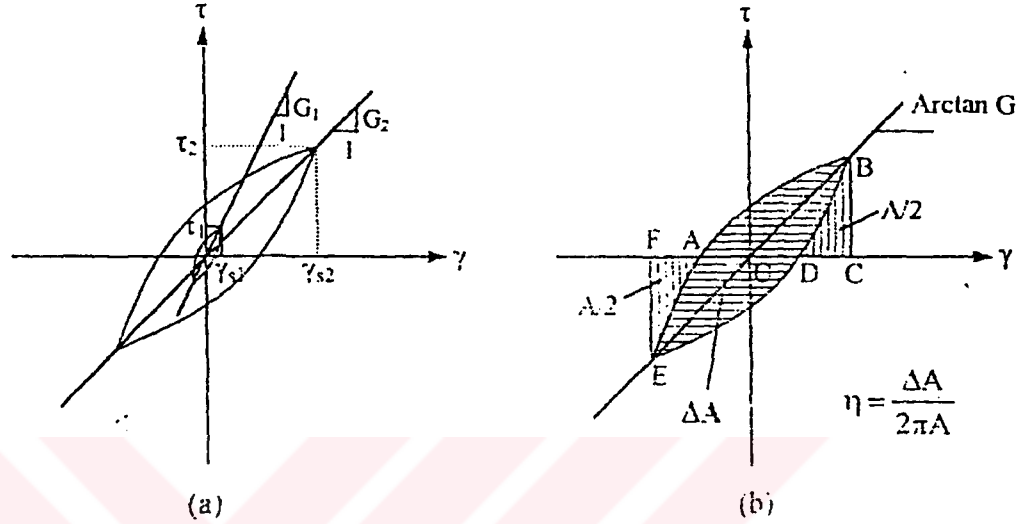
Zeminlerin dinamik yükleme altındaki hareketini belirleyen en önemli dinamik özellikleri plastisite indisi, kayma modülü ve sönüm oranıdır. Kayma modülü ve sönüm oranının belirlenmesi için arazi ve laboratuvar deneyleri başta olmak üzere çeşitli yöntemler [22] geliştirilmiştir (Şekil 2.7). Plastisite indisinin maksimum kayma gerilmesi (G_{max}) ve sönüm oranına göre değişimini inceleyerek, sönüm oranı ile plastisite indisi arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu ortaya koydular. Zeminin dinamik davranışı, kalıcı yer değiştirmeler olmadığı takdirde, zeminin kayma modülü ve sönüm karakteristiklerine bağlı olarak hesaplanabilir.



Şekil 2.7 Birim Kayma Deformasyonunun Kayma Modülü ve Sönüm Oranına Göre Değişimi [22]

Şekil 2.8'de görüldüğü üzere birçok zemin, eğrisel gerilme-şekil değişimine sahip olduğundan kayma modülü genelde histeresis döngüdeki uç noktalar tarafından

belirlenen sekant modülleri G_1 ve G_2 ile ifade edilir. Sönüm faktörü η ise, histeresis döngü içerisindeki alanın toplam alana oranı şeklinde ifade edilir. Kayma modülü ve sönüm oranının her ikisi şekil değiştirme fonksiyonu olarak belirlenebilir.

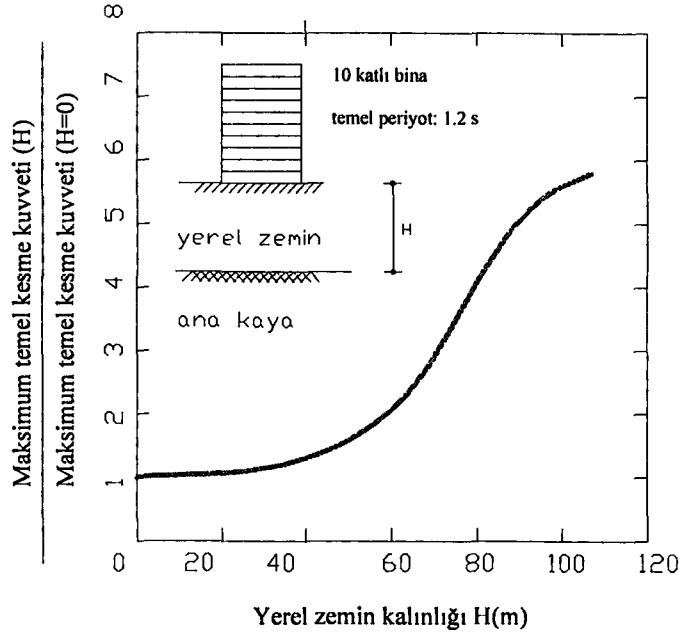


Şekil 2.8 (a) Farklı Şekil Değişimlerde Histeresik Gerilme-Şekil Değiştirme Değişimi (b) Eşdeğer Viskoz İçin η Histeresis Sönüm Faktörü

2.2.1. Yerel Zemin Kalınlığı

Yerel zeminlerin tabaka kalınlıkları da yapı zemin hasarlarına etki eden en önemli unsurların başında gelmektedir. Yerel zemin tabaka kalınlığının üstyapı davranışı üzerindeki etkisini de araştırdığımız bu tez çalışması kapsamında, yerel zemin tabaka kalınlığının, zemin özelliklerine ve yapı yüksekliğine bağlı olarak üst yapıda çok farklı kesit tesirlerine neden olduğu görüldü. Bu konunun ayrıntıları Bölüm 5'de verilmiştir.

Yerel zemin kalınlığı üst yapı elemanlarındaki yer değiştirme, ivme gibi değerlerin yanında maksimum taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentini de etkilemektedir (Şekil 2.9).

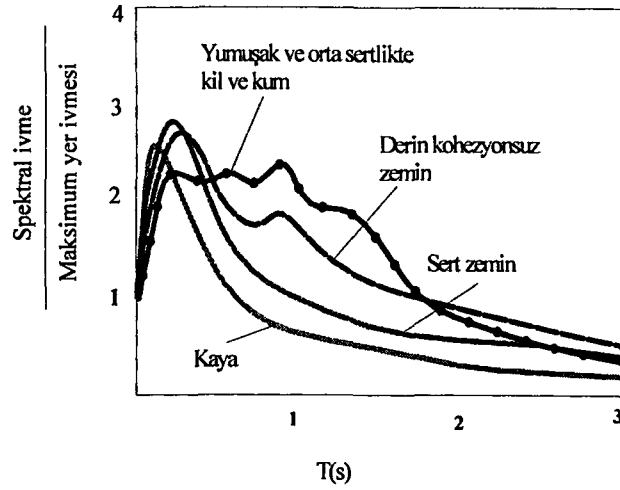


Şekil 2.9. Yerel Zemin Kalınlığının Maksimum Temel Kesme Kuvvetine Etkisi [23].

Kayma dalgası hızı, deprem yükleri sırasında zemin tabaklarının meydana getireceği büyütme ve azaltma etkilerinin hesaplanmasında kullanılan en önemli dinamik zemin parametresidir. Zemin türü, derinlik, jeolojik yük, efektif gerilme, aşırı konsolidasyon oranı (OCR), ve boşluk oranı kayma dalgası hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir.

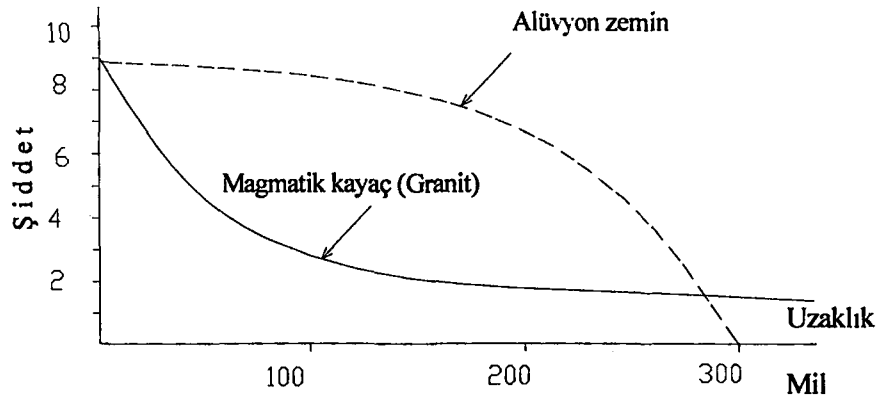
2.2.2. Zemin Spektrumları

Farklı zeminler farklı spektrum eğrilerine sahiptir ve özellikle 0.5 saniyeden büyük periyotlarda spektrum eğrilerinde önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.10). Spektral değerlerin, yumuşak ve orta sertlikteki kil dolgusu ve kohezyonsuz zeminlerde, 0.5 sn'den büyük periyotlar için, sert zeminler ve kayaya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum söz konusu zeminlerin uzun periyoda ait titreşim bileşenlerinin daha büyük oranlarda yer hareketi ile etkileşime girdiğini gösterir.



Şekil 2.10 Değişik Zeminler İçin Spektral İvme Periyot İlişkisi

Deprem odağından uzaklaştıkça deprem şiddetinin azaldığı bilinen bir gerçektir. Deprem şiddetindeki azalma etkisi alüvyon zeminler için, iç bükey, magmatik kayaç zeminler (Granit) için dış bükey azalan bir davranış göstermektedir (Şekil 2.11). Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde deprem merkezinden (episantr) 50 mil ile 200 mil arasında bir uzaklık içerisinde alüvyon dolgu üzerinde hissedilen deprem şiddetinin, granit ve magmatik kayaçlardakinden 2-3 kat daha fazla olduğu kolaylıkla görülebilir.



Şekil 2.11 Farklı Zeminler İçin Deprem Şiddeti ve Episantr Uzaklığı Arasındaki İlişki

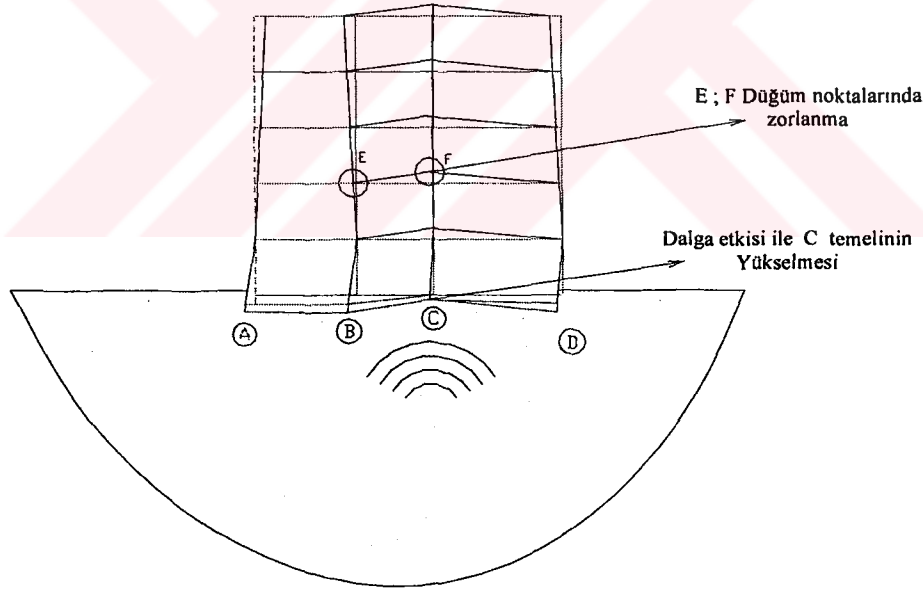
2.2.3. Zemin Periyodu ve Zemin Özelliklerinin Üst Yapıya Etkisi

Deprem sonrası oluşan dalgaların etkisi ile zemin ve yapı sahip oldukları periyotlar ile sallanma başlar. Eğer zemin ve yapı yaklaşık olarak aynı periyotta salınırlarsa zemin ve yapı arasında rezonans denilen olay gerçekleşir ve yapılarda çok büyük hasarlara neden olur. Salınım periyodu 0.6 sn olan bir zemin tabakası üzerine salınım periyodu 0.5-0.7 sn civarında olan ve tüm tasarım kriterleri karşılanmış, boyu yaklaşık olarak 20-30 m arasında bulunan bir bina ile salınım periyodu 0.1 sn olan çok fazla mühendislik hizmeti görmemiş olan bir yapı dinamik performans açısından karşılaştırıldığında, salınım periyodu 0.1 sn olan mühendislik tasarımı görmemiş yapı ayakta kalırken, diğer tasarım görmüş yapı çok fazla hasar görebilmektedir [24].

Sert ve rijitliği fazla zeminler üzerine çok katlı ve periyodu büyük yapıların, yumuşak ve rijitliği az olan zeminlerin üzerine ise az katlı periyodu düşük yapıların yapılması gerekmektedir. Ancak yumuşak zeminlerin üzerine düşük periyotlu yapıların yapılması durumunda bile, zemin yapı etkileşimi ihmal edilmeyecek derecede önemlidir. Yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen rijit yapılarda yükseklik/genişlik oranı düşük tutulmalıdır. Yükseklik/genişlik oranının yapı zemin dinamik etkileşimi üzerindeki etkisi, oran arttıkça yer değiştirme genliğinde azalma ve periyotta uzama şeklinde görülmektedir. Bu oranın etkisi yumuşak zemin-rijit yapı durumunda iyice belirginleşirken, sert zemin esnek yapı durumunda ise söz konusu etki azalmaktadır [15]. Ayrıca deprem dalgalarının periyotları merkez üssünden uzaklaştıkça büyüyerek yapılarda istenmeyen hasarlara yol açabilmektedir. Örneğin Meksika depreminde (1985), merkez üssünden 350 km uzakta bulunan yerleşim bölgelerinde çok katlı yapılarda büyük hasarlar oluşmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda, yumuşak zemine dönüşmüş olan eski göl yatağının, uzun periyotlu yer hareketlerini büyütmesi ile maksimum tepkinin 2.0-2.5 saniyelik periyotlarda olduğu ve bunun sonucunda doğal titreşim periyotları büyük olan çok katlı yüksek yapıların büyük hasarlar görmesine sebep olduğu anlaşılmıştır [25].

