

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI ZEMİNİNDE YAPILAN BETONARME
YAPILARDA ZEMİN –YAPI ETKİLEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Nihan ALA

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

Ocak 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADPAZARI ZEMİNİNDE YAPILAN BETONARME
YAPILARDA ZEMİN –YAPI ETKİLEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Nihan ALA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 05/ 02 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof.Dr. Muzaffer ELMAS
Jüri Başkanı**

**Yrd.Doç.Dr. Naci ÇAĞLAR
Üye**

**Doç.Dr. Seyhan FIRAT
Üye**

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli bilgi ve yardımlarımı 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 çalıőmalarıma beni teővik eden sevgili anne ve babam Suna-Nihat Turan'a, destek ve anlayıőından dolayı da sevgili eőim Bilgin Ala'ya teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Konu ile İlgili Çalışmalar.....	2
1.2. Amaç ve Kapsam	3
BÖLÜM 2.	
ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ	4
2.1. Yapı-Zemin Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri.....	7
2.1.1. Direkt yöntem.....	9
2.1.2. Viskoz sınır şartı.....	10
2.2. Yerel Zemin Koşulları.....	12
2.2.1. Yerel zemin kalınlığı.....	13
2.2.2. Zemin spektrumları.....	13
2.2.3. Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi.....	15
2.3 Adapazarı Zemini ve Yapısal Özellikleri.....	16
BÖLÜM 3.	
DİNAMİK ETKİ ve ANALİZİ.....	19

3.1. Hareket Denklemi ve Sayısal Çözümü.....	20
3.2. Serbest Titreşim.....	22
3.3. Modların Süperpozisyonu Yöntemi.....	24
BÖLÜM 4.	
SAYISAL ÖRNEKLER.....	27
4.1. Üst Yapının Modellenmesi.....	31
4.2. Alt Yapının (Zemin) Modellenmesi.....	31
4.3. Yapı-Zemin Modellerinin Zaman-Tanım Alanındaki Yer	
Değişirmeleri.....	32
4.3.1. Model A yapıları.....	33
4.3.2. Model B yapıları.....	42
4.3.3. Model C yapıları.....	51
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

c	: Sönüm
[C]	: Sistemin Sönüm Matrisi
A	: Etkili Alan
E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
H	: Bina Yüksekliği
H_z	: Hertz (Frekans)
k	: Eleman Rijitlik Matrisi
[K]	: Sistem Rijitlik Matrisi
m	: Eleman Kütlesi
[M]	: Kütle Matrisi
ω	: Açısal Frekans
t	: Zaman
T	: Periyod
ν	: Poisson Oranı
v_s	: Zeminin Kayma Dalgası Hızı
ρ	: Kütleli Yoğunluk
u	: Deplasman
ξ	: Sönüm Oranı
m	: Metre
B	: Bina Genişliği
ZYE	: Zemin Yapı Etkileşimi
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi.....	5
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 Yöntemde Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar).....	11
Şekil 2.7.	Yerel Zemin Kalınlığının Maksimum Temel Kesme Kuvvetine Etkisi [22].....	13
Şekil 2.8.	Değişik Zeminler İçin Spektral İvme Periyot İlişkisi.....	14
Şekil 2.9.	Farklı Zeminler İçin Deprem Şiddeti ve Episantr Uzaklığı Arasındaki İlişki	14
Şekil 2.10.	Adapazarı'ndaki Dört Merkezi Mahalle.....	16
Şekil 2.11.	Marmara Depremi Sonrası Adapazarı'ndaki Yapı Hasar Dağılımı	17
Şekil 2.12.	Adapazarı için Genelleştirilmiş Dört Zemin Tipi.....	18
Şekil 3.1.	Dinamik Yatay Deprem Kuvveti Etkisindeki Yapı.....	20
Şekil 3.2.	Çok Serbestlik Dereceli Sistem Mod Şekilleri	23
Şekil 3.3.	Üç Katlı Bir Çerçevenin Deprem Hareketi Altındaki Davranışı ..	24
Şekil 4.1.	Yapı-Zemin Modelinin Sonlu Eleman Modeli (SAP2000).....	27
Şekil 4.2.	Dinamik Analizlerde Kullanılan Marmara Deprem Kaydı (Yarımca-Petkim).....	28
Şekil 4.3.	Adapazarı Merkezi'nin Genelleştirilmiş Zemin Profili ve Maltepe Zemin Profili.....	28
Şekil 4.4.	Zayıf Kat (Zemin Kat) Bulunan Yapı Tipi.....	29

Şekil 4.5.	Yumuşak Kat Hasarı.....	30
Şekil 4.6.	Kısa Kolon Hasarı.....	31
Şekil 4.7.	Model A1 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	33
Şekil 4.8.	Model A1 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	33
Şekil 4.9.	Model A1 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	34
Şekil 4.10.	Model A1 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	34
Şekil 4.11.	Model A2 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	36
Şekil 4.12.	Model A2 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	36
Şekil 4.13.	Model A2 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	37
Şekil 4.14.	Model A2 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	37
Şekil 4.15.	Model A3 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	39
Şekil 4.16.	Model A3 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	39
Şekil 4.17.	Model A3 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	40
Şekil 4.18.	Model A3 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	40
Şekil 4.19.	Model B1 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	42
Şekil 4.20.	Model B1 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	42

Şekil 4.21.	Model B1 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	43
Şekil 4.22.	Model B1 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	43
Şekil 4.23.	Model B2 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	45
Şekil 4.24.	Model B2 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	45
Şekil 4.25.	Model B2 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	46
Şekil 4.26.	Model B2 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	46
Şekil 4.27.	Model B3 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	48
Şekil 4.28.	Model B3 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	48
Şekil 4.29.	Model B3 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	49
Şekil 4.30.	Model B3 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	49
Şekil 4.31.	Model C1 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	51
Şekil 4.32.	Model C1 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	51
Şekil 4.33.	Model C1 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	52
Şekil 4.34.	Model C1 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	52

Şekil 4.35.	Model C2 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	54
Şekil 4.36.	Model C2 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	54
Şekil 4.37.	Model C2 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	55
Şekil 4.38.	Model C2 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	55
Şekil 4.39.	Model C3 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	57
Şekil 4.40.	Model C3 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri.....	57
Şekil 4.41.	Model C3 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri.....	58
Şekil 4.42.	Model C3 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı ...	58

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Zemin Büyütmelerinin Zemin Türlerine Göre Değişimi..	12
Tablo 4.1.	Zeminlerin Genel Karakteristikleri.....	29
Tablo 4.2	Üst Yapı Model Tipleri.....	30

ÖZET

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

Bu çalışmada, deprem etkisindeki betonarme binaların davranışına zeminin etkisi araştırılmıştır. Yumuşak kat, zayıf kat ve kısa kolon gibi olumsuzluklar, deprem etkisindeki yapıların yıkılmasına ya da ağır hasar görmesinin sebeplerinin başında gelmektedir. Yapı-zemin modelleri, bu olumsuzluklar göz önünde bulularak hazırlanmış ve yapıların yıkılmasına ya da ağır hasar görmesine zeminin katkısı araştırılmıştır.

Bu amaçla, zemin-yapı modelinin zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dinamik analizleri yapılmıştır. Zemin-yapı modeli kurulurken aynı rijitliğe sahip 9 farklı betonarme binanın 5 farklı zemin durumları için deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Ayrıca Yer Altı Su Seviyesi (YASS)nin etkisi de çalışma kapsamına alınmıştır.

Dinamik analizlerin sonucu yapı performansları grafikler halinde sunularak değerlendirilmiş. Yapı performansını daha iyi gözlemleyebilmek için, yapıların son katlarının ve zemin katlarının temel seviyesine göre görece yer değiştirmeleri grafikler halinde sunulmuştur.

SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE AT ADAPAZARI SOIL

SUMMARY

Keywords: Soil-structure interaction, finite element method, dynamic analysis, viscous boundary conditions, Adapazari soil

In this study, the effects of soil characteristics to the reinforced concrete structures subjected to earthquake are researched. Some irregularities such as soft story, weak story and short column are the main reasons for collapsed or heavily damaged buildings subjected to earthquake. Soil-structure models are formed with the simulations of buildings, that have those irregularities and the effects of soil characteristics on the failure of buildings has been investigated.

For this purpose, time history analysis of the soil-structure models are carried out by using the finite element method. The response of 9 types of reinforced concrete structures, which have the same characteristics, are investigated at 5 different soil conditions. The effect of ground water was also included in the study.

Building performances, as a result of dynamic analysis, were presented as graphs and the results were discussed. Displacement of time histories for top story and ground story respect to base levels were presented as graphs to obtain more sophisticated building performance.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapıların statik analizlerinde temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Yapılara etkiyen deprem gibi dinamik bir yükleme olduğunda ise yapı, zemin ile birlikte hareket eder veya zeminle tamamen zıt yönde hareket ederek temelin bu dinamik etki süresince zemin üzerinde farklı konumlarda bulunmasına neden olur. Bu nedenle yapısal analizlerde temellerin ankastre kabul edilerek yer değiştirme ve dönmenin olmadığını kabul etmek yanlıştır.

Bu çalışmada ele alınan zemin-yapı modelinde zemine mesnetleme olduğu noktalarda çökme, yükselme veya dönmeler oluşabilmektedir. Deprem yükü altında zemin, deprem hareketini yapılara değiştirerek iletir. Bu değişiklik, etkiyi büyütme şeklinde olabilir. Depremi düşey bileşeninin yapıya etkimesi durumunda ise yapı yukarı doğru zeminden ayrılarak hareket edebilir. Zemin özellikleri yapının periyot ve mod şekillerini değiştirmektedir. Eğer yapı ile zemin periyotları çakışırsa yapıda oluşacak rezonanstan dolayı üstyapı çok büyük zorlanmalara maruz kalır. Bu nedenle yapıların zemin ile birlikte düşünülerek çözümlenmesi gerekir.

Yapı zemin etkileşimi yapının şekil değiştirmesinin zemin gerilmelerini, zeminin deformasyonunun da yapı iç kuvvetlerini etkilemesidir. Özellikle yumuşak ve orta sert zeminler yapılarda ilave kesit tesirleri ortaya çıkarmaktadır. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların tepe noktasındaki yer değiştirmeleri daha fazla olurken, orta sert zeminlerde ise zemin periyodu, yapı yüksekliğine bağlı olarak yapı periyodu ile sıklıkla çakışabilmektedir.