2.2.4. Deprem-Temel İlişkisi

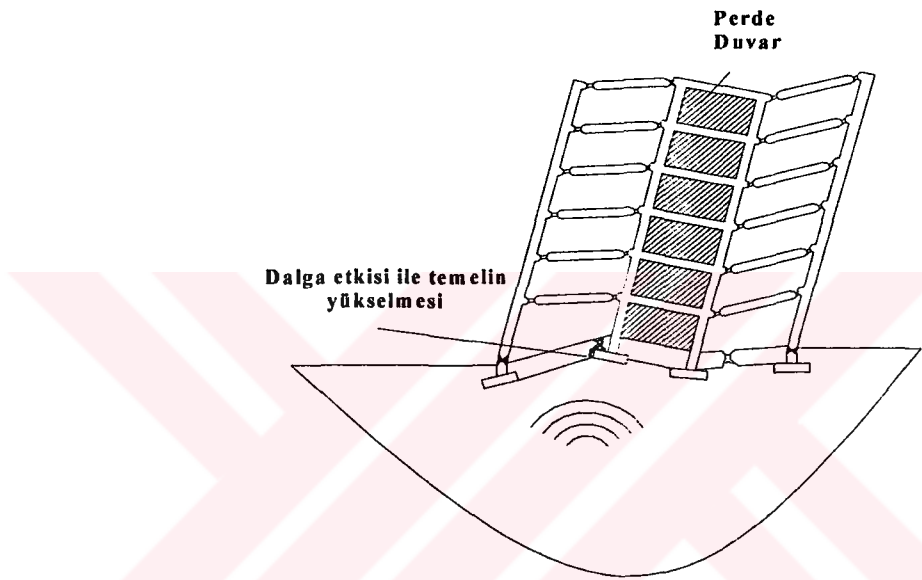
Genellikle sismik tasarımda daha çok yerçekimi ivmesinin kesirleri olarak belirlenen yatay ivmelerin etkisi dikkate alınmakta ve yapılar üzerine deprem dalgalarının düşey bileşeni ihmal edilmektedir. Temele ulaşan düşey dalga bileşenleri, temelin zemine aktardığı kuvvet vektöründen daha küçük veya ona eşit ise, temelde hiçbir deplasman gözlenmez ve üst yapı etkilenmez. Ancak, deprem dalgaları etkidikleri zemin temel arakesitinde temelin yapının zemine aktardığı gerilmelerden daha büyük gerilme aktardığında oluşan gerilme farkından dolayı denge zeminde meydana gelen hacim artışı ile sağlanmakta ve temel eski seviyesinden belirli bir miktar yükselerek, zeminden ayrılabilir veya dönerek üst yapıda deformasyonlara neden olmaktadır (Şekil 2.12). Genellikle depremin düşey bileşeni, üst yapıya, yatay bileşenin 2/3'ü mertebesinde etki etmektedir.



Şekil 2.12 Herhangi Bir Temelde Meydana Gelen Yer Değiştirmenin Tüm Sistemi Etkilemesi [24]

Temelerde dönme (özellikle perde temellerinde) taşıyıcı sistem davranışını etkileyebilir. Perde elemanın diğer kolonlara kıyasla çok büyük ötelenme ve dönme rijitliği vardır. Bu özelliğinden dolayı yatay deprem yükünün büyük bir bölümü bu elemanlar tarafından karşılanır. Ancak temel-zemin etkileşimi ile temelde dönme gösteren perdenin rijitliği çok azalır ve perdelerin karşılayabileceği deprem yükü

büyük oranda azalabilir. Kuvvetler dengesinin sağlanması zorunlu olduğundan, perdenin karşılamadığı yük etkileri diğer tarafta bulunan kolon veya perdeler tarafından taşınmak zorundadır. Böylece kolonlar ya yetersiz konuma gelirler ya da daha büyük yük etkileri için projelendirilmek zorunda kalırlar (Şekil 2.13). Ayrıca temelinden ankastre olmaktan uzaklaşmış perde duvarın yapının dinamik davranışına olumlu katkısı da çok azalmış olur [25].

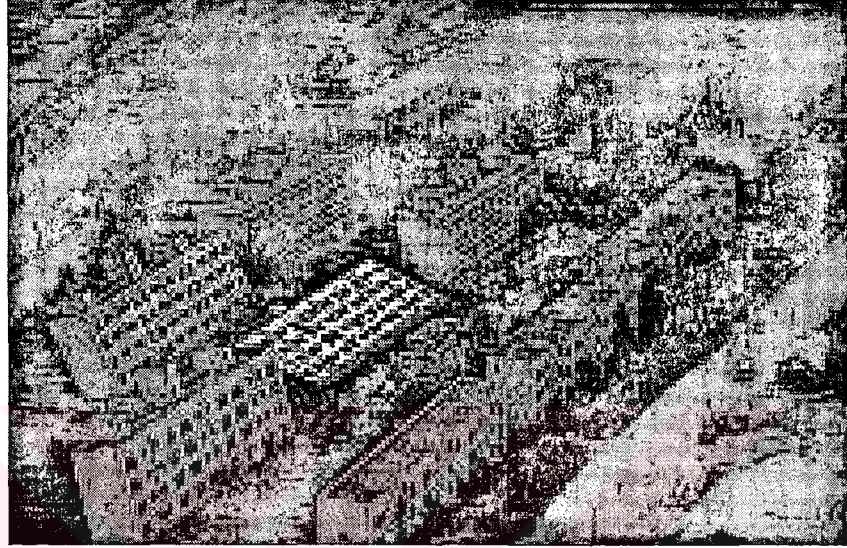


Şekil 2.13 Temelde Meydana Gelen Yer Değiştirme Nedeniyle Perde Duvarın Olumlu Katkısını Ortadan Kalkması

2.2.5. Zemin Sıvılaşması

Zemin sıvılaşması; kohezyonsuz, uygun dane dağılımına sahip, suya doygun zeminlerde yer hareketleri nedeni ile danelerin birbirine yaklaşmaya çalışması sonucu bu daneler arasında bulunan suyun herhangi bir yere gitmesinin mümkün olmadığı durumlarda oluşmaktadır. Dinamik yükleme nedeni ile daneler arasında hidrostatik basınç artmakta ve bu artış düşey yönde etkili olan jeolojik basınca eşitlenince efektif gerilmeler sıfırlanarak zemin sıvı gibi davranmaya başlamaktadır [24]. Bu olay genellikle suya doygun kalın kum tabakalarının bulunduğu bölgelerde oluşmaktadır. Zemin sıvılaşmasının yapı hasarları üzerinde ne oranda etkili olduğu Japonya'nın Niigata şehrinde 1964 yılında meydana gelen 7.3 şiddetindeki depremde görülmüştür (Şekil 2.14). Bu depremde 42130 yapı sıvılaşma nedeni ile ya tamamen

yada farklı oranlarda hasar görmüştür. Ayrıca 17 Ağustos 1999 Marmara depremi ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde de yaygın sıvılaşma hasarları görülmüştür. Üst yapının deprem yönetmeliklerine göre yapılması durumunda bile zemin sıvılaşması yapıları kullanılamaz hale getirebilmektedir.



Şekil 2.14 Niigata (1964) Depreminde Sıvılaşma Nedeni ile Oluşan Yapı Hasarları



Şekil 2.15 Marmara (1999) Depreminde Sıvılaşma Nedeni ile Oluşan Yapı Hasarları

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR METODU

Sonlu eleman yöntemi, geniş bir alanı kapsayan mühendislik problemlerinin sayısal çözümünde güçlü bir araç haline gelmiştir. Uygulama alanları otomotiv, uçak, bina ve köprü yapıların deformasyon ve gerilme analizinden, ısı akışı, akışkan akışı, magnetik akış, sızıntı ve diğer akış problemlerinin alan analizine kadar olan bölgeyi kuşatır. Bilgisayar teknolojisi ve CAD sistemlerinin hızlı gelişimine paralel olarak karmaşık problemlerin modellenmesi kolaylaşmıştır. Bu sayede ilk prototip inşa edilmeden önce bilgisayarda birkaç alternatif konfigürasyon denenebilmektedir. Bütün bunlar sonlu elemanlar yönteminin temel teorisini, modelleme tekniklerini ve hesaplama özelliklerini anlamak sureti ile gelişmelerle yarışmak gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu analiz metodunda, bir sürekli ortamı tanımlayan kompleks bir bölge, sonlu elemanlar adı verilen basit geometrik şekillere bölünmektedir. Malzeme özellikleri ve çözüm bağıntıları, bu elemanlar üzerinde düşünülmekte ve elemanın köşelerindeki bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilmektedir. Toplama işlemi, yükleme ve kısıtların uygun bir şekilde göz önüne alınmasıyla bir denklemler sistemi elde edilmekte ve bu denklemlerin çözümü ortamın yaklaşık olarak davranışını vermektedir [26].

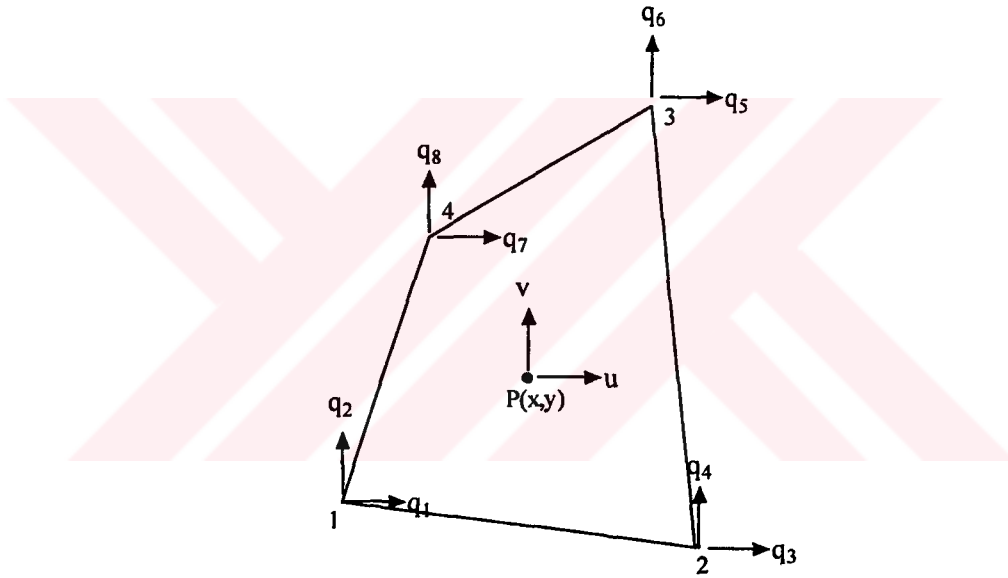
Bir çok mühendislik problemi için kapalı matematiksel çözüm elde etmek mümkün olmamaktadır. Böyle bir çözüm, sistemin herhangi bir noktasında bir sistemde bulunması gereken bilinmeyenlerin değerlerini veren matematiksel ifadedir. Ancak değişik malzeme özellikleri, sınır koşulları ve geometrileri içeren karmaşık problemler için yaklaşık fakat yeterli sonuçlar veren sayısal çözümlere başvurmak gerekmektedir. Sayısal çözüm, sistemlerin çoğunda sistemin 'düğüm noktaları' olarak adlandırılan belirli noktalarında elde edilmektedir.

Sonuç olarak, tek bir işlemde tüm yapıyı çözmek yerine, çözümler, yapıyı meydana getiren her eleman için ayrı ayrı formüle edilmekte ve bir araya getirildiğinde tüm

yapının davranışı elde edilmektedir. Böylelikle analiz yöntemi oldukça basitleştirilmesine karşın yapılacak işlem sayısı, temel yapıyı oluşturan sonlu eleman sayısına bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle gereken işlemler ancak bilgisayarlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu sonlu elemanlar iki veya üç boyutlu olsa da, genellikle iki boyutlu üçgen veya dörtgen elemanlar kullanılmaktadır.

3.1 İki boyutlu İzoparametrik Elemanlar

Bu çalışmada zemin alt yapı modeli kurulurken iki boyutlu izoparametrik eleman (dört noktalı) kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Dört Noktalı izoparametrik Eleman

Şekil Fonksiyonları

Burada, global eksen takımı x,y ile lokal eksen takımı ise ξ,η ile tanımlanmıştır. Şekil fonksiyonları kurulurken Lagrange şekil fonksiyonu $N_i=1$, i noktasında birim şekil değiştirme ve diğer noktalarda sıfır yazılarak elde edilir:

$$N_1 = 1 \quad (1 \text{ düğümünde})$$

$N_1 = 0$ (2, 3 ve 4 düğümünde)

$$N_1 = \alpha_1 + \alpha_2\xi + \alpha_3\eta + \alpha_4\xi\eta$$

$$N_1 = c(1 - \xi)(1 - \eta) \quad (3.2)$$

$$1 = c[1 - (-1)][1 - (-1)]$$

$$1 = c(2)(2) \quad c = \frac{1}{4} \quad (3.3)$$

Sonuç olarak 1.düğüm noktası için şekil fonksiyonu

$$N_1 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta) \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır ve diğer bütün noktalar için de aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N_2 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta)$$

$$N_3 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta) \quad (3.5)$$

$$N_4 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)$$

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i)(1 + \eta_i)$$

ξ_i, η_i i noktasındaki koordinatlarıdır.

Noktasal değerleri yerdeğiştirme teriminde tanımlarsak:

$$u = \sum N_i q_i \quad (3.6)$$

$$u = N_1 q_1 + N_2 q_2 + N_3 q_3 + N_4 q_4$$

$$v = N_1q_2 + N_2q_4 + N_3q_6 + N_4q_8 \quad (3.7.a)$$

matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$u = Nq \quad (3.7.b)$$

$$u = [u, v]^T$$

$$q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, \dots, q_8]^T$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

İzoparametrik formülasyonda, aynı şekil değiştirme fonksiyonları N_i , ayrıca noktasal koordinatlı bir elemanın bir noktasının koordinatlarını da ifade eder.

$$x = N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4$$

$$y = N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \quad (3.9)$$

$$u = \sum N_i u_i \quad x = \sum N_i x_i$$

$$v = \sum N_i v_i \quad y = \sum N_i y_i$$

$$f = f_{(x,y)}$$

$$\begin{matrix} x_{(\xi,\eta)} \\ y_{(\xi,\eta)} \end{matrix} \Rightarrow f = f[x_{(\xi,\eta)}, y_{(\xi,\eta)}]$$

türevlemenin zincir kuralı kullanılarak;

$$\frac{\partial f}{\partial \xi} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \xi}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \eta} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \eta} \quad (3.10)$$

ya da

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = J \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

olarak ifade edilir.

Jakobiyen matrisi

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$J = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-\eta)x_1 + (1-\eta)x_2 + (1+\eta)x_3 - (1+\eta)x_4 & -(1-\eta)y_1 + (1-\eta)y_2 + (1+\eta)y_3 - (1+\eta)y_4 \\ -(1-\xi)x_1 - (1+\xi)x_2 + (1+\xi)x_3 + (1-\xi)x_4 & -(1-\xi)y_1 - (1+\xi)y_2 + (1+\xi)y_3 + (1-\xi)y_4 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

olarak ifade edilir.

(3.11) denkleminin şu şekilde tersi alınabilir;

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.14)$$

ya da

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det \mathbf{J}} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

Bu ifadeler elemanın rijitlik matrisinde kullanılacaktır.

Eleman Rijitlik Matrisi

Dörtgen elemanın rijitlik matrisi gövdedeki gerilme enerjisinden türetilmektedir;

$$U = \int_V \frac{1}{2} \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{\epsilon} dV \quad (3.16)$$

ya da

$$U = \sum_e t_e \int_V \frac{1}{2} \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{\epsilon} dV \quad (3.17)$$

t_e e elemanının kalınlığıdır.

Gerilme yer değiştirme ilişkisi

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (3.18)$$

$f \equiv u$ olduğu düşünülerek denklem (3.15) de

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.19.a)$$

kısaca,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.19.b)$$

olarak ifade edilir.

Denklem (3.18) ve (3.19.a,b)

$$\varepsilon = A \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.20)$$

A ise

$$A = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

olarak ifade edilir.

Enterpolasyon denklemleri (3.7a) dan

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial \eta}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \eta}{\partial \nu} \end{Bmatrix} = Gq \quad (3.22)$$

$$G = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & -(1+\eta) & 0 \\ -(1-\xi) & 0 & -(1+\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) & 0 \\ 0 & -(1-\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & -(1+\eta) \\ 0 & -(1-\xi) & 0 & -(1+\eta) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

(3.20) ve (3.22) denklemleri

$$\varepsilon = Bq \quad (3.24)$$

$$B = AG \quad (3.25)$$

ifadelerini verir.

Gerilme denklemi ise

$$\sigma = DBq \quad (3.26)$$

olarak ifade edilir.

D matrisinin boyutu 3×3 dür.

(3.17) denkleminde verilen gerilme enerjisi

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \left[t_e \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \det J d\xi d\eta \right] \mathbf{q} \quad (3.27.a)$$

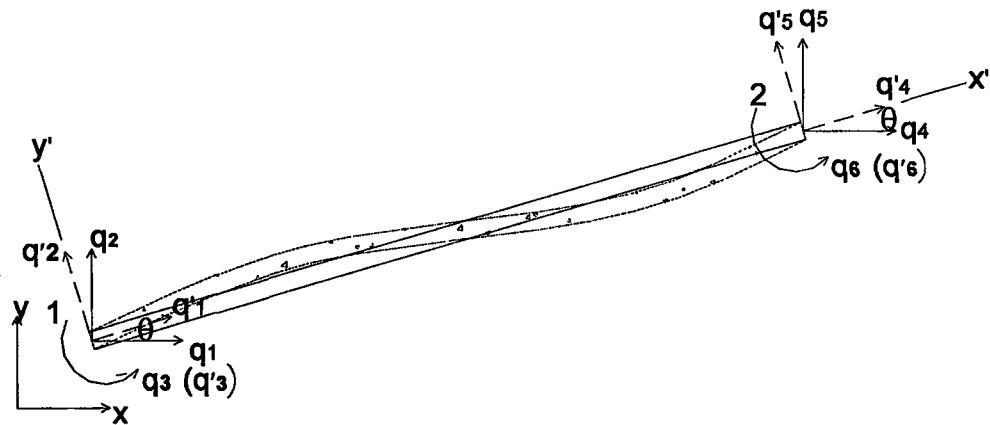
$$= \sum_e \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{k}^e \mathbf{q} \quad (3.27.b)$$

$$\mathbf{k}^e = t_e \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} \det J d\xi d\eta \quad (3.28)$$

3.2 Düzlem Çerçeveler

Bu çalışmada üst yapı düzlem çerçeve olarak modellenmiştir. Herdüğüm noktasında iki yer değiştirme ve bir dönme deformasyonu vardır (Şekil 3.2). Noktasal yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$\mathbf{q} = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T \quad (3.29)$$



Şekil 3.2 Çubuk Eleman

x' ve y' lokal eksenler, kosünüs doğrultmanları ℓ ve m olarak tanımlanır. ($\ell = \cos \theta$, $m = \sin \theta$)

$$q' = [q'_1, q'_2, q'_3, q'_4, q'_5, q'_6]^T \quad (3.30)$$

$q'_3 = q_3$ kabulü yapılarak

$$q' = Lq \quad (3.31)$$

bulunur.

$$L = \begin{bmatrix} \ell & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -m & \ell & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ell & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -m & \ell & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

$$k'^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l_e} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l_e} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l_e^3} & \frac{6EI}{l_e^2} & 0 & -\frac{12EI}{l_e^3} & \frac{6EI}{l_e^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l_e^2} & \frac{4EI}{l_e} & 0 & -\frac{6EI}{l_e^2} & \frac{2EI}{l_e} \\ -\frac{EA}{l_e} & 0 & 0 & \frac{EA}{l_e} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l_e^3} & -\frac{6EI}{l_e^2} & 0 & \frac{12EI}{l_e^3} & -\frac{6EI}{l_e^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l_e^2} & \frac{2EI}{l_e} & 0 & -\frac{6EI}{l_e^2} & \frac{4EI}{l_e} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k'^e q' = \frac{1}{2} q^T L^T k'^e L q \quad (3.34)$$

$$W_e = \psi'^T k'^e q' = \psi^T L^T k'^e L q \quad (3.35)$$

ψ' Lokal koordinatlarda ki virtüel noktasal yer değiştirmez.

ψ Global koordinatlarda ki virtüel noktasal yer değiştirmez.

Global koordinatlarda ki eleman rijitlik matrisi

$$k^e = L^T k'^e L \quad (3.36)$$

olarak tanımlanmıştır.



BÖLÜM 4. DEPREM ETKİSİNİN ANALİZİ

Bu çalışmada yapı-zemin modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri SAP2000 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde bu yöntem kısaca özetlenmiştir.

Bir binanın dinamik analizindeki ilk adım, matematik modelinin kurulmasıdır. Bir yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısı serbestlik derecesi olarak isimlendirilir. Her ne kadar yapılar sürekli sistemlerse de, günümüzde yaygın olan bilgisayar çözümü için sistem ayrıklaştırılır ve çok serbestlik dereceli sistem haline gelir. Bu ayrıklaştırmada genellikle, kütle, kat seviyesinde toplu olarak göz önüne alınır. Böyle bir sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için sistemin hareket denkleminin yazılmasına ihtiyaç vardır. Hareket denklemi, sisteme etkiyen kuvvetlere, atalet kuvvetinin de eklenmesiyle, kuvvet dengesi olarak da görülebilir.

4.1 Hareket Denkleminin Sayısal Çözümü

Yer hareketi etkisi altındaki sistemlerin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntem hareket denkleminin sayısal integrasyonudur. Hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (4.1)$$

şeklindedir. Doğrusal davranışta, $[M]$, $[C]$ ve $[K]$ sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $\{F\}$ dış yük vektörünü göstermektedir. Doğrusal olmayan davranışta ise kayma modülü şekil değiştirmelere, dolayısıyla zamana bağlı olarak değiştiğinden rijitlik matrisi, ona bağlı olarak da sönüm matrisi zamana bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Burada, $\{\ddot{u}\}$, $\{\dot{u}\}$, $\{u\}$ sırasıyla zamana bağlı ivme, hız ve yer değiştirme vektörlerini göstermektedir.

Bir t zamanından $t+\Delta t$ zamanına gelindiğinde yer değiştirmelerde meydana gelecek $\Delta u(t) = u(t + \Delta t) - u(t)$ değişiminden hareket denklemindeki kuvvetlerde oluşacak artımların da dengede olması gerekir. Hareket denklemini artımlar türünden,

$$[M]\{\Delta \ddot{u}(t)\} + [C(t)]\{\Delta \dot{u}(t)\} + [K(t)]\{\Delta u(t)\} = \{\Delta F(t)\} \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Artım olarak yazılan 2.2 denkleminin sayısal çözümü için hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Burada zaman tanım alanında adım adım integrasyon tekniğinin kullanıldığı Doğrusal İvme Değişimi Yöntemi özetlenecektir.

4.1.1 Doğrusal İvme Değişimi Yöntemi

Hız ifadesi $\dot{u}(t + \Delta t)$, kuvvet serisine açılır ve serinin ilk üç terimi göz önüne alınırsa,

$$\dot{u}(t + \Delta t) = \dot{u}(t) + \ddot{u}(t)\Delta t + \dddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} \quad (4.3)$$

elde edilir. Buna karşılık gelen yer değiştirme ise,

$$u(t + \Delta t) = u(t) + \dot{u}(t)\Delta t + \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} + \dddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^3}{6} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. İvmenin göz önüne alınan adım içinde doğrusal değiştiği kabul

edilirse, $\ddot{u}(t) = \frac{\Delta \ddot{u}(t)}{\Delta t}$ (=sabit) alınarak yukarıdaki ifadeler,

$$\Delta \dot{u}(t) = \ddot{u}(t)\Delta t + \Delta \ddot{u}(t)\frac{\Delta t}{2} \quad (4.5)$$

$$\Delta u(t) = \dot{u}(t)\Delta t + \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} + \Delta \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{6} \quad (4.6)$$

şekline getirilebilir. Bu bağıntılardan ivme ve hız artımları çözümlerse,

$$\Delta \ddot{u}(t) = \frac{6\Delta \dot{u}(t)}{(\Delta t)^2} - 6\frac{\dot{u}(t)}{\Delta t} - 3\ddot{u}(t) \quad (4.7)$$

$$\Delta \dot{u}(t) = \frac{3\Delta \ddot{u}(t)}{\Delta t} - 3\dot{u}(t) - \frac{\ddot{u}(t)\Delta t}{2} \quad (4.8)$$

elde edilir. Bu sonuçlar 4.2 denklemindeki artımlara ait hareket denkleminde yerine yazılması ile yer değiştirme vektöründeki artım $\{\Delta u(t)\}$ için,

$$[K^*(t)]\{\Delta u(t)\} = \{\Delta F^*(t)\} \quad (4.9)$$

bağıntısı elde edilir. Etkili rijitlik matrisi $[K^*(t)]$ ve etkili yük artım vektörünün $\{\Delta F^*(t)\}$ açık ifadeleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$[K^*(t)] = [K(t)] + 3\frac{[C(t)]}{\Delta t} + 6\frac{[M]}{(\Delta t)^2} \quad (4.10)$$

$$\{\Delta F^*(t)\} = \{\Delta F(t)\} + [M]\left(6\frac{\{\dot{u}(t)\}}{\Delta t} + 3\ddot{u}(t)\right) + [C(t)]\left(3\dot{u}(t) + \frac{\{\ddot{u}(t)\}\Delta t}{2}\right) \quad (4.11)$$

Sayısal çözümlerde $u(t)$ ve $\dot{u}(t)$ değerleri, başlangıç şartları olarak veya bir önceki adımın sonuçları olarak bellidir. Yük vektörü, sönüm ve rijitlik matrisleri belirli olduğuna göre, karşı gelen ivme vektörü 4.1 denkleminde,

$$\{\ddot{u}(t)\} = \left(\{F(t)\} - [C(t)]\{\dot{u}(t)\} - [K(t)]\{u(t)\} \right) [M]^{-1} \quad (4.12)$$

şeklinde bulunur. Daha sonra 4.10 ifadesinden $[K^*(t)]$ etkili rijitlik matrisi, 4.11 ifadesinden $\{\Delta F^*(t)\}$ etkili yük artım vektörü ve 4.9 ifadesinden yer değiştirmelerde meydana gelen $\{\Delta u(t)\}$ artım vektörü hesap edilir. Hızlarda meydana gelen artım ise 4.8 ifadesinden bulunur.

Sonuç olarak göz önüne alınan adım sonrası hız ve yer değiştirme değerleri için,

$$\dot{u}(t + \Delta t) = \dot{u}(t) + \Delta \ddot{v}(t + \Delta t) \quad (4.13)$$

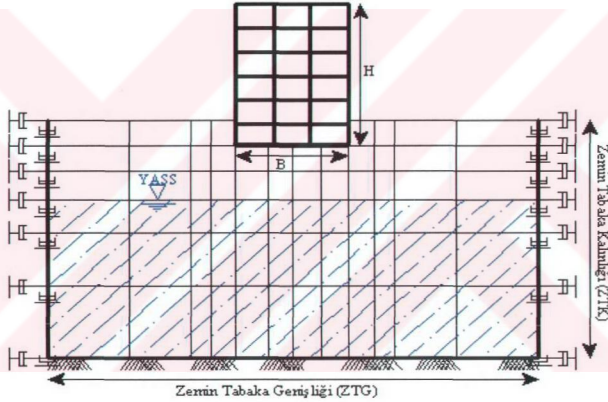
$$u(t + \Delta t) = u(t) + \Delta u(t + \Delta t) \quad (4.14)$$

bağıntıları elde edilir [22].

Bu bölümde dinamik analize kısaca değinilmiş ve zaman tanım alanında adım adım integrasyon tekniğinin kullanıldığı Doğrusal İvme Değişimi Yöntemi özetlenmiştir.