1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar

Lysmer ve Kuhlemeyer [1] vizkoz sınır şartları adını verdikleri bir yapay sınır modeli geliştirerek, yapı-zemin sisteminin dinamik analizlerinde kaynaktan saçılan dalgaların yapay sınırlara çarparak bir kısmının tekrar ortama yansımalarını engellemişlerdir, bu da yansımadan doğan hataları ortadan kaldırmıştır.

Bettess ve Zienkiewicz [2] çalışmalarında Sonsuz Eleman Modelini statik ve harmonik yükler için geliştirilmiştir. Bu yöntemi Medina [3], zemin yapı dinamik etkileşiminin modellenmesinde 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.

Parmelee [9] yapı ve zemin ortamının birlikte modellendiği direkt yöntemde, alt yapılara ayırma (alt sistem yaklaşımı) adı verilen bir yöntem 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 yöntemdir.

ZYE problemlerinin çözümü için araştırmacılar direkt yöntem ve altyapılar yöntemine dayalı birçok yöntem ileri sürmüşlerdir. Bunların en önemlilerinden birisi Wolf ve Song [12] tarafından zemin-yapı etkileşim problemlerine uygulanan Sonsuz Küçük Hücreli Sonlu Elemanlar Metodudur.

Kutaniş [13], çalışmasında zemin-yapı ortak sistemini, yakın bölgeye ve uzak bölgeye ayırmıştır. Bu bölgeler birbirlerini etkileşim ara kesiti ile ayırmaktadır. Çalışmasında sonlu elemanlar metodu ile dinamik analizler yaparak, yapı davranışının zemin ortamı ve üst yapının dinamik özelliklerine bağlı olmasının yanı sıra, ele alınan depremin gelişigüzel karakterine özellikle frekans içeriğine bağlı olduğunu da vurgulamıştır.

Pala [14], çalışmasında Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapı-zemin etkileşimini incelemiştir. Eğitilen YSA modelini kullanarak yapı davranışı üzerindeki farklı zemin özellikleri ve yerel zemin kalınlıklarının etkisini araştırmıştır. Zemin özellikleri, yerel zemin kalınlığı ve bina kat sayılarını değişken kullanarak analizler yapmış ve binaların son kat yatay yer değiştirme, ivme ve periyot değerlerinin değişimini incelemiştir. YSA kullanılarak yapılan zemin yapı etkileşim analizlerinde çözüm süresinin oldukça kısaldığını ve YSA'nın zemin-yapı etkileşim problemlerinin çözümünde çok iyi bir performans gösterdiğini vurgulamıştır.

Garip [15], çalışmasında deprem etkisindeki betonarme yapıların davranışına zemin özelliklerinin etkisini sonlu elemanlar metodu ile iki boyutlu ve lineer çözümlere yaparak incelemiştir. Yer altı su seviyesinin bulunması ve zemin kayma dalga hızının büyüklüğünün yapının yer değiştirmesinde etkili olduğunu gözlemlemiş, rezonansın önemli olduğu ve üst yapının rezonans olmayacak şekilde modellenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, yapıların performansına olumsuz etki yapan tasarım hatalarına ek olarak, deprem etkisi altında yapıların davranışına zemin koşullarının olumsuzluğunun etkileri araştırılmıştır. 17 ağustos 1999 Marmara depreminde Adapazarı merkezinde çok sayıda betonarme yapının aşırı hasar görmesi yada yıkılmasında zemin koşullarının önemli bir etkiye sahip olduğu bir çok raporda belirtilmiştir [16].

Bu amaçla, Adapazarı merkez bölgesinin zemin koşulları temel alınarak oluşturulan zemin-yapı modelinin zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dinamik analizleri yapılmıştır. Yumuşak zemin koşulları ile sert zemin koşullarını karşılaştırabilmek amacıyla Adapazarı il sınırı içinde bulunan ve Marmara depreminden nispeten daha az etkilenen Maltepe zemin koşullarına göre modellenen zemin-yapı modelinin dinamik analizleri de yapılmıştır. Zemin-yapı modeli kurulurken aynı rijitliğe sahip 9 farklı betonarme binanın 5 farklı zemin durumları için deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Adapazarı merkez bölgesinin

zemin yapısında YASS bulunduğundan YASS etkisi de çalışma kapsamı içine alınmıştır.

Dinamik analizlerin sonucunda çatı katı ve zemin kat seviyesindeki yapı yer değiştirmelerinin temel seviyesine göre görelî zaman tanım alanındaki değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca, Adapazarı merkezindeki yapıların davranışları Maltepe zeminindeki yapıların davranışına orantılanarak grafikler halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

Birinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgi ve daha önce yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, zemin-yapı etkileşimi problemi üzerinde durulmuş ve çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, deprem etkisi hakkında genel bilgi verilmiş ve analiz yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

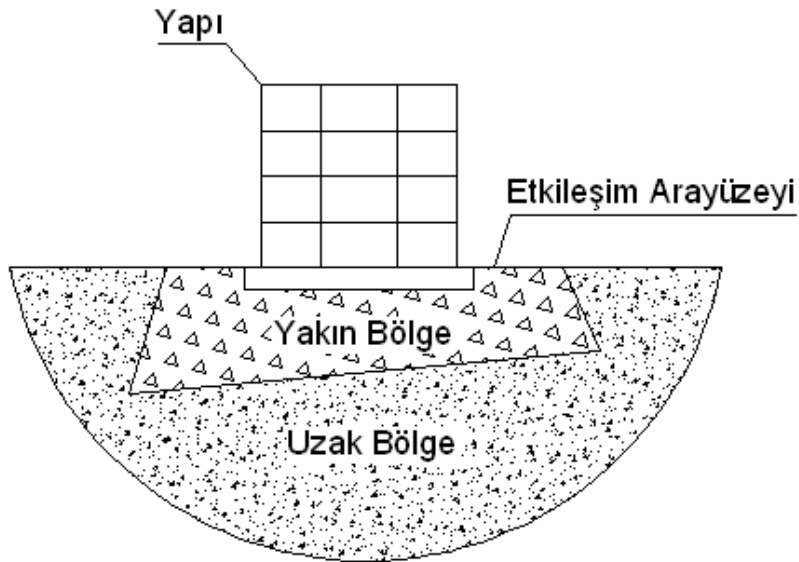
Dördüncü bölümde, seçilen 5 farklı zemin için 9 farklı yapı tipi kullanılarak oluşturulan zemin-yapı modellerinin dinamik analizleri 1999 Marmara deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik analiz sonucunda yapı davranışları yer değiştirmeler halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ

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 [17].

Zemin-yapı sisteminde yükleme ve kuvvetler, ortamlar aracılığıyla iletilir. Bu ortamlar hesaplama kolaylığı sağlamak için çeşitli gruplara ayrılır ve değişik şekillerde modellenirler (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Dinamik Sınırsız Ortam-Yapı Etkileşimi

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, yeraltı 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.

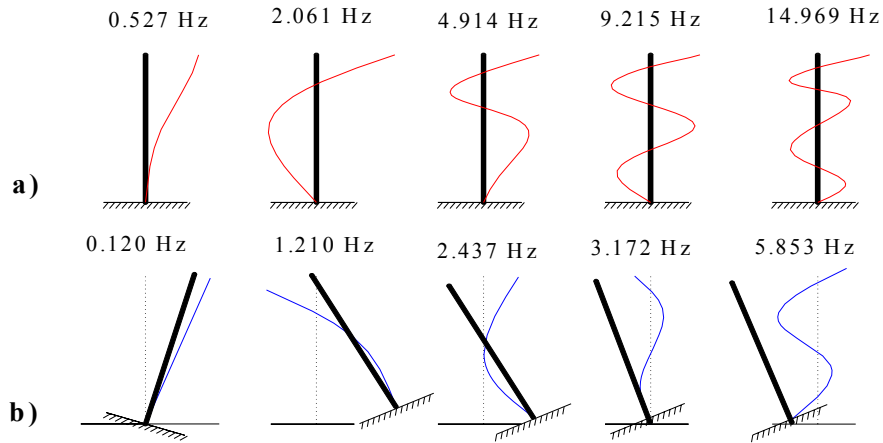
Sınırsız veya yarı sınırsız ortamların analizi yapılırken sınırlı ortam, sınırsız ortam ile birlikte düşünülür. Sisteme zamanla değişen bir yük etkideğinde yapı, dinamik olarak sınırsız ortam ile etkileşir. Sınırsız ortamlarda dinamik etkileşim analizi en iyi yapı - zemin etkileşim problemi ile karakterize 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 [18].

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 yüzüne 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 kulenin mod şekilleri ve frekansları verilmiştir [14]. 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

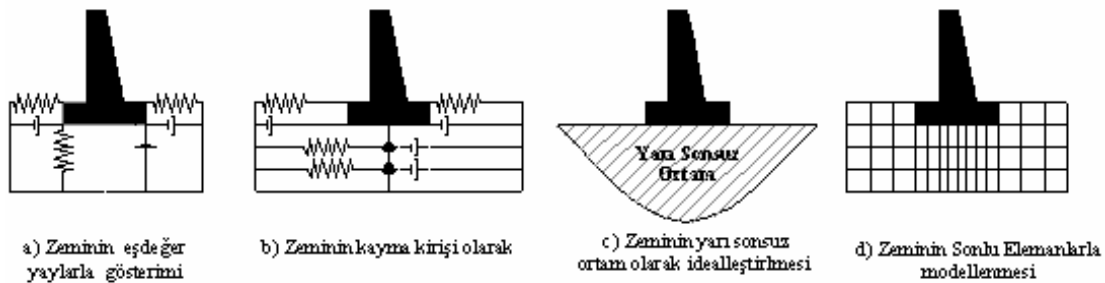
Tasarım aşamasında genellikle yapı zemine rijit bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yapının zemine rijit bağlı olarak dinamik çözümü, yapının onu çevreleyen zemin ile etkileşim halinde bulunmasından dolayı, tek başına yeterli değildir ve ZYE’nin göz önüne alınması gereklidir.