BÖLÜM 5. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu çalışmada, deprem etkisindeki betonarme binaların davranışındaki zemin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, zemin-yapı modeli kurularak sonlu elemanlar metodunu kullanan SAP2000 analiz programı ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1). Zemin-yapı modeli kurulurken zemin altyapısının zemin tabaka kalınlığı ve zemin tabaka genişliği yapılan dinamik analizler yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 5.3, Şekil 5.4).



Şekil 5.1 Zemin-yapı modeli

Dinamik analizlerde 6 farklı zemin altyapı modeli ve 5 farklı üstyapı modeli seçilmiştir (Tablo 5.1). Üstyapı modellerinin tamamında elastisite modülü $E=28000\text{MPa}$, poisson oranı $\nu=0.20$ ve birim hacim ağırlığı $\rho=25\text{ kN/m}^3$ olarak seçilmiştir. Yapı modellerin seçilen kolon boyutları $50\times 50\text{ cm}$, kiriş boyutları ise $25\times 50\text{ cm}$ dir. Yapıda ki sabit yük $2,0\text{ kN/m}^3$ ve hareketli yük de $1,5\text{ kN/m}^3$ olarak alınmıştır. Kat yüksekliği olarak 3 m alınmıştır.

Ayrıca zemin altyapı modeli kurulurken yer altı su seviyesinin (YASS) bulunması ve bulunmaması durumu da dikkate alınmıştır. YASS seviyesi 5m, 10m ve 25m olarak belirlenmiştir.

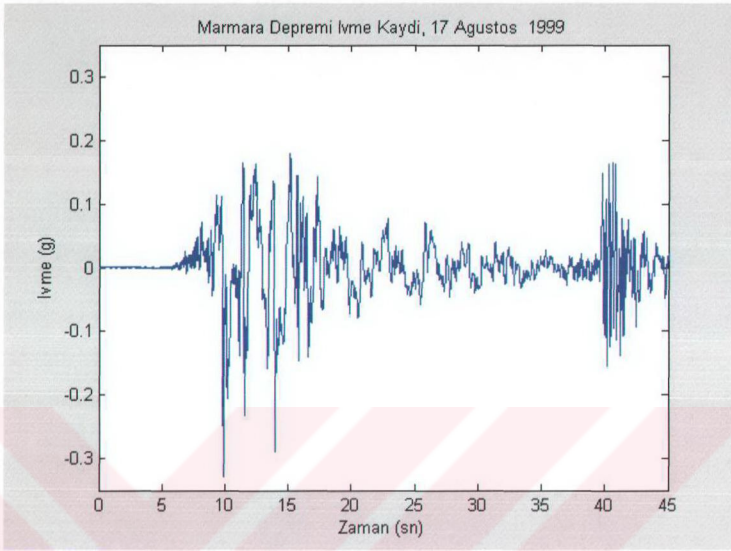
Tablo 5.1. Zemin Tabaka Kalınlığı ZTK=50m İçin Zemin Hakim Periyotları

Elastisite modülü, E (Mpa)	Birim Hacim Ağırlığı, ρ (kN/m ³)	Poisson oranı, ν	Zemin Kayma Dalgası Hızı (m/sn)	Peryot (sn)	
				SAP2000	$T = \frac{4 * H}{V_s}$
13	18	0,45	50	4,076	4,00
56	20	0,40	100	2,043	2,00
120	20	0,33	150	1,369	1,333
480	20	0,33	300	0,684	0,666
1350	20	0,33	500	0,408	0,400
5350	20	0,33	1000	0,205	0,200

Dinamik analizlerin tamamında aşağıda verilen varsayımlar kullanılmıştır;

- 1999 da meydana gelen Marmara depreminin yapı-zemin sonlu eleman modellerinin tamamına aynı şiddette etki ettiği (Şekil 5.2),
- Yapı-zemin sisteminde sönümün %5 olduğu,
- Kolon ve kiriş kesitlerinin dikdörtgen ve kat yüksekliği boyunca sabit olduğu,
- Yapı yüksekliği boyunca kat yüksekliklerinin aynı olduğu,

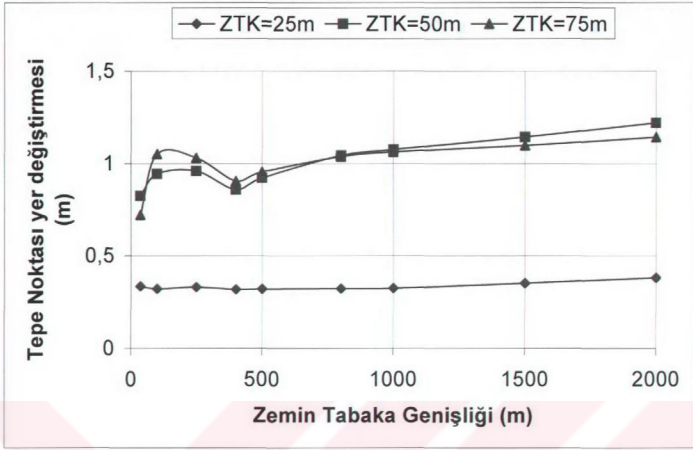
Zeminin izotrop ve homojen olduğu.



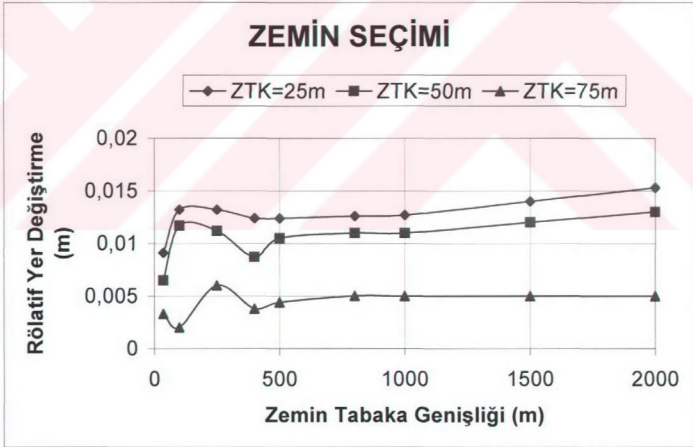
Şekil 5.2 Dinamik Analizlerde Kullanılan Marmara Deprem Kaydı

5.1 Zemin Altyapı Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi

Zemin alt yapısının modeli seçilirken zemin tabaka genişliği 36m, 100m, 250m, 400m, 500m, 800m, 1000m, 1500m ve 2000m, ayrıca zemin tabaka kalınlığının seçimi içinde zemin tabaka kalınlığı 25m, 50m ve 75m olarak analiz yapılarak değerler karşılaştırılmıştır. Zemin alt yapısında viskoz sınır şartını uygulayabilmek için ilgili noktalara bir birimlik yer değiştirme yaptıracak olan kuvvet uygulanmış ve bu da efektif rijitlik olarak alınmıştır. Ayrıca efektif sönüm hesaplanırken her farklı zemin için ayrı ayrı değerler bulunmuştur. Yapı-zemin modelinin dinamik analizleri yapılarak üst yapının tepe noktasındaki yer değiştirme değerleri ile taban noktasındaki yer değiştirme değerleri bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak üst yapıda meydana gelen rölatif yer değiştirmelere göre zemin tabaka genişliği ve zemin tabaka kalınlığı seçilmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Üst Yapı Tepe Noktası Yer Değiştirme Değerleri

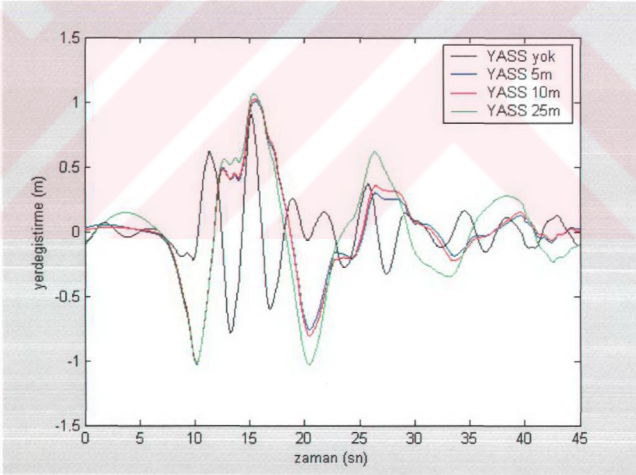


Şekil 5.4 Üst Yapı Rölatif Yer Değiştirme Değerleri

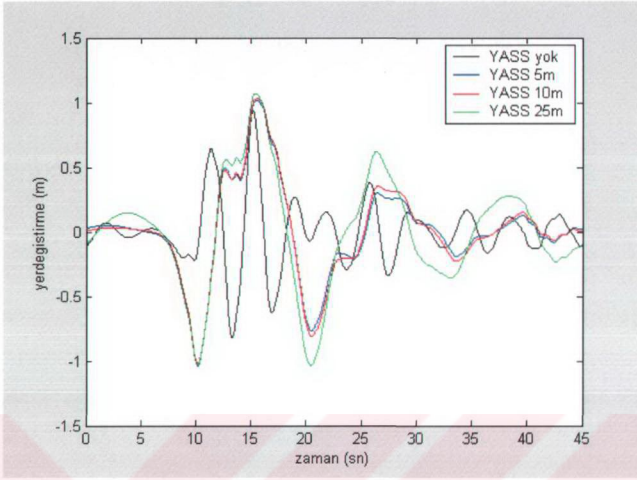
5.2 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=50$ m/sn Olan Yapı-Zemin Modeli

Zemin kayma dalgası hızı $V_s=50$ m/sn için dinamik analizleri yapılan zemin-yapı modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.5a-e). Bu grafiklerde tepe noktasının yer değiştirmesinin zaman-tanım alanındaki değişimi verilmiştir.

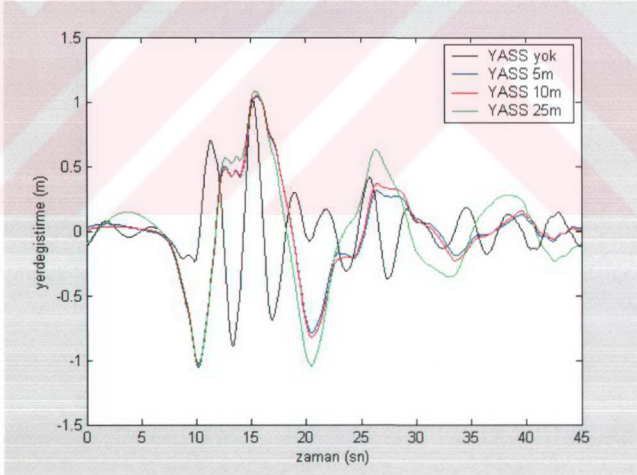
Zemin alt yapı modelinin özellikleri sabit tutularak YASS seviyesi değiştirilmiştir. Yer altı suyunun bulunmaması ve YASS seviyesinin 5m, 10m ve 25m olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Üst yapı modelinin de H/B oranlarının farklı değerleri için grafikler ayrı ayrı sunulmuştur. H/B oranları 1,0-1,5-2,0-2,5 ve 3,0 alınarak dinamik analizler yapılmıştır.



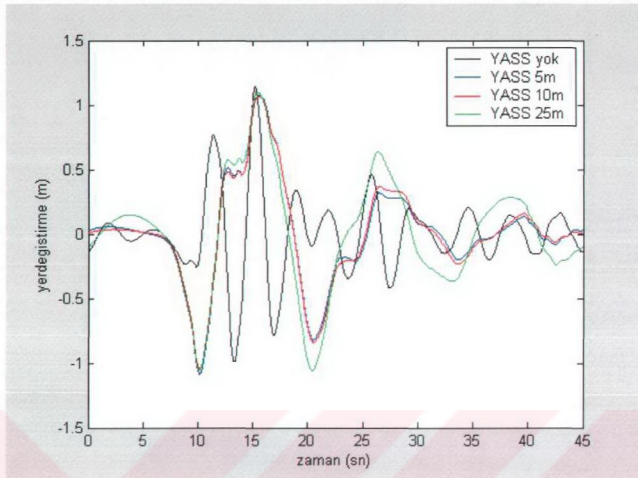
Şekil 5.5a. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değişimi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=1,00$)



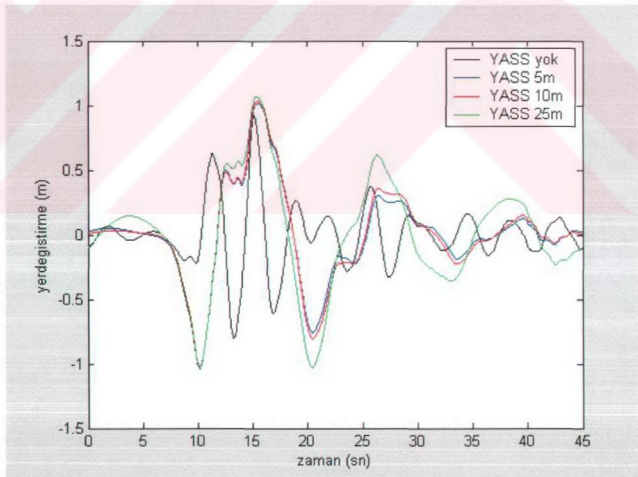
Şekil 5.5b. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=1,50$)



Şekil 5.5c. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=2,00$)



Şekil 5.5d Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=2,50$)

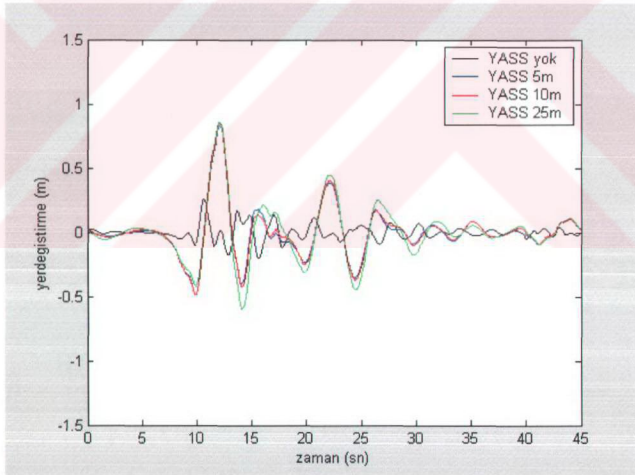


Şekil 5.5e Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=50$ m/sn ve $H/B=3,00$)

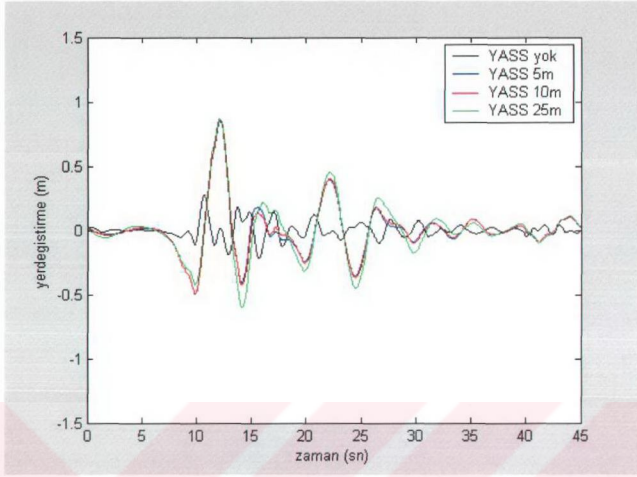
5.3 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=100$ m/sn Olan Yapı-Zemin Modeli

Zemin kayma dalgası hızı $V_s=100$ m/sn için dinamik analizleri yapılan zemin-yapı modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.6a-e). Bu grafiklerde tepe noktasının yer değiştirmesinin zaman-tanım alanındaki değişimi verilmiştir.