2.1. Zemin - Yapı Etkileşim Problemlerinde Çözüm Yöntemleri

Yapı dinamiği, yapıya etkiyen dinamik yüklerden dolayı yapıda oluşan kesit tesirleri, gerilme ve yer değiştirmelerin belirlenmesi ile ilgilidir. Bu değerlerin bulunması,

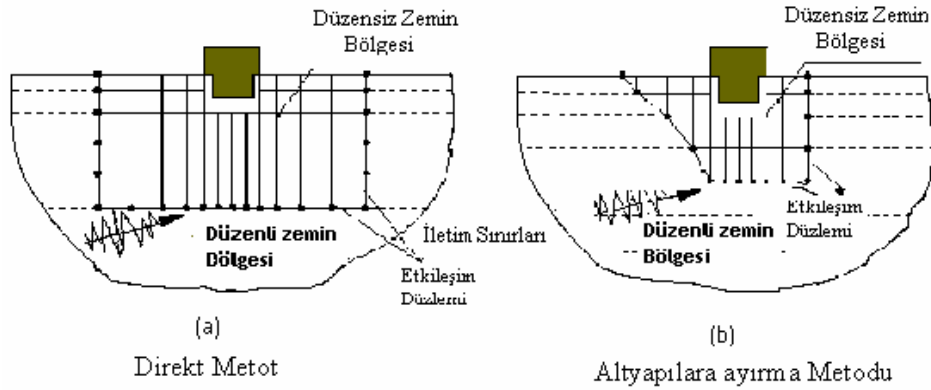
belirli sayıdaki serbestlik derecesine sahip dinamik modelin doğru olarak belirlenmesi ve uyum denkleminin genel çözümünün doğru olarak elde edilmesi ile mümkündür. ZYE problemi, sınırsız zemin ortamında dinamik enerjinin yayılması, zemin sönümünün histerik yapısı, yapının zeminin davranışını etkilemesi, 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 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, yarı sonsuz ortam 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 Yöntem 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 yöntem kullanılmıştır.

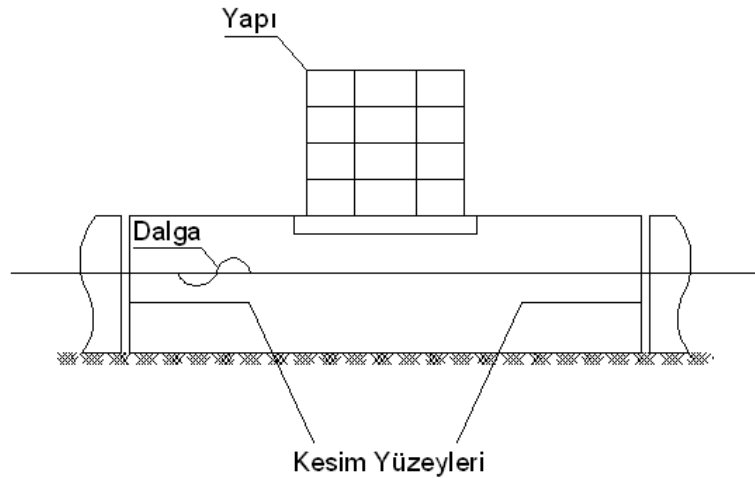


Şekil 2.4. Zemin Yapı Etkileşim Analiz Metotları [19]

2.1.1. 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 2.5) kesim yüzeylerine yarı sonsuz zeminin özelliklerini yansıtacak özel sınır şartları konur.



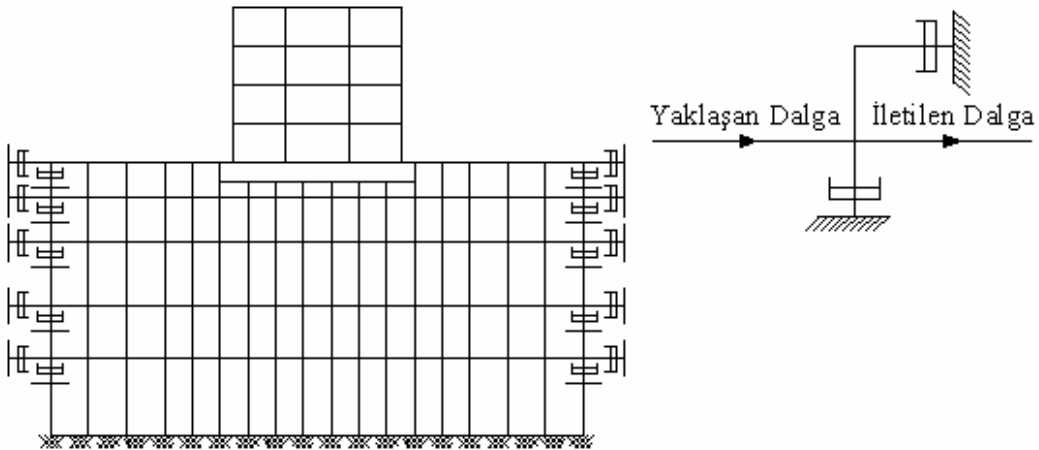
Şekil 2.5. Zemin Yüzeylerinin Kesilmesi

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[20].

Zemin kesim yüzeylerinde oluşan yapay sınırlardan enerji geçişini sağlayan bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir [1]. 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.

2.1.2. Viskoz sınır şartı

Bu çalışmada kullanılan direkt yöntemde zemin belirli bir uzaklıktan kesilmekte ve kaynaktan saçılan dalgaların kesim noktalarındaki yapay sınırlara çarparak bir kısmının tekrar zemin ortamına yansması gibi bir duruma neden olmaktadır. Bunun engellenmesi için viskoz sınır şartları 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 seçilmektedir (Şekil 2.6). Viskoz sınır şartının kullanılabilmesi için, düzlem dalga yayılışının izotrop ve lineer elastik bir ortamda gerçekleşmesi gerekmektedir.



Şekil 2.6. Direkt Yöntemde Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar)

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;

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

burada, ρ , zeminin yoğunluğu, 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).

Bu çalışmada, deprem hareketinin büyütme etkisi sonucu yapı davranışında oluşan olumsuzluklar yapıların yer değiştirmeleri ile gösterilmeye çalışılmıştır.

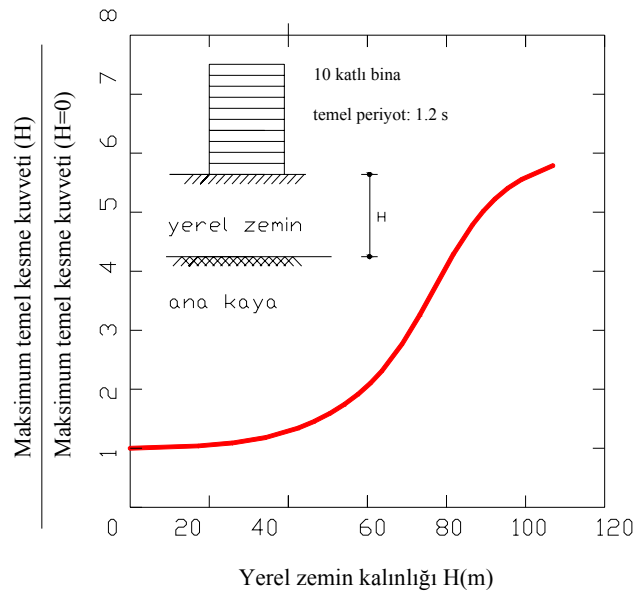
Tablo 2.1. Zemin Büyütmelerinin Zemin Türlerine Göre Değişimi

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

2.2.1. Yerel zemin kalınlığı

Yapı zemin hasarlarına etki eden önemli nedenlerden biri de yerel zeminlerin tabaka kalınlıklarıdır. Yerel zemin kalınlığı üst yapı elemanlarındaki yer değiştirme, ivme gibi değerlerin yanında maksimum taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentini de etkilemektedir (Şekil 2.7.).

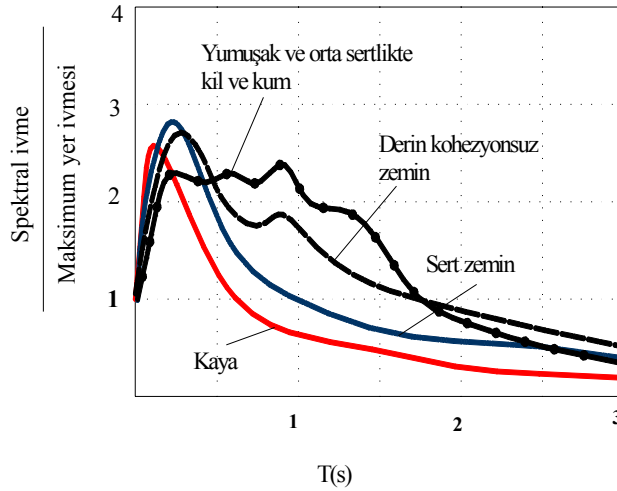


Şekil 2.7. Yerel Zemin Kalınlığının Maksimum Temel Kesme Kuvvetine Etkisi [22].

2.2.2. Zemin spektrumları

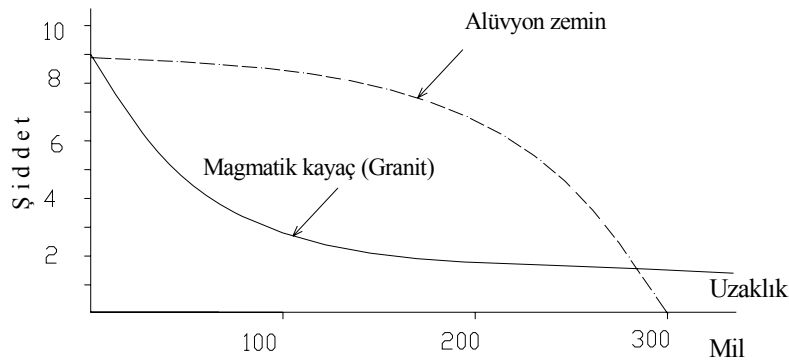
Farklı zeminler farklı spektrum eğrilerine sahiptir ve özellikle 0.5 saniyeden büyük periyotlarda spektrum eğrilerinde önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.8). Spektral değerlerin, yumuşak ve orta sertlikteki kil dolgusu ve kohezyonsuz zeminlerde, 0.5 sn'den büyük periyotlar için, sert zeminler 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 2.8. 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 2.9.). Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde deprem merkezinden (episantr) 50 mil ila 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 2.9 Farklı Zeminler İçin Deprem Şiddeti ve Episantr Uzaklığı Arasındaki İlişki

2.2.3. Zemin periyodu ve zemin özelliklerinin üst yapıya etkisi

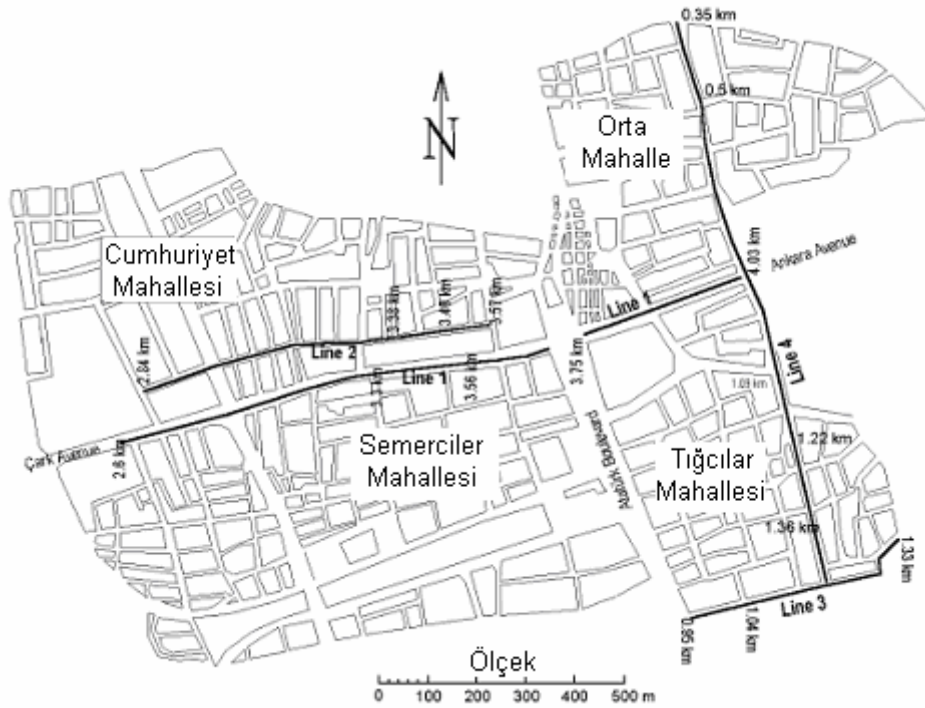
Yapı ve zemin kendi karakteristik özelliklerine bağlı olan periyotları ile deprem sonrası oluşan dalgaların etkisi ile salınma başlarlar. Eğer zemin ve yapı yaklaşık olarak aynı periyotta salınırlarsa yapılarda çok büyük hasarlara neden olur ve bu olay rezonans olarak bilinir. Salınım periyodu 0.6 sn 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 [23].

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 önerilmektedir. 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 [13].

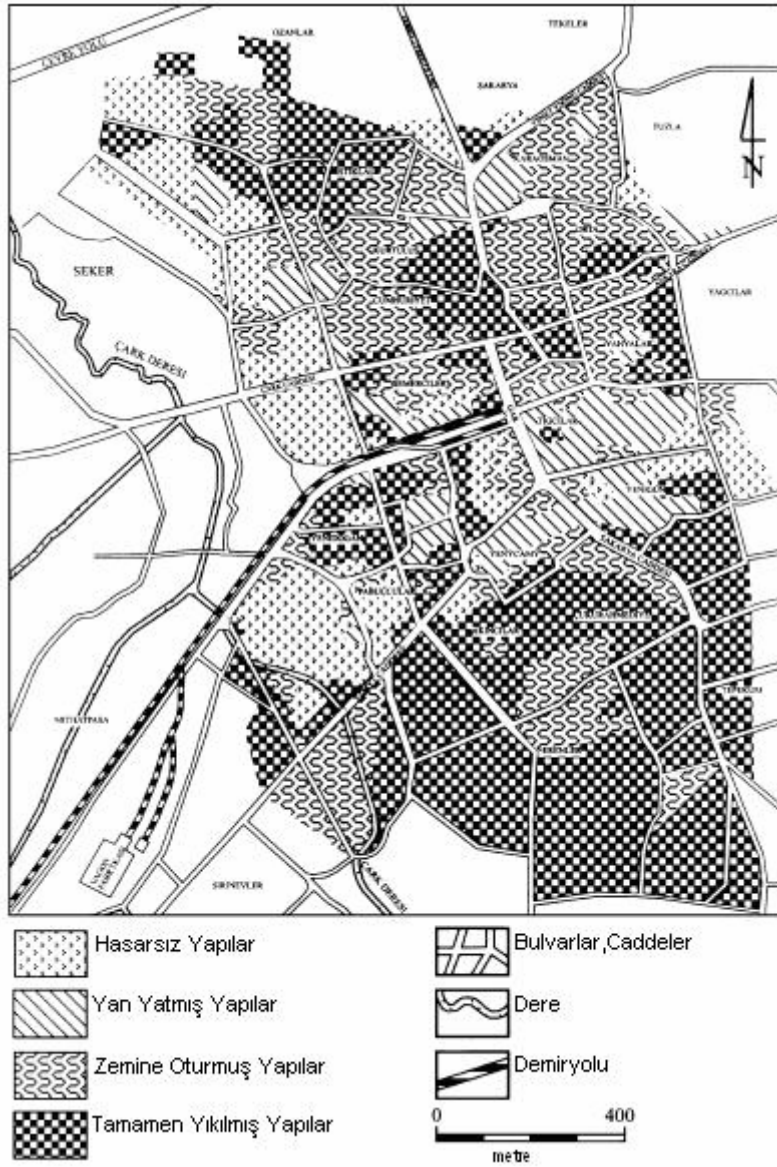
Ayrıca deprem dalgalarının periyotları merkez üssünden uzaklaştıkça büyüyerek yapılarda istenmeyen hasarlara yol açabilmektedir. Örneğin Meksika depreminde (1985), merkez üssünden 350 km uzakta bulunan yerleşim bölgelerinde çok katlı yapılarda büyük hasarlar oluşmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda, 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 [24].

2.3. Adapazarı Zemini ve Yapısal Özellikleri

1999 Marmara Depreminde, Adapazarı'ndaki yapılar zemin özelliklerinden ve tasarım hatalarında dolayı çok hasar görmüştür. Açıklanan verilere göre toplam 5078 yapı (%27) ciddi anlamda hasar görmüş veya yıkılmıştır [25]. Bu yapıların 1200'den fazlası Adapazarı'nın merkezinde bulunmaktadır (Şekil 2.10). Bunlara ilave olarak yüzlerce bina sivilaşma ve yumuşak zemin özelliği sonucu taşıma gücü kaybından dolayı yan yatmış veya zeminin içine göçmüştür (2.11).

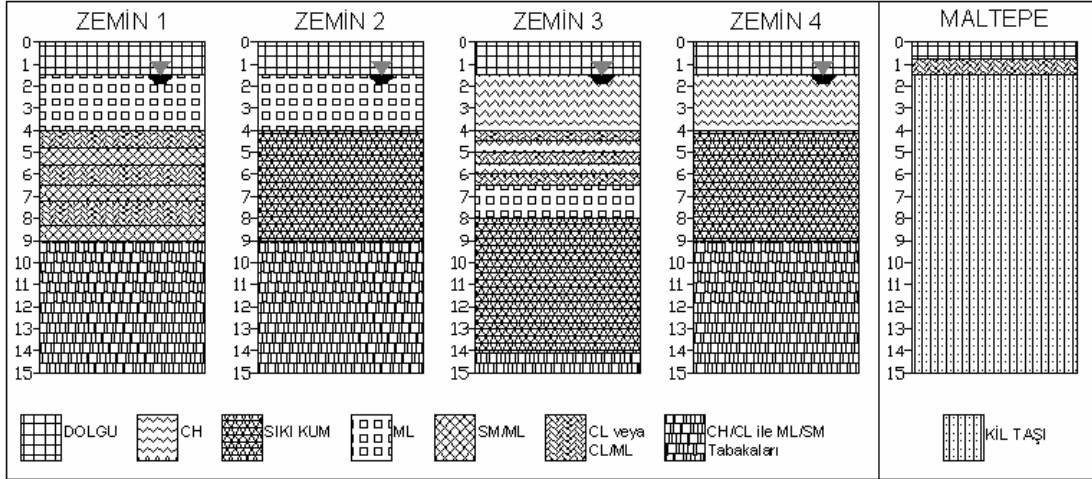


Şekil 2.10. Adapazarı'ndaki Merkezi Dört Mahalle



Şekil 2.11. Marmara Depremi Sonrası Adapazarı'ndaki Yapı Hasar Dağılımı

Deprem sonrası Adapazarı merkezinde yapılan araştırmalar sonucu arazi dört zemin tipine kategorize edilmiştir [16]. Bu çalışmadaki sayısal örneklerde bu zemin tipleri kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır (Şekil 2.12.).



Şekil 2.12. Adapazarı Merkezi'nin Genelleştirilmiş Zemin Profili

BÖLÜM 3. DİNAMİK ETKİ ve ANALİZİ

Bu çalışmada yapı-zemin modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri SAP2000 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde dinamik etki ve dinamik etkinin analiz yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

Her hangi bir yapı sisteminin analizinde öncelikle sistemin matematik modeli oluşturulur. Sistemin matematik modeli seçilirken en önemli kavramlardan biri serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi, bir yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısı olarak tanımlanabilir. Her ne kadar yapılar sürekli sistemlerse de, sistem ayrıklaştırılır. Bu ayrıklaştırmada genellikle kütle, kat seviyesinde toplu olarak göz önüne alınır ve çok serbestlik dereceli sistemler oluşturulur. Serbestlik derecesi belirlenen sistemin hareket denklemi, atalet kuvvetinin de eklenmesiyle sisteme etkiyen kuvvetlerin dengesi olarak yazılır.