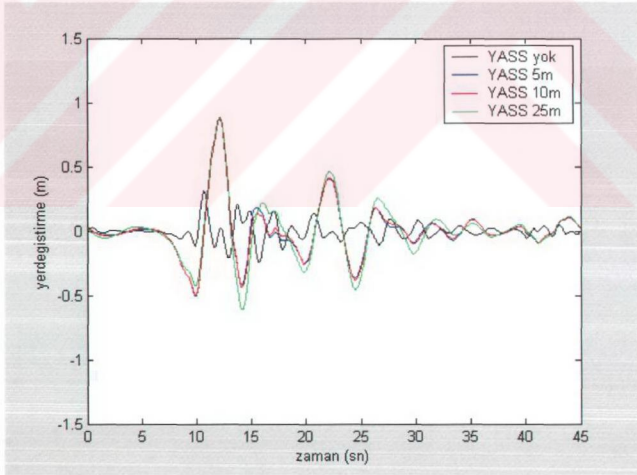
Zemin alt yapı modelinin özellikleri sabit tutularak YASS seviyesi değiştirilmiştir. Yer altı suyunun bulunmaması ve YASS seviyesinin 5m, 10m ve 25m olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Üst yapı modelinin de H/B oranlarının farklı değerleri için grafikler ayrı ayrı sunulmuştur. H/B oranları 1,0-1,5-2,0-2,5 ve 3,0 alınarak dinamik analizler yapılmıştır.



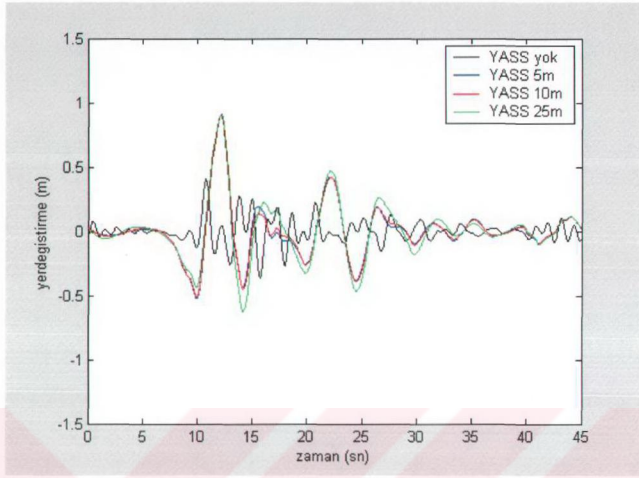
Şekil 5.6a Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=1,00$)



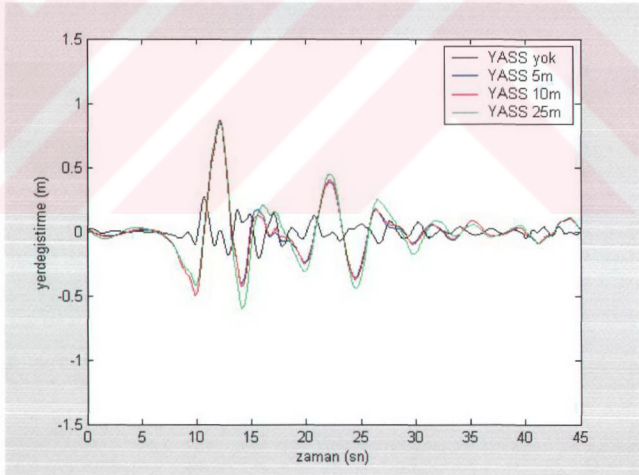
Şekil 5.6b Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=1,50$)



Şekil 5.6c Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=2,00$)



Şekil 5.6d Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=2,50$)

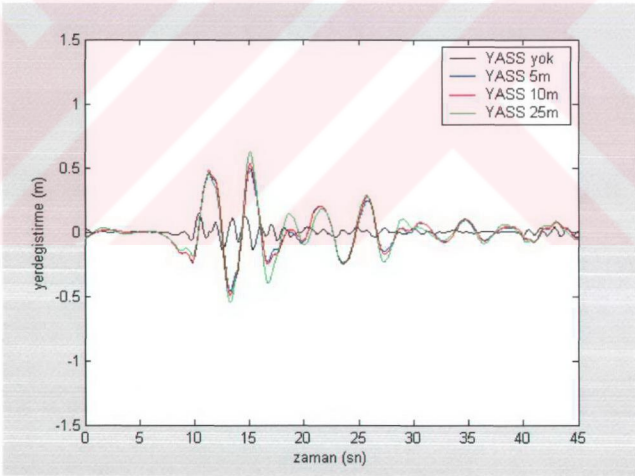


Şekil 5.6e Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=100$ m/sn ve $H/B=3,00$)

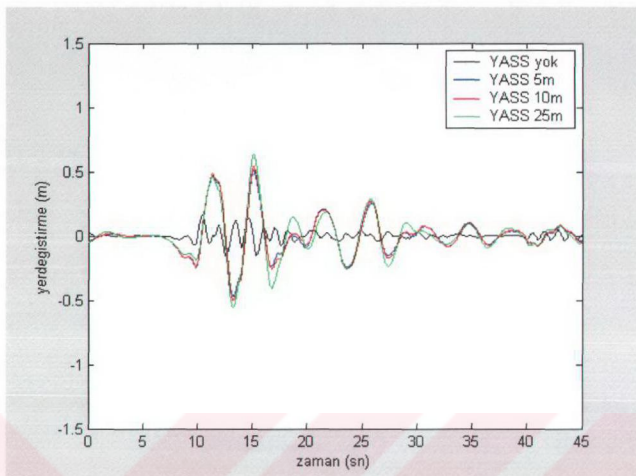
5.4 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=150$ m/sn Olan Yapı-Zemin Modeli

Zemin kayma dalgası hızı $V_s=150$ m/sn için dinamik analizleri yapılan zemin-yapı modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.7a-e). Bu grafiklerde tepe noktasının yer değiştirmesinin zaman-tanım alanındaki değişimi verilmiştir.

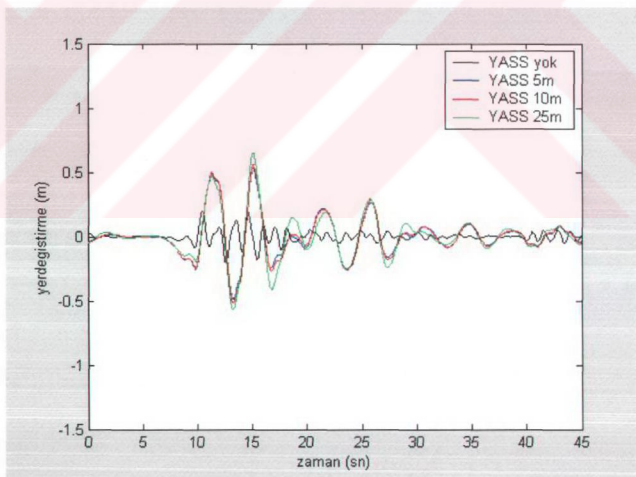
Zemin alt yapı modelinin özellikleri sabit tutularak YASS seviyesi değiştirilmiştir. Yer altı suyunun bulunmaması ve YASS seviyesinin 5m, 10m ve 25m olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Üst yapı modelinin de H/B oranlarının farklı değerleri için grafikler ayrı ayrı sunulmuştur. H/B oranları 1,0-1,5-2,0-2,5 ve 3,0 alınarak dinamik analizler yapılmıştır.



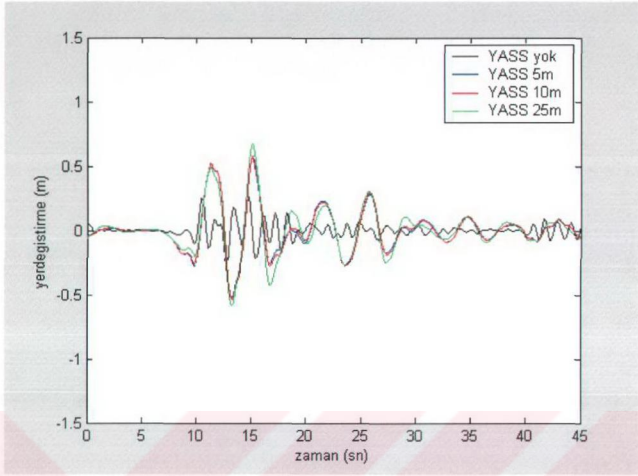
Şekil 5.7a Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=1,00$)



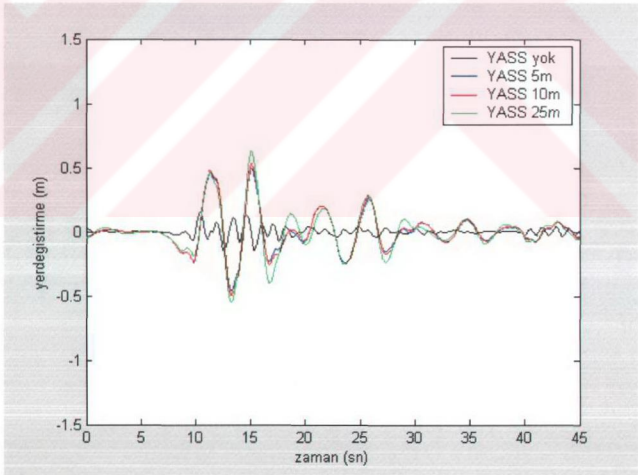
Şekil 5.7b Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=1,50$)



Şekil 5.7c Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=2,00$)



Şekil 5.7d Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlı Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=2,50$)

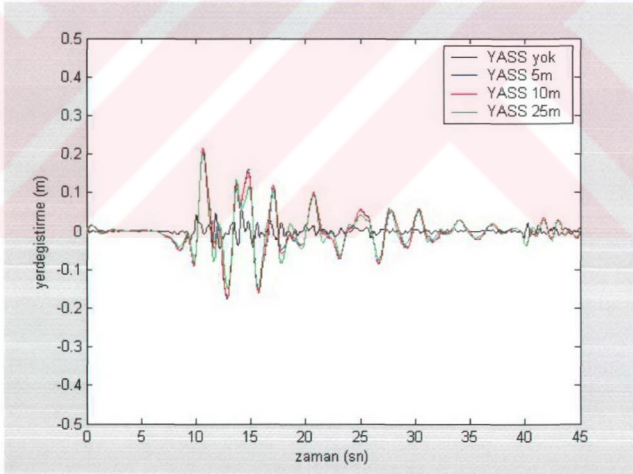


Şekil 5.7e Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlı Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=150$ m/sn ve $H/B=3,00$)

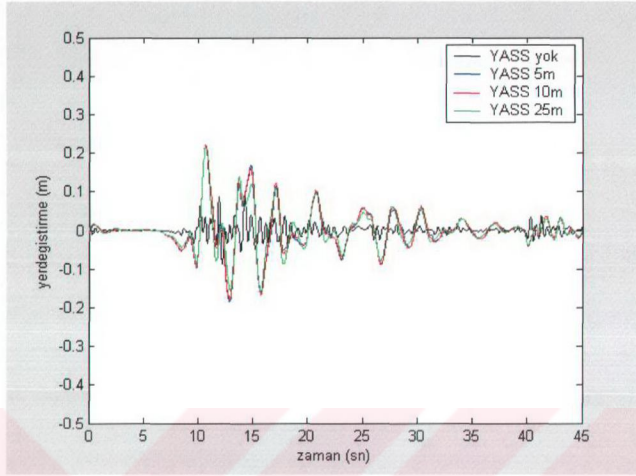
5.5 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=300$ m/sn Olan Yapı-Zemin Modeli

Zemin kayma dalgası hızı $V_s=300$ m/sn için dinamik analizleri yapılan zemin-yapı modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.8a-c). Bu grafiklerde tepe noktasının yer değiştirmesinin zaman-tanım alanındaki değişimi verilmiştir.

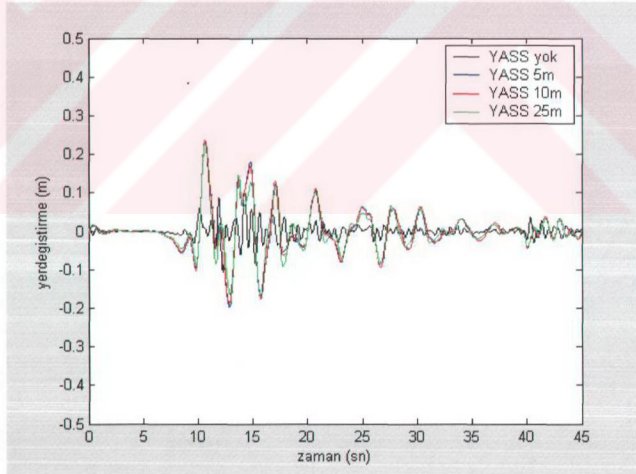
Zemin alt yapı modelinin özellikleri sabit tutularak YASS seviyesi değiştirilmiştir. Yer altı suyunun bulunmaması ve YASS seviyesinin 5m, 10m ve 25m olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Üst yapı modelinin de H/B oranlarının farklı değerleri için grafikler ayrı ayrı sunulmuştur. H/B oranları 1,0-1,5-2,0-2,5 ve 3,0 alınarak dinamik analizler yapılmıştır.