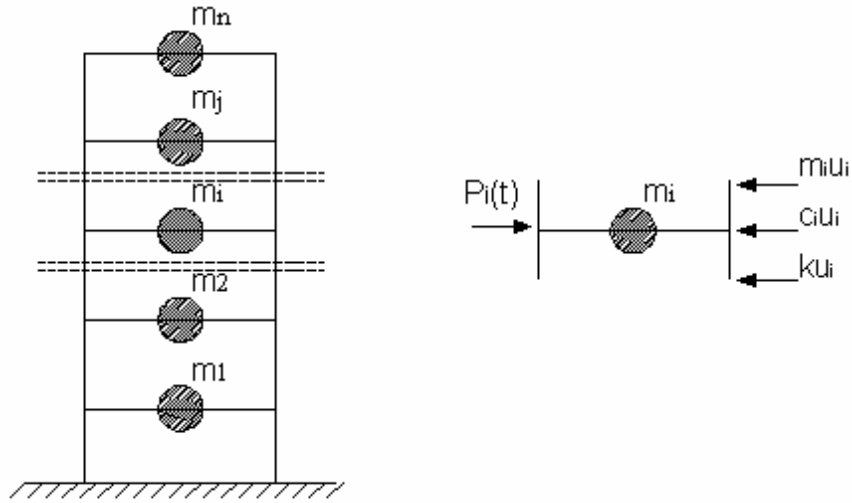
Yapılarda rüzgar ve depremden meydana gelen etkilerin belirlenmesi için kullanılan hesap yöntemleri iki ana sınıfa ayrılabilir. Bunlardan birinci sınıfa giren yöntemler, depremden meydana gelen etkilerin zamana bağlı değerlerini veya doğrudan doğruya bunların en büyük değerlerini belirlemeye yarayan dinamik yöntemlerdir.

İkinci sınıfa girenler ise rüzgar ve depremden meydana gelen maksimum etkileri veren fiktif statik kuvvetler belirleyerek dinamik problemleri statik probleme çeviren yöntemlerdir. Bu fiktif kuvvetlerin belirlenmesinde, yapının birinci hakim periyodundan yararlanılanlara yarı dinamik yöntemler, yararlanılmayanlara ise statik yöntemler denir.

3.1. Hareket Denklemi ve Sayısal Çözümü

Herhangi bir taşıyıcı sistemde dış yüklerin doğrultu veya şiddetlerinin zamanla değişmesi ya da taşıyıcı sistemin mesnetlerinin hareket etmesi durumunda, taşıyıcı sistemdeki kütlelerde atalet kuvvetlerinin oluşacağı ve sisteme dış yük gibi etki edeceği bilinmektedir.

Bina tipi yapılarda katlar hizasında kütleleri toplayarak, n katlı yapı için n adet ayrık kütleli bir sisteme dönüştürmek hesaplarda büyük bir basitleştirme sağlamaktadır. Yalnızca kat hizalarında öteleme serbestliklerinin söz konusu olması durumu için, bilinmeyen sayısı n adet dinamik yer değiştirme bileşimidir. Hareket denklemi sisteme etkileyen atalet kuvvetleri, sönüm etkileri ve şekil değiştirme sonucu meydana gelen elastik kuvvetlerle beraber dış kuvvetlerin dengesinden ibarettir [22]. Hareket denklemi yazılırken yatay rijitlik matrisinin oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 3.1. Dinamik Yatay Deprem Kuvveti Etkisindeki Yapı

Şekil 3.1. de yatay dinamik deprem kuvveti altındaki sistem incelenir ve i. kütle için hareket denklemi yazılırsa,

$$m_{ij} \ddot{u}_j + \sum_{j=1}^n c_{ij} \dot{u}_j + \sum_{j=1}^n k_{ij} u_j = P(t) \quad (3.1)$$

elde edilir. Bu denklemlerde atalet kuvveti bileşeni,

$$f_{ii} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \ddot{u}_j \quad (3.2)$$

sönüm kuvveti bileşeni;

$$f_{Di} = \sum_{j=1}^n c_{ij} \dot{u}_j \quad (3.3)$$

elastik kuvvet bileşeni;

$$f_{Si} = \sum_{j=1}^n k_{ij} u_j \quad (3.4)$$

olarak da gösterilebilir. Burada n , sistemin serbestlik derecesini, u_j ise j noktasındaki yer değiştirmeyi göstermektedir. Kütle, sönüm ve rijitlik kat sayıları, sırasıyla m_{ij} , c_{ij} ve k_{ij} ; olup bunlar yardımıyla j koordinatındaki birim ivme, hız ve yer değiştirmeden i koordinatında meydana gelecek atalet, sönüm ve elastik kuvvetleri bulunmaktadır. $P_j(t)$ ise j noktasına etkiyen dış kuvvete karşı gelmektedir. Sonuç olarak sistemin hareket denklemi;

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = p(t) \quad (3.5)$$

olarak ortaya çıkar. Burada m ; kütle, c ; sönüm, ve k ; rijitlik matrislerini, u ise yer değiştirme vektörünü göstermektedir.

$$m = [m_{ij}] , c = [c_{ij}] , k = [k_{ij}] , u = [u_i] \quad (3.6)$$

Rijitlik matrisinin k_{ij} elemanı, denklem (3.4) de verildiği gibi u_j yer değiştirme bileşeninin f_{Si} elastik kuvvet bileşenine olan etkisini göstermektedir. Bu bağıntı

$$u_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} f_{sj} \quad (3.7)$$

olarak da yazılabilir. Burada d_{ij} , j noktasına etkiyen bir kuvvetten, i noktasında meydana gelen yer değiştirmeyi göstermektedir. Bu bağıntıda

$$d = [d_{ij}] = k^{-1} = [k_{ij}]^{-1} \quad (3.8)$$

şeklinde tanımlanan matris sistemin esneklik (fleksibilite) matrisi denir [22].

3.2. Serbest Titreşim

Deprem etkisindeki yapılarda, sönümün periyot ve modlara etkisi söz konusudur. Bu nedenle sönüm etkisi zorlanmış titreşimde ihmal edilmemelidir. Ama deprem gibi dış kuvvetin söz konusu olmadığı serbest titreşim halinde sönümün periyot ve modlara etkisi az olduğundan hareket denklemi serbest titreşim halinde $c=0$ alınarak;

$$m\ddot{u} + k u = 0 \quad (3.9)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözümünün

$$u(t) = \bar{u} \sin(\omega t + \theta) \quad (3.10)$$

şeklinde basit harmonik hareket olduğu kabul edilip, (3.9)'da yazılırsa

$$(k - \omega^2 m) \bar{u} = 0 \quad (3.11)$$

veya (3.8)'de verilen $d = k^{-1}$ fleksibilite matrisiyle

$$(I - \omega^2 d m) \bar{u} = 0 \quad (3.12)$$

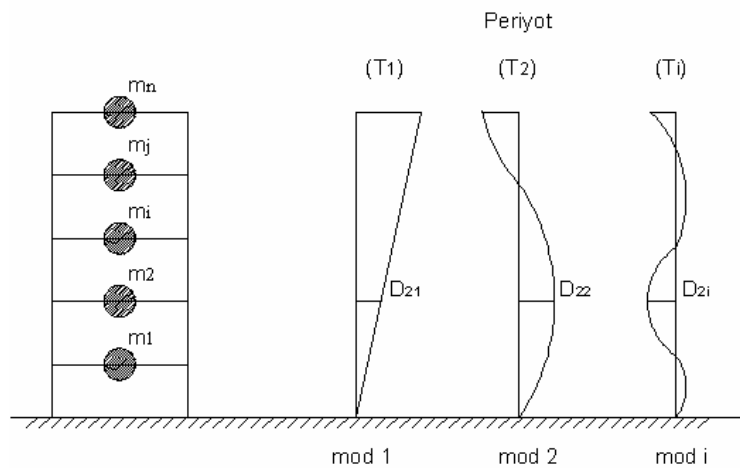
homojen lineer denklem sistemi elde edilir. Bu sistemin sıfırdan farklı çözümü ancak katsayılar matrisinin determinantının sıfır olmasıyla mümkündür.

$$|k - \omega^2 m| = 0, |I - \omega^2 dm| = 0 \quad (3.13)$$

Elde edilen bu son ifadeye sistemin frekans denklemi denir. Bu denklemin çözümünden, sistemin serbestlik sayısı kadar; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ ile gösterilebilecek serbest titreşim frekansı elde edilir. Homojen (3.11) veya (3.12) denklemi, $\omega = \omega_i$ şeklindeki her serbest titreşim frekansı için ayrı ayrı $\bar{u} = \theta_i$ alınarak çözülebilir. Bu amaçla lineer homojen olan bu n bilinmeyenli denklemin bilinmeyenlerinden bir seçilerek n-1 bilinmeyene indirilmesi ve n-1 bilinmeyen bu seçilen bilinmeyen cinsinden hesaplanması gerekir.

$$(k - \omega^2 m)\phi_i = 0 \quad (I - \omega^2 dm)\phi_i = 0 \quad (3.14)$$

Böylece elde edilen ϕ_i vektörüne söz konusu titreşim frekansına karşı gelen serbest titreşim mod şekli denir. Her sistemin serbestlik derecesi kadar mod şekli vardır: $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$. Buradaki ϕ_i nin elemanları yer değiştirmelere karşı geldiği için mod şekli, sistemin karşı gelen frekansla titreşimi sırasında aldığı konumu verir.

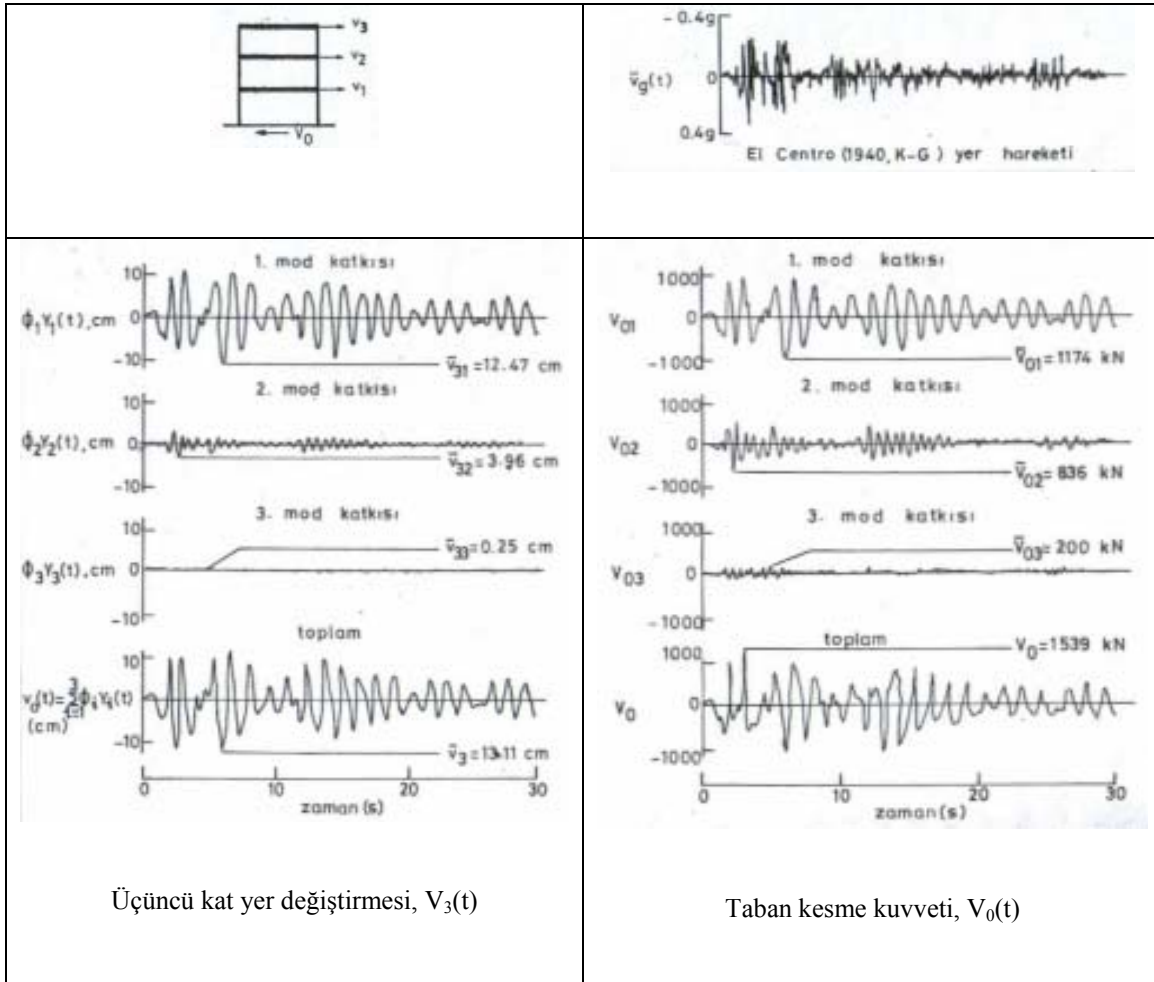


Şekil 3.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistem Mod Şekilleri

3.3. Modların Süperpozisyonu Yöntemi

Deprem etkisindeki çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışlarını belirlemek tek serbestlik dereceli sistemlere göre daha karmaşıktır. Bu karmaşıklığı aşmak için yaygınla kullanılan mod süperpozisyonu yönteminin de, çok serbestlik dereceli ve çok modlu bir sistemi, birçok eşdeğer tek modlu sistemlerin süperpozisyonu şeklinde temsil edilmektedir.

Çok modlu sistem, ilgili mod hesaplanırken tek serbestlik dereceli bir sistem gibi düşünülür. Her bir mod için yapının davranışı belirlenir ve elde edilen değerler uygun bir oranda süperpoze edilerek yapının olası davranışı belirlenir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Üç Katlı Bir Çerçevenin Deprem Hareketi Altındaki Davranışı [26]

Üç katlı bir çerçeve için ($n=3$) El Centro depremi kullanılarak modların süperpozisyonu yöntemi ile elde edilmiş sonuçlar Şekil 3.3'de verilmiştir. Üçüncü

katın yer değiştirmesine, sıra ile üç titreşim modundan gelen katkılar ayrı ayrı hesaplanmış ve toplam da ayrıca verilmiştir. Benzer şekilde taban kesme kuvveti de atalet kuvvetlerinin toplamı olarak

$$V_0(t) = \sum_{i=1}^n f_{si}(t) \quad (3.15)$$

faklı modların etkisini de göstermek üzere hesaplanarak gösterilmiştir. Burada sistemin davranışına her bakımdan birinci (hakim) modun etkili olduğu görölmektedir. Mod sayısı yükseldikçe, söz konusu modun tüm davranışa olan katkısının azaldığı görölmektedir [26].

Mod süperpozisyonu yönteminde çok serbestlik dereceli sistemin yer değiştirmeleri;

$$u = \phi y \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilir. Burada y genelleştirilmiş koordinatlardır.

3.18 denklemi 3.1 denkleminde yerine ve elde edilen ifade ϕ^T ile önden çarpılırsa;

$$\phi^T m \ddot{\phi} y + \phi^T c \dot{\phi} y + \phi^T k \phi y = -\phi^T m \ddot{u}_g(t) \quad (3.17)$$

ifadesi elde edilir. Ortogonallik şartına göre i ve j mod numaralarını belirtmek üzere her $i \neq j$ için;

$$\phi_i^T m \phi_j = 0 \quad (3.18)$$

$$\phi_i^T c \phi_j = 0 \quad (3.19)$$

$$\phi_i^T k \phi_j = 0 \quad (3.20)$$

yazılabilir. Ortogonallik özelliği kullanılarak 3.17 denklemi tekrar yazılırsa;

$$\phi_i^T m \phi_i \ddot{y}_i + \phi_i^T c \phi_i \dot{y}_i + \phi_i^T k \phi_i y_i = -\phi_i^T m \delta \ddot{u}_g(t) \quad (3.21)$$

elde edilir. Burada ;

$$\phi_i^T m \phi_i = m_i \quad (3.22)$$

$$\phi_i^T c \phi_i = c_i = 2\xi_i \omega_i m_i \quad (3.23)$$

$$\phi_i^T k \phi_i = k_i = \omega_i^2 m_i \quad (3.24)$$

eşitlikleri yazılabilir. Burada ξ_i . mod için sönüm oranı, m_i i'inci genelleştirilmiş kütedir. 3.21 denklemini düzenlenerek m_i 'ye bölünürse;

$$\ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\frac{\phi_i^T m}{m_i} \delta \ddot{u}_g(t) \quad (3.25)$$

ifadesi bulunur. 3.25 denkleminde i. modun katkı faktörü;

$$P_i = \frac{\phi_i^T m \delta}{m_i} \quad (3.26)$$

ifadesi ile gösterilir. 3.25 denklemini çözülerek $\omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$ yerine ω_{di} yazılırsa;

$$y_i = \frac{1}{\omega_{di}} \frac{\phi_i^T m \delta}{m_i} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \omega_{di} (t-\tau) d\tau \quad (3.27)$$

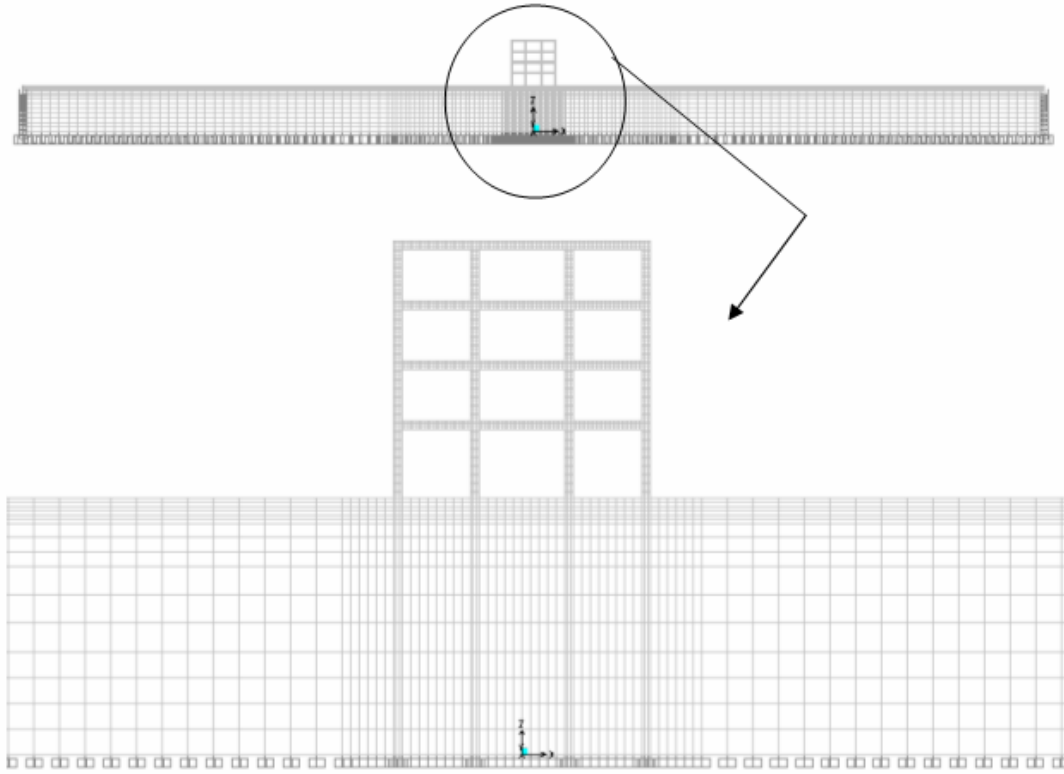
bulunur. Buradan da modal yer değiştirme vektörü;

$$u_i = \phi_i y_i \quad (3.28)$$

olarak elde edilir [27].

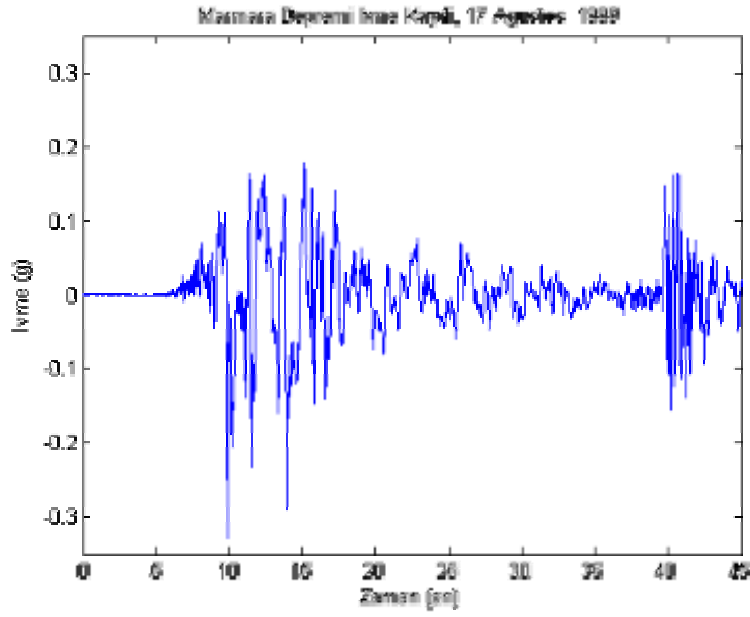
BÖLÜM 4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu çalışmada, deprem etkisindeki betonarme binaların davranışına zeminin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 45 farklı yapı-zemin modelleri kurulmuş ve zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır (Şekil 4.1).