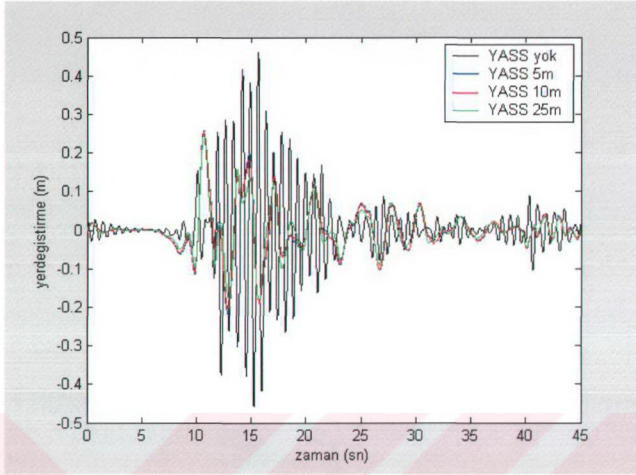
Şekil 5.8a Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=1,00$)



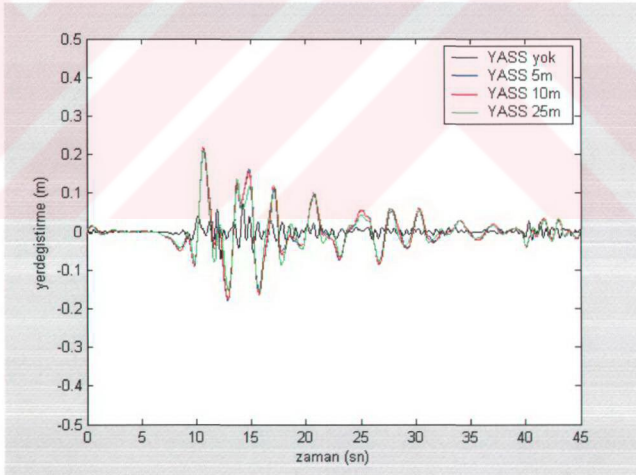
Şekil 5.8b Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=1,50$)



Şekil 5.8c Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=2,00$)



Şekil 5.8d Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=2,50$)

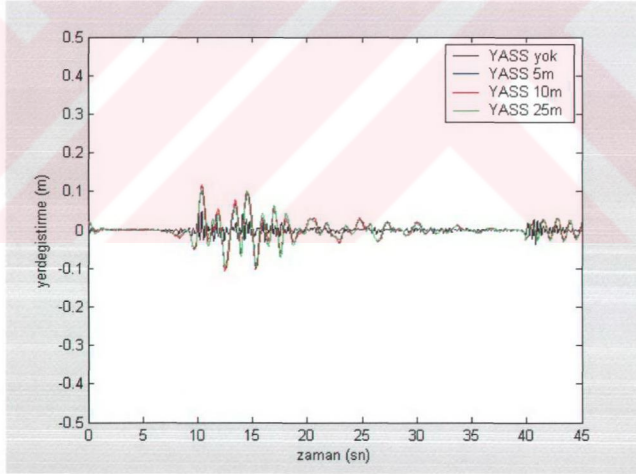


Şekil 5.8e Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=300$ m/sn ve $H/B=3,00$)

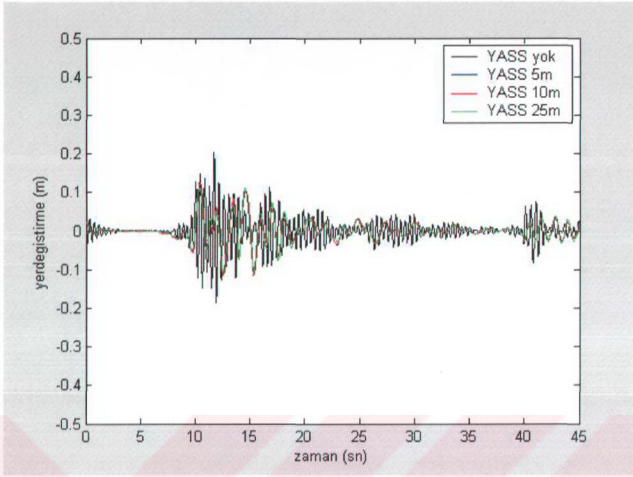
5.6 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=500$ m/sn Olan Yapı-Zemin Modeli

Zemin kayma dalgası hızı $V_s=500$ m/sn için dinamik analizleri yapılan zemin-yapı modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.9a-e). Bu grafiklerde tepe noktasının yer değiştirmesinin zaman-tanım alanındaki değişimi verilmiştir.

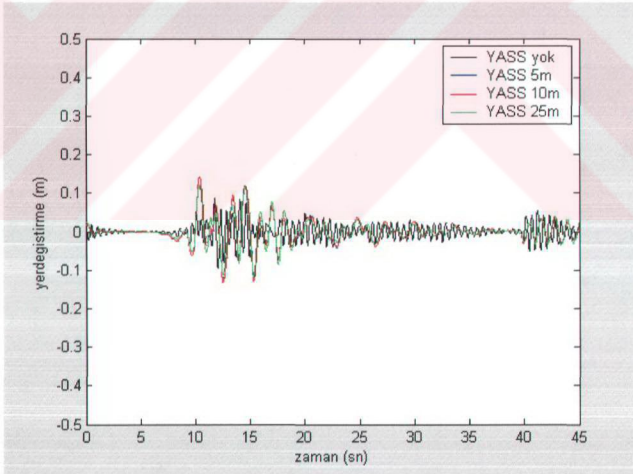
Zemin alt yapı modelinin özellikleri sabit tutularak YASS seviyesi değiştirilmiştir. Yer altı suyunun bulunmaması ve YASS seviyesinin 5m, 10m ve 25m olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Üst yapı modelinin de H/B oranlarının farklı değerleri için grafikler ayrı ayrı sunulmuştur. H/B oranları 1,0-1,5-2,0-2,5 ve 3,0 alınarak dinamik analizler yapılmıştır.



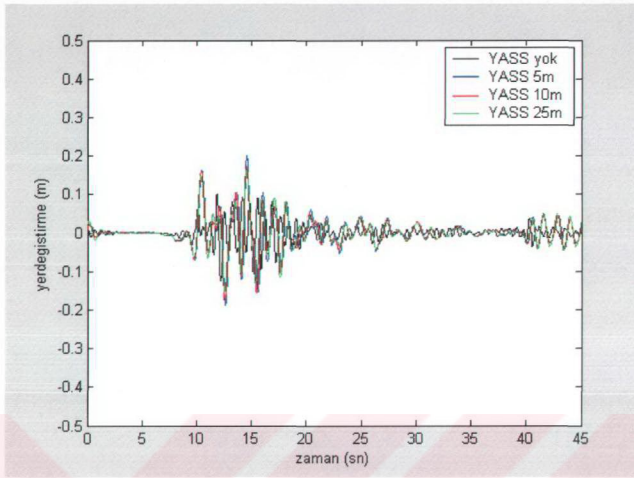
Şekil 5.9a Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=1,00$)



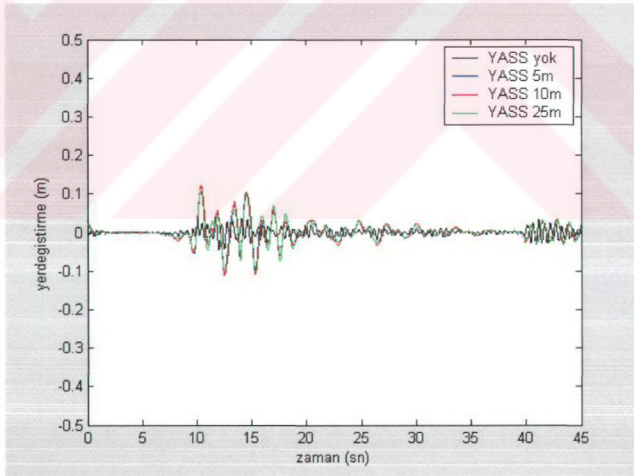
Şekil 5.9b. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=1,50$)



Şekil 5.9c. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=2,00$)



Şekil 5.9d. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=2,50$)

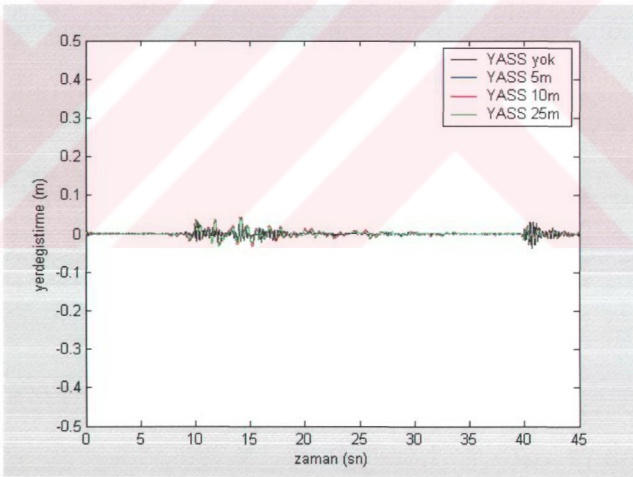


Şekil 5.9e. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değiştirilmesi ($V_s=500$ m/sn ve $H/B=3,00$)

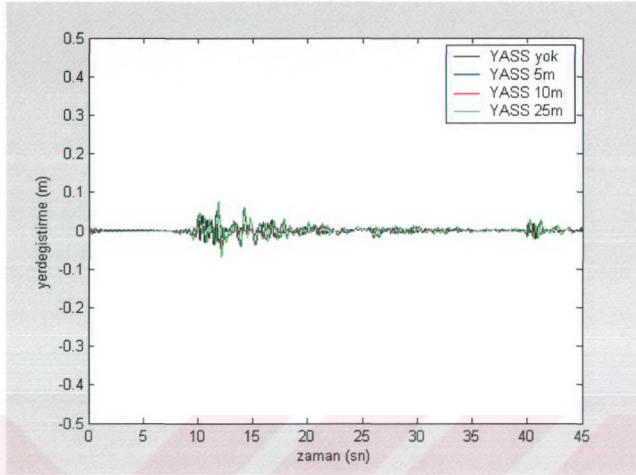
5.7 Zemin Kayma Dalgası Hızı $V_s=1000$ m/sn Olan Yapı-Zemin Modeli

Zemin kayma dalgası hızı $V_s=1000$ m/sn için dinamik analizleri yapılan zemin-yapı modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.10a-e). Bu grafiklerde tepe noktasının yer değiştirmesinin zaman-tanım alanındaki değişimi verilmiştir.

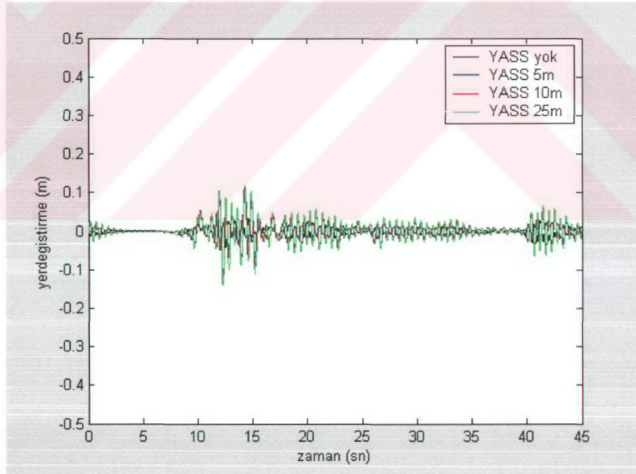
Zemin alt yapı modelinin özellikleri sabit tutularak YASS seviyesi değiştirilmiştir. Yer altı suyunun bulunmaması ve YASS seviyesinin 5m, 10m ve 25m olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Üst yapı modelinin de H/B oranlarının farklı değerleri için grafikler ayrı ayrı sunulmuştur. H/B oranları 1,0-1,5-2,0-2,5 ve 3,0 alınarak dinamik analizler yapılmıştır.