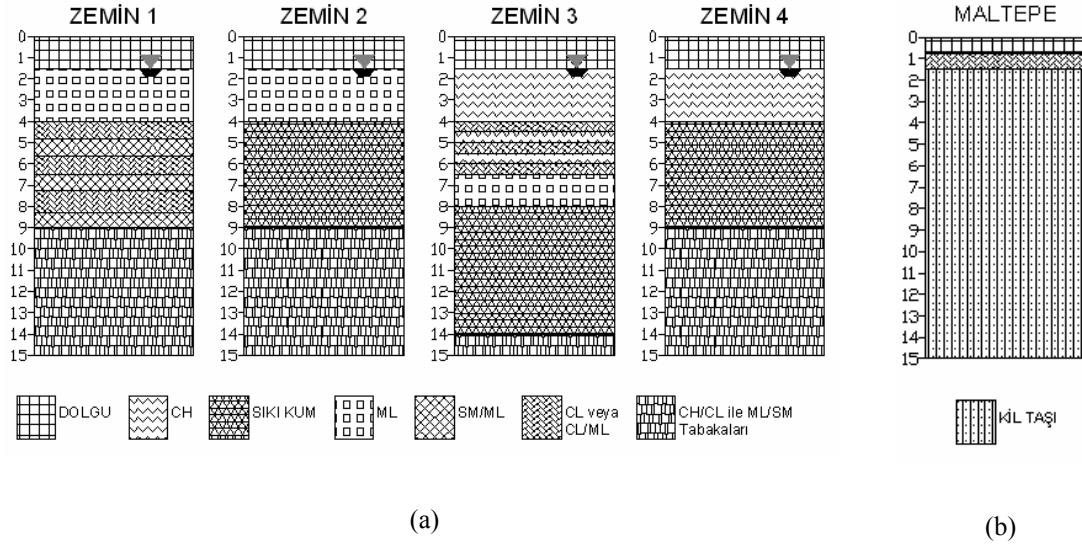
Şekil 4.1 Yapı-Zemin Modelinin Sonlu Eleman Modeli (SAP2000)

Yapı-zemin modelleri kurulurken 5 farklı zemin ve 9 farklı üstyapı modeli seçilmiş ve toplam 45 farklı yapı-zemin modelinin zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Yapı- modellerinin tamamında 1999 Marmara depremi ivme kaydı (Şekil 5.2) kullanılmış ve dinamik analizleri SAP2000 paket programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.2 Dinamik Analizlerde Kullanılan Marmara Deprem Kaydı (Yarımcı-Petkim)

Bu çalışma Adapazarı zemininiyle sınırlı tutulmuş, zemin modelleri kurulurken Adapazarı'nın genelleştirilmiş zemin profili baz alınmış, Sancio ve arkadaşlarının [16] yapmış olduğu çalışmadan yararlanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Adapazarı Merkezinin Genelleştirilmiş Zemin Profili ve Maltepe Zemin Profili

Tablo 4.1. Zeminlerin Genel Karakteristikleri [28]

Tanımı	Elastisite modülü, E (Mpa)	Zeminin Yoğunluğu, ρ (kN/m ³)	Poisson oranı, ν	Zemin Kayma Dalgası Hızı (m/sn)
CL veya CL/ML	15	17.16	0.45	60
ML	13	17.16	0.45	60
CL	50	19.62	0.40	60
Dolgu	15	17.16	0,45	100
CH	50	20.30	0,40	100
CH/CL ile ML/SM	56	19.62	0.40	100
Sıkı Kum	120	19.62	0,33	150
SM/ML	70	17.16	0.33	150
KİL TAŞI	1200	19.62	0.45	500

Üst yapı modelleri kurulurken, zayıf kat, yumuşak kat ve kısa kolon gibi yaygın olarak rastlanan hasar tipleri temel alınmış ve 3 farklı model tipi belirlenmiştir. Aynı zamanda zemin kat yüksekliğinin normal kat yüksekliklerinden farklı olması olumsuzluğu da çalışma kapsamına alınmıştır (Tablo 4.2). Zayıf kat hasarını göstermek amacıyla Model A tipi yapı modeli seçilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Zayıf Kat (Zemin Kat) Bulunan Yapı Tipi

Yumuşak kat hasarını göstermek amacıyla Model B tipi yapı modeli seçilmiştir (Şekil 4.5). Kısa kolon hasarını göstermek amacıyla Model C tipi yapı modeli seçilmiştir (Şekil 4.6)



Şekil 4.5 Yumuşak Kat Hasarı



Şekil 4.6 Kısa Kolon Hasarı

Tablo 4.2 Üst Yapı Model Tipleri

Modeller	Tanım	Kat Yükseklikleri	
		Zemin Kat	Normal Kat
Model A	Zayıf Kat (Şekil 5.4)	4m	3x3m
		5m	3x3m
		4m	5x3m
Mode B	Yumuşak Kat (Şekil 5.5)	3m	3x3m
		5m	3x3m
		3m	5x3m
Model C	Kısa Kolon (Şekil 5.6)	3m	3x3m
		5m	3x3m
		3m	5x3m

Üstyapı modellerinin tamamında elastisite modülü $E=28$ GPa, poisson oranı $\nu=0.20$ ve birim hacim ağırlığı $\rho=25$ kN/m³ olarak seçilmiştir. Kolon boyutları 50x50 cm,

kiriş boyutları ise 25×50 cm dir. Yapıya etki eden sabit yük 2,0 kN/m² ve hareketli yük de 1,5 kN/m² olarak alınmıştır. Zemin altyapı modeli kurulurken yer altı su seviyesinin (YASS) bulunması ve bulunmaması durumu da dikkate alınmıştır; Maltepe zemini dışındaki bütün zemin tiplerinde yer altı su seviyesi (YASS) 1.5m’de gözükmemektedir (Şekil 4.3). Maltepe zemini tipinde gözönüne alınan katmana kadar YASS olmadığı varsayılmıştır.

Yapı-zemin modellerinin dinamik analizler yapılırken tamamında aşağıdaki varsayımlar kullanılmıştır ;

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

4.1. Üst Yapının Modellenmesi

Zemin-yapı etkileşimi analizlerinin genelinde alt yapı yüzey (shell) eleman, üst yapı ise çubuk (beam) eleman kullanılarak modellenir. Ama bu çeşit modellemelerde üst yapı ile alt yapı arasında uyum problemi çıkar. Çünkü, iki boyutlu yüzey elemanın rijitlik matrisi 4x4 boyutunda iken, çubuk elemanın rijitlik matrisi 6x6 boyutundadır. Yapı-zemin modelinin geliştirilmiş rijitlik matrisi kurulurken bu farklılıktan dolayı sonuçlarda uzaklaşmalar oluşur. Bu çalışmada bu problemi önlemek amacıyla, yapı-zemin modelinin tamamı yüzey eleman olarak seçilmiş ve modeller oluşturularak dinamik analizleri yapılmıştır.

4.2. Alt Yapının (Zemin) Modellenmesi

Yapı-zemin modelinin alt yapısının (zemin) tabaka kalınlığı 15m’dir. Tabaka genişliği ise üst yapı temelinin sağından ve solundan temel genişliğinin 10 katı kadar uzatılarak seçilmiştir. Temel genişliği 15m’dir, dolayısıyla zemin tabaka genişliği de

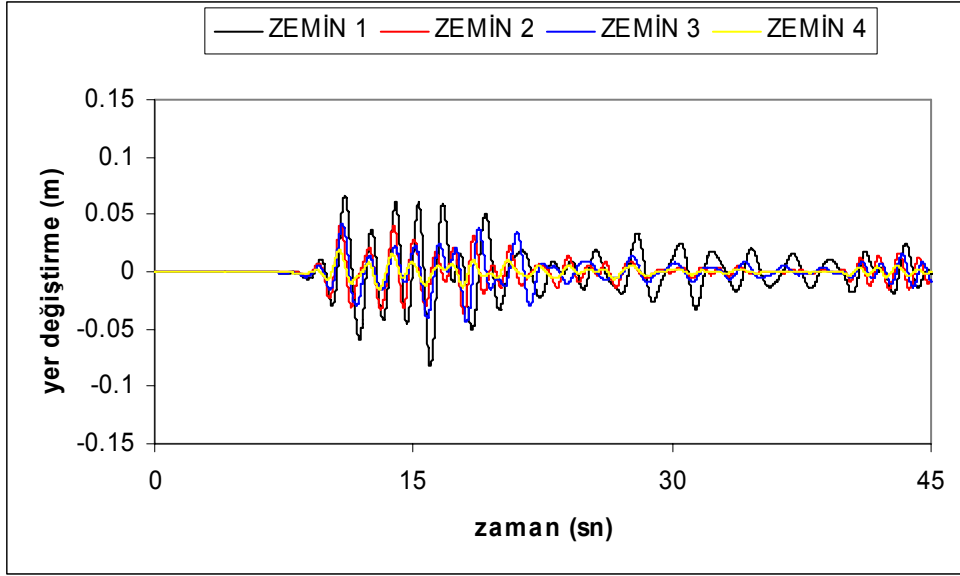
315m olarak seçilmiştir. Zemin modelinin tabanının kaya zemine oturduğu ve dolayısıyla ankastre mesnetli olarak kabul edilmiştir.

Yapı-zemin modelinde deprem etkisinin zemin duvarlarından yansıyarak tekrar yapı-zemin modeli ortamına dönmesini engellemek amacıyla viskoz sınır şartı uygulanmıştır. Viskoz sınır şartı değerlerini belirleyebilmek amacıyla ilgili noktalara bir birimlik kuvvet uygulanarak o noktadaki yer değiştirmeler ölçülmüş ve efektif rijitlik hesaplanmıştır. Efektif sönüm hesaplanırken farklı zemin tabakalarının tamamı için ayrı ayrı değerler bulunmuştur.