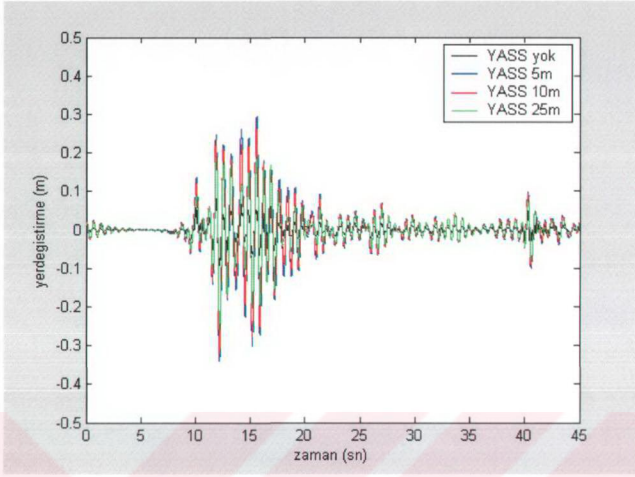
Şekil 5.10a. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değişimi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=1,00$)



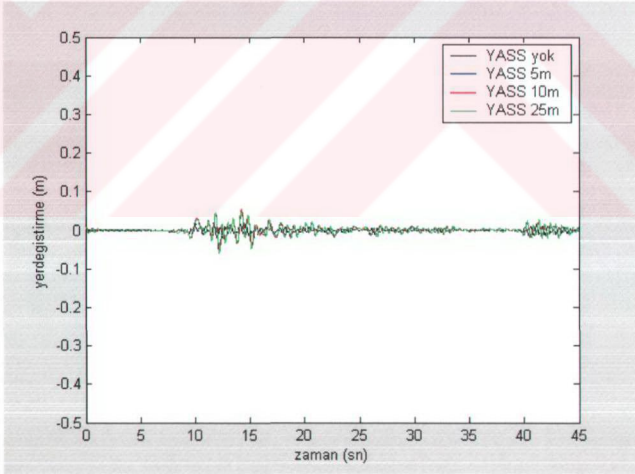
Şekil 5.10b. Yayı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değişimi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=1,50$)



Şekil 5.10c. Yayı Tepe Noktasının Zaman-Tanımlanmış Alanındaki Yer Değişimi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=2,00$)

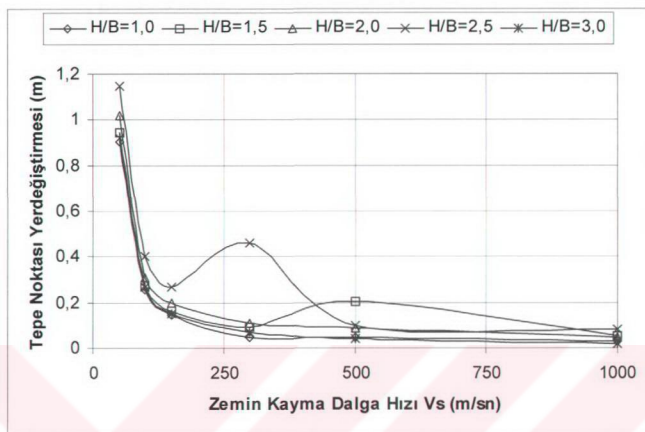


Şekil 5.10d. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=2,50$)

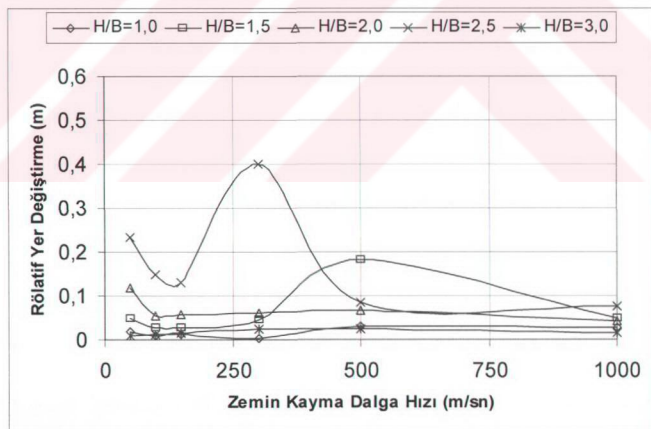


Şekil 5.10e. Yapı Tepe Noktasının Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmesi ($V_s=1000$ m/sn ve $H/B=3,00$)

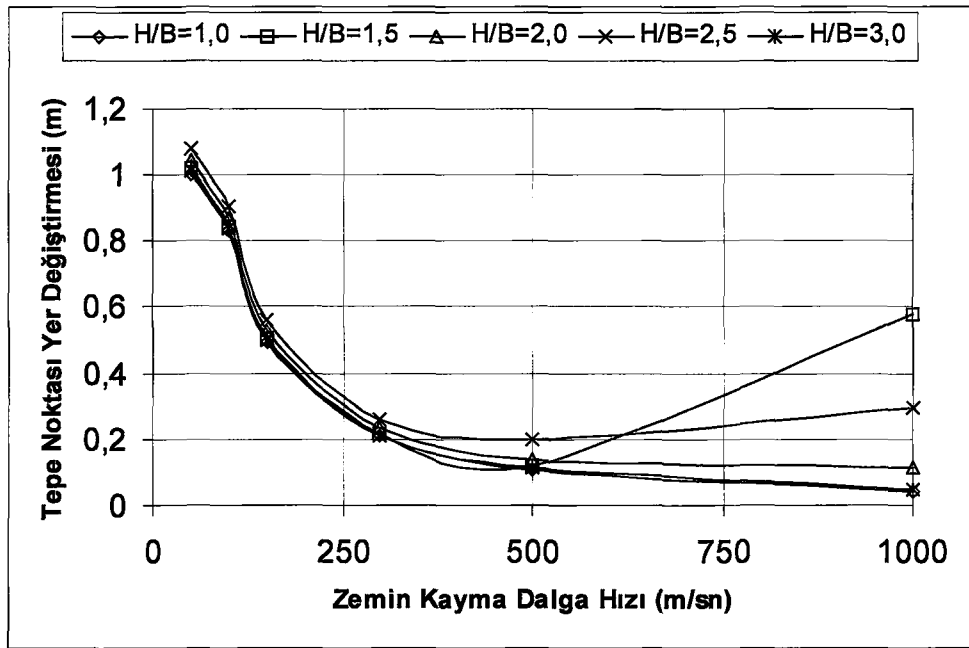
5.8 Zemin Kayma Dalga Hızlarına Göre Modeller



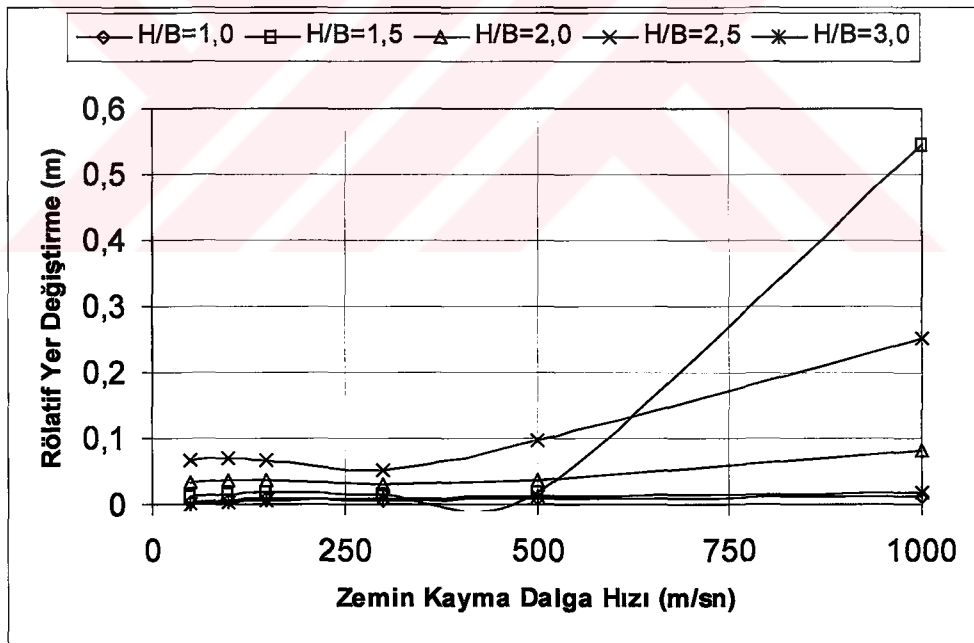
Şekil 5.11a Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin tepe noktası yer değiştirmesi (YASS yok)



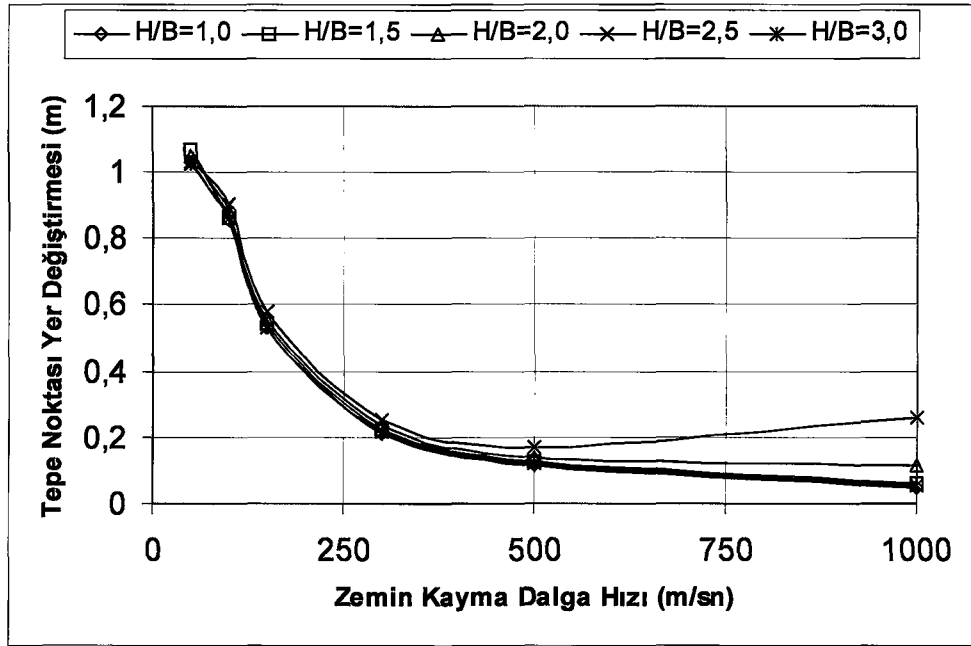
Şekil 5.11b Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin rölatif yer değiştirmesi (YASS yok)



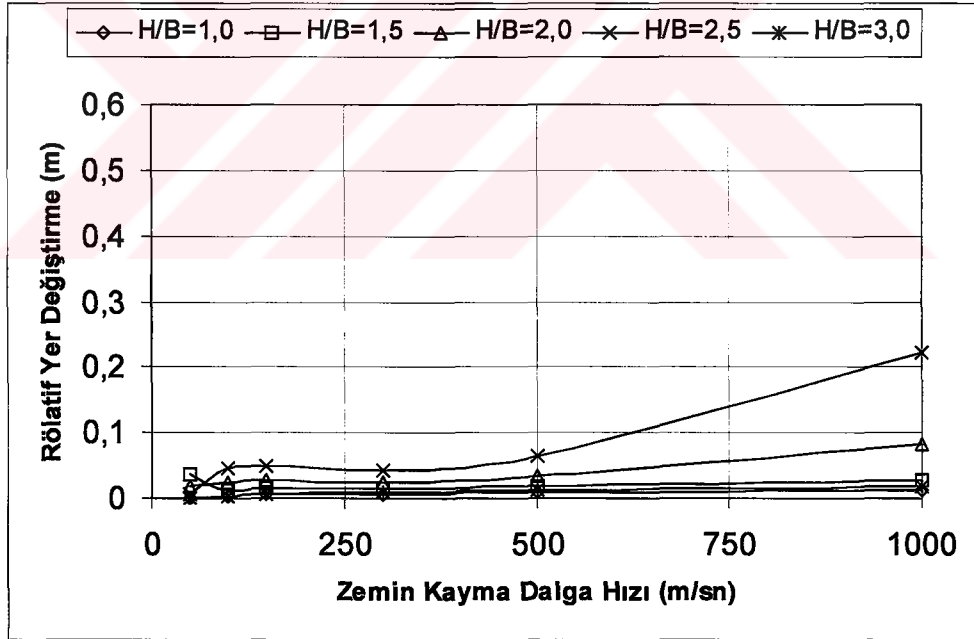
Şekil 5.12a Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin tepe noktası yer değiştirmesi (YASS 5m)



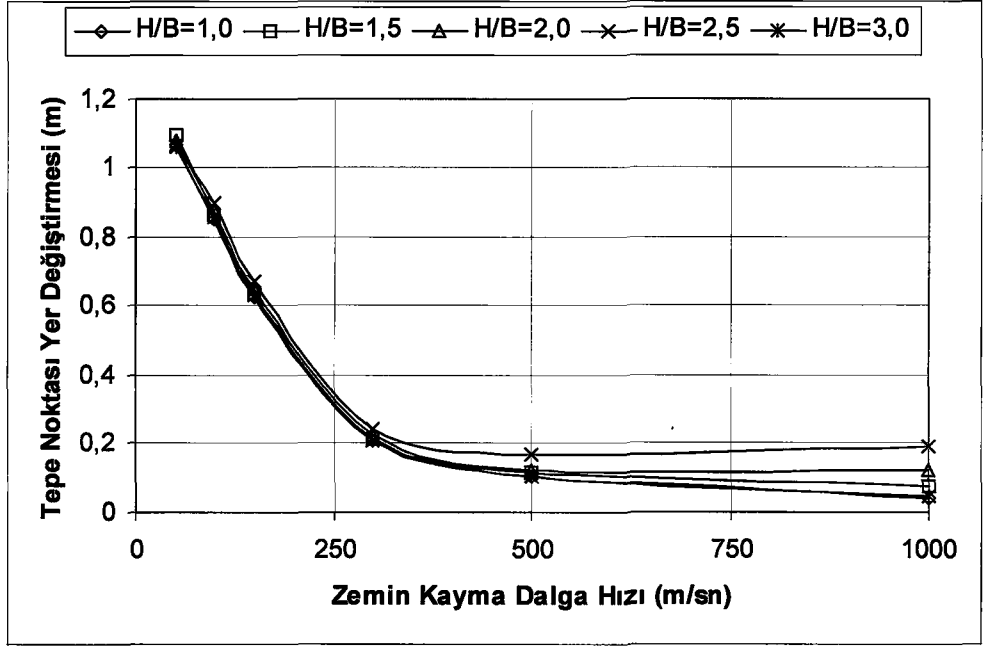
Şekil 5.12b Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin rölatif yer değiştirmesi (YASS 5m)



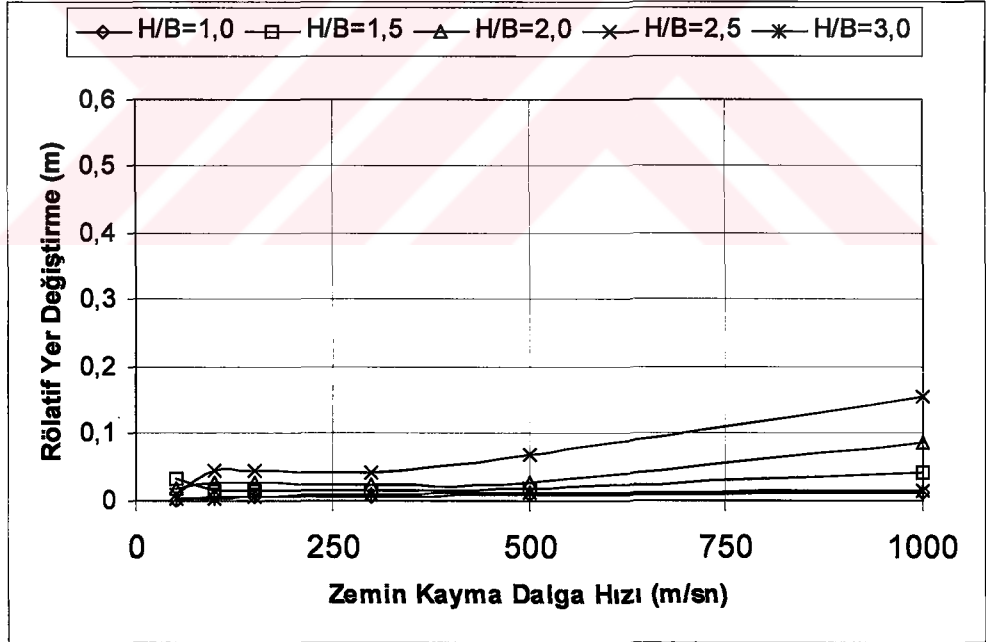
Şekil 5.13a Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin tepe noktası yer değiştirmesi (YASS 10m)



Şekil 5.13b Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerinin rölatif yer değiştirmesi (YASS 10m)



Şekil 5.14a Zemin kayma dalga hızlarına göre üst yapı modellerin tepe noktası yer değiştirmesi (YASS 25m)



Şekil 5.14b Zemin kayma dalga hızlarına göre modellerin rölatif yer değiştirmesi (YASS 25m)

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 120 farklı yapı-zemin modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapıların deprem etkisindeki davranışı, tepe noktasının yer değiştirmesi terimlerinde grafikler halinde sunulmuştur.

Bu çalışmada zemin kayma dalga hızlarına göre sınıflandırılan zemin-yapı modelleri ayrı ayrı incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

$V_s=50$ m/sn olması hali

- Bu duruma ait grafikler incelendiğinde bütün modellerin tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değerinin 1 m civarında olduğu görülmektedir (Şekil 5.5a-e). Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YASS'nin bulunmaması halindeki tepe noktası yer değiştirmesinin karakteri ile YASS'nin olması halindeki tepe noktası yer değiştirmesi karakteri farklılık göstermektedir.
- YASS'nin bulunması halinde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, en büyük yer değiştirmelerin YASS=25 m olduğu hale karşılık gelmektedir.

$V_s=100$ m/sn olması hali

- Bu duruma ait grafikler incelendiğinde YASS olması hali ile olmaması hali arasındaki tepe noktası yer değiştirmeleri birbirinden oldukça farklıdır (Şekil 5.6a-e). YASS bulunmaması halinde tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,40 m ve YASS bulunması halinde ise tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 1 m civarlarındadır.

- Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YASS'nin bulunmaması halindeki tepe noktası yer değiştirmesinin karakteri ile YASS'nin olması halindeki tepe noktası yer değiştirmesi karakteri farklılık göstermektedir. YASS'nin bulunması halinde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, en büyük yer değiştirmelerin YASS=25 m olduğu hale karşılık gelmektedir.

V_s=150m/sn olması hali

- Bu duruma ait grafikler incelendiğinde YASS olması hali ile olmaması hali arasındaki tepe noktası yer değiştirmeleri birbirinden oldukça farklıdır (Şekil 5.7a-e). YASS bulunmaması halinde tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,25 m ve YASS bulunması halinde ise tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,65 m civarlarındadır.
- Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YASS'nin bulunmaması halindeki tepe noktası yer değiştirmesinin karakteri ile YASS'nin olması halindeki tepe noktası yer değiştirmesi karakteri farklılık göstermektedir. YASS'nin bulunması halinde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, en büyük yer değiştirmelerin YASS=25 m olduğu hale karşılık gelmektedir.

V_s=300 m/sn olması hali

- Bu duruma ait grafikler incelendiğinde YASS olması hali ile olmaması hali arasındaki tepe noktası yer değiştirmeleri birbirinden oldukça farklıdır (Şekil 5.8a-e). YASS bulunmaması halinde tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,12 m ve YASS bulunması halinde ise tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,22 m civarlarındadır.
- H/B=2,5 haline ait grafik incelendiğinde yapının rezonans haline karşılık geldiği açıkça görülmekte ve yer değiştirmeler 0.50 m ye kadar yükselmektedir (Şekil 5.8d). Bu hale karşılık gelen yapı ankastre mesnetli çözüldüğünde periyodu 0,560 sn ve zeminin de periyodu 0,684 sn

olduğundan rezonans oluşmaktadır. Şayet her iki yapının periyotları birbirlerine daha da yaklaştırılırsa yer değiştirmelerin artacağı beklenir.

- Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YASS'nin bulunmaması halindeki tepe noktası yer değiştirmesinin karakteri ile YASS'nin olması halindeki tepe noktası yer değiştirmesi karakteri farklılık göstermektedir. YASS'nin bulunması halinde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, en büyük yer değiştirmelerin YASS=25 m olduğu hale karşılık gelmektedir.

V_s=500 m/sn olması hali

- Bu duruma ait grafikler incelendiğinde YASS olması hali ile olmaması hali arasındaki tepe noktası yer değiştirmeleri birbirinden oldukça farklıdır (Şekil 5.9a-e). YASS bulunmaması halinde tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,10 m ve YASS bulunması halinde ise tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,15 m civarlarındadır.
- H/B=1,5 ve H/B=2 hallerine ait grafik incelendiğinde yapının rezonans haline karşılık geldiği açıkça görülmekte ve yer değiştirmeler 0.20 m civarlarına kadar yükselmektedir (Şekil 5.9b-c). Bu hale karşılık gelen yapılar ankastre mesnetli çözüldüğünde periyotları 0,440 sn ile 0,320 sn ve zeminin de periyodu 0,408 sn olduğundan rezonans oluşmaktadır. Şayet her iki yapının periyotları birbirlerine daha da yaklaştırılırsa yer değiştirmelerin artacağı beklenir.
- Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YASS'nin bulunmaması halindeki tepe noktası yer değiştirmesinin karakteri ile YASS'nin olması halindeki tepe noktası yer değiştirmesi karakteri farklılık göstermektedir. YASS'nin bulunması halinde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, en büyük yer değiştirmelerin YASS=25 m olduğu hale karşılık gelmektedir.

$V_s=1000$ m/sn olması hali

- Bu duruma ait grafikler incelendiğinde YASS olması hali ile olmaması hali arasındaki tepe noktası yer değiştirmeleri birbirinden oldukça farklıdır (Şekil 5.10a-e). YASS bulunmaması halinde tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,05 m ve YASS bulunması halinde ise tepe noktası yer değiştirmelerinin maksimum değeri 0,14 m civarlarındadır.
- $V_s=1000$ m/sn de $H/B=2,0$ ve $H/B=2,5$ hallerine ait (Şekil 5.10c-d) grafikler incelendiğinde yapıların rezonans haline karşılık geldiği açıkça görülmekte ve yer değiştirmeler 0.30 m civarlarına kadar yükselmektedir. Bu hallere karşılık gelen yapılar ankastre mesnetli çözüldüğünde periyotları 0,320 sn, 0,440 sn ile 0,560 sn ve zeminin de periyodu 0,205 sn dir. Burada grafikler detaylı olarak incelendiğinde rezonans halinin YASS bulunması haline karşılık geldiği görülmektedir. Zeminin 0,205 sn ile 0,135 sn lik periyot değerleri YASS ile artarak yapıların periyotlarına yaklaştığından rezonans oluşmaktadır.
- Bunun yanında grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YASS'nin bulunmaması halindeki tepe noktası yer değiştirmesinin karakteri ile YASS'nin olması halindeki tepe noktası yer değiştirmesi karakteri farklılık göstermektedir. YASS'nin bulunması halinde tepe noktası yer değiştirmeleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, en büyük yer değiştirmelerin YASS=25 m olduğu hale karşılık gelmektedir.

Dinamik analizleri yapılan 120 farklı zemin-yapı modelinin davranışları YASS'ne göre toplu olarak grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 5.12-5.15):

- Bu grafikler incelendiğinde daha önce bahsedilen rezonans halleri daha ayrıntılı olarak görülmektedir. YASS nin olmaması halinde; $V_s=300$ m/sn ve $H/B=2,5$ ile $V_s=500$ m/sn ve $H/B=1,5$ hallerinde rezonans oluşmaktadır. YASS'nin bulunması halinde ise farklı H/B oranlarında rezonanslar oluşmaktadır.

Bütün sonuçlar incelendiğinde;

YASS nin bulunması üst yapıyı olumsuz etkilemekte ve yer değiştirmelerin YASS nin bulunmaması haline göre daha büyük olmasına neden olmaktadır.

Zemin kayma dalga hızı V_s nin büyük olduğu zemin çeşitlerinde üst yapının tepe noktasının daha az yer değiştirme yaptığı bu nedenle zemin çeşidinin dikkate alınması gerektiği gözlemlenmektedir.

Ayrıca rezonans halinin çok önemli olduğu ve rezonans olmayacak şekilde üst yapının modellenmesi gerektiği görülmüştür.

İleride yapılabilecek çalışmalar

Bu çalışmada dinamik analizler iki boyutlu ve doğrusal olarak gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda;

- Yapı-zemin modeli 3 boyutlu ve doğrusal olmayan dinamik analizlerle çözümlenebilir.
- Depremin yapıda oluşturduğu zorlanmalar ve depremin yapılara etkime mekanizması deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Tabakalı, heterojen ve anizotrop zeminler çalışma kapsamına alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] LYSMER J., and KUHLEMEYER, R.L., "Finite Dynamic Model for Infinite Media", *Journal of the Engineering Mechanics Division*, Vol. 95, No. EM4, pp. 859-877, 1969.
- [2] BETTES, P., ZIENKIEWICZ, O.C., "Diffraction and Refraction of Surface Waves Using Finite and Infinite Elements", *International Journal of Numerical Engineering*, Vol. 11 pp 1271-1290, 1977.
- [3] MEDINA, F., "Modelling of Soil-Structure Interaction by Finite and Infinite Elements", Report No. UCB/EERC-80/43, University of California, Berkeley, CA.1980.
- [4] CHUHAN, Z., CHONGBIN, Z., "Coupling Method of Finite Infinite Elements For Strip Foundation Wave Problems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15:839-851, 1987.
- [5] YAZDCHI, M., KHALILI, N. AND VALLIAPPAN, S. "Dynamic Soil-structure Interaction Analysis Via Coupled Finite-Element-Boundary-Element Method", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 18, pp 499-517, 1999
- [6] YERLİ, H, R, "İki ve Üç Boyutlu Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar Kullanarak Analizi", Doktora Tezi, ÇÜ FBE, Adana, 1998.
- [7] KIM, D.K., and YUN, C.B, "Time Domain Soil-Structure Interaction in Two Dimensional Medium Based on Analytical Frequency-Dependent infinite Elements", *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, Vol. 47, No. 7, pp.1241-1261, 2000.

[8] GENEŞ C., "İki ve Üç Boyutlu Zemin Yapı Etkileşim Problemlerinin Sonsuz Elemanlarla Analizi", Doktora Tezi ÇÜ FBE, Adana, Haziran, 2001

[9] PARMELEE ,R.A., "Building-Foundation Interaction Effects", Journal of Engineering Mechanics Division, Vol. 93, No. EM2, pp. 131-152, 1967.

[10] AYDINOĞLU, M.N., "Ustyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı", Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1977.

[11] GUITERREZ , J.A., CHOPRA, A. K ., "A Substructure Method for Earthquake Analysis of Structures Including Structure Soil Interaction", Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 6, 51-69, 1978.

[12] GUTIERREZ, J .A., " A substructure method for earthquake analysis of structure-soil interaction", Report No. EERC 76-9, Earthquake Engineering Research Center, California, University of California, Berkeley, 1976.

[13] ROSSET, J.M., KAUSEL, E. (1976) "Dynamic Soil-Structure Interaction", Proc. Second International Conference On Numerical Methods In Geomechanics, Blacksburg, Virginia, Vol. 2, 3-19.

[14] WOLF, J.P., and SONG, C., "Dynamic Stiffness Matrix of Unbounded Soil by Finite Element Multi-Cell Cloning", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 23, pp. 233-250, 1994.

[15] KUTANIS, M., "Yapı-Zemin Dinamik Etkileşimi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, Kasım, 2001.

[16] PALA, M., "Zemin Yapı Dinamik Etkileşiminin Yapay Sinir Ağları İle Analizi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2001.

- [17] ZIENKIEWICZ, O.C. and TAYLOR, R. L “The Finite Element Method”, McGraw Hill, 1991.
- [18] GRIFFITHS. D. V. “Numerical Studies of Soil Structure Interaction Using a Simple Interface Model”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 1, pp 158-162, 1988
- [19] AYDINOĞLU, M.N., “Development of Analytical Techniques in Soil-structure Interaction”, Developments in Dynamic Soil-Structure Interaction, Kluwer Academic Publishers, 1992
- [20] GÜRSOY, Ş., DURMUŞ, A. “Betonarme İstinat Duvarlarının Zemin Etkileşimini de Dikkate Alarak Çeşitli Yöntemlerle Karşılaştırmalı Deprem Hesabı”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi., Bildiriler Kitabı, Sayfa 228-237, 21-22 Ekim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir (2002).
- [21] ÇELEBİ, E, ve GÜNDÜZ, A.N., “Dynamic Response of Multistory Buildings Including Soil-Structure Interaction in Elastic Layered Media” ECCM’99 European Conference on Computational Mechanics August 31-September 3 München, Germany 1999.
- [22] VUCETIC, M., and DOBRY, R, “Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107, 1991.
- [23] CELEP, Z., KUMBASAR, N, “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- [24] PAMPAL, S., “Depremler”, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, Ocak, 2000
- [25] ATIMTAY, E., “Açıklama ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Cilt 1”, Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.

[26] CHANDRUPATLA R. "Introduction to Finite Elements in Engineering",
Second Edition.



ÖZGEÇMİŞ

01.06.1981 Sakarya Karasu doğumlu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya da tamamladı. Lisans eğitimine 1999-2000 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2003-2004 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümünden bahar yarı yılında mezun oldu. 2003-2004 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bölümünde yüksek lisansa başladı.