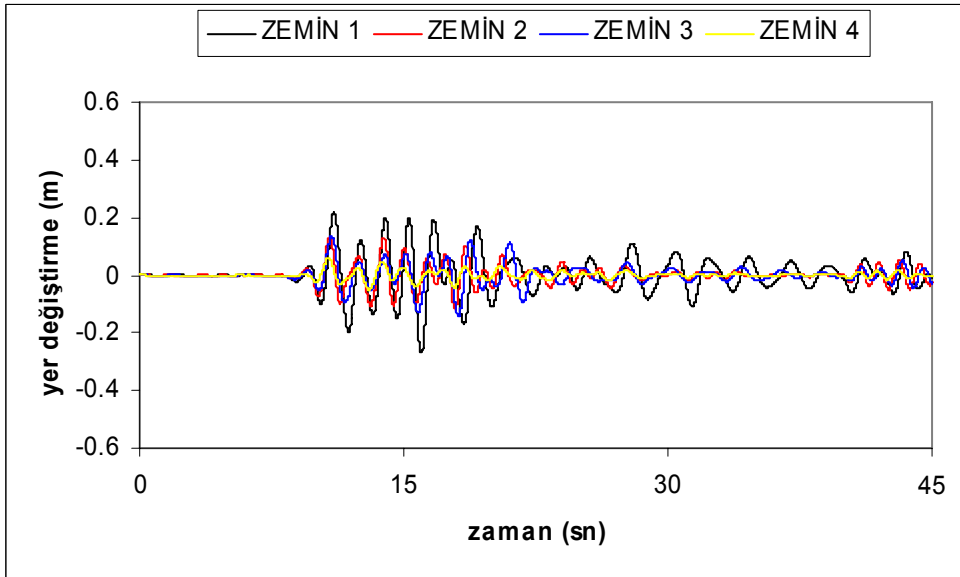
4.3. Yapı-Zemin Modellerinin Zaman-Tanım Alanındaki Yer Değiştirmeleri

Dinamik analizleri yapılan yapı-zemin modellerinin davranışları grafikler halinde aşağıda sunulmuştur. Bu grafiklerde zemin kat ve çatı katın temel seviyesine göre görelî yer değiştirmeleri grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışları oranı da sunulmuştur.

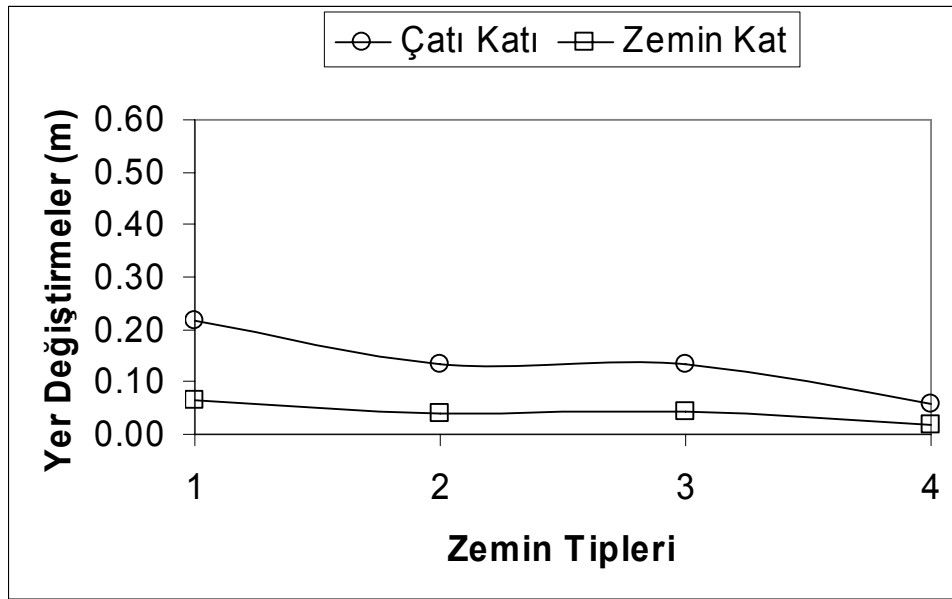
4.3.1. Model A yapıları



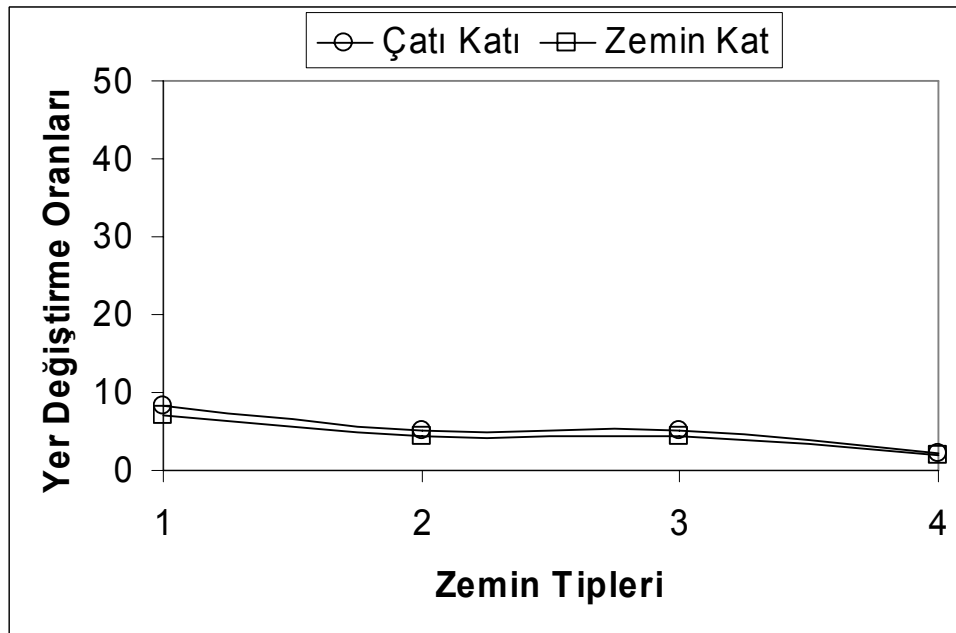
Şekil 4.7. Model A1 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.8. Model A1 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.9. Model A1 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.10. Model A1 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Zayıf kat üst yapı modelinin (Model A), zemin kat yüksekliği $h_z=4\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+3 katlı yapı modelinin (A1 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.7 ve 4.8’de, maksimum değerler Şekil 4.9’da sunulmuştur.

Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

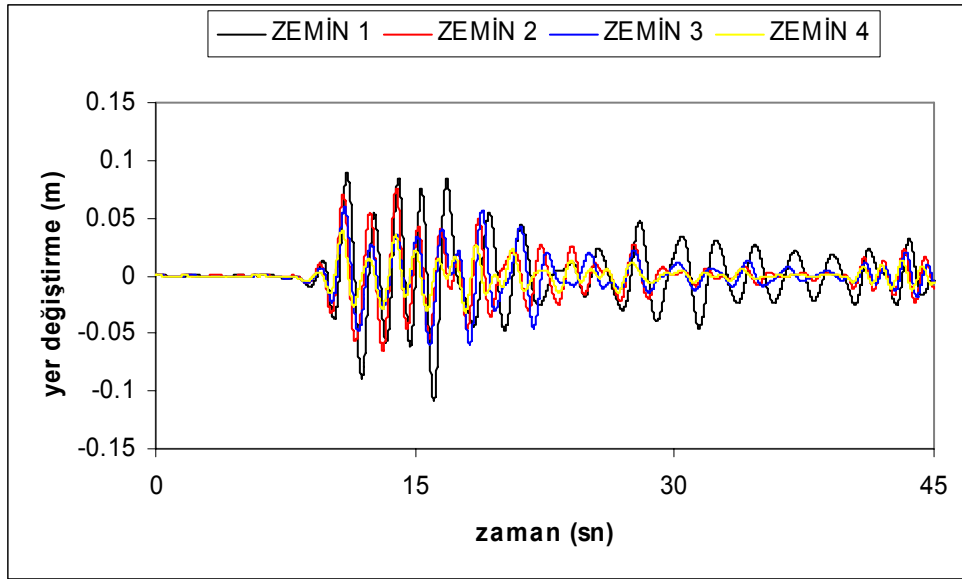
- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.216m, zemin 2 tipinde 0.132m, zemin 3 tipinde 0.135m, zemin 4 tipinde 0.0595m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0659m, zemin 2 tipinde 0.0408m, zemin 3 tipinde 0.0416m, zemin 4 tipinde 0.0188m olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.10’da çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

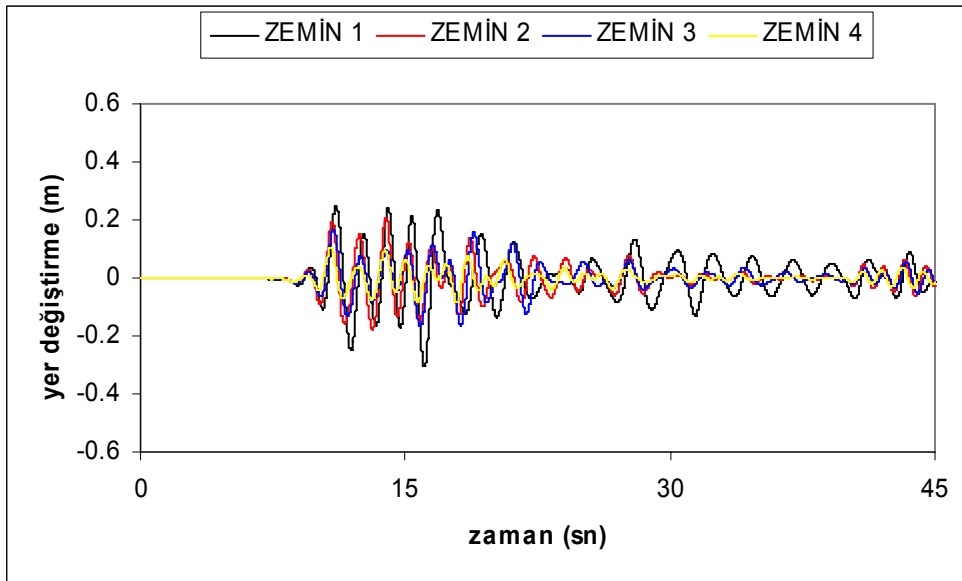
Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 9 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 5 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 6 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 2.5 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.

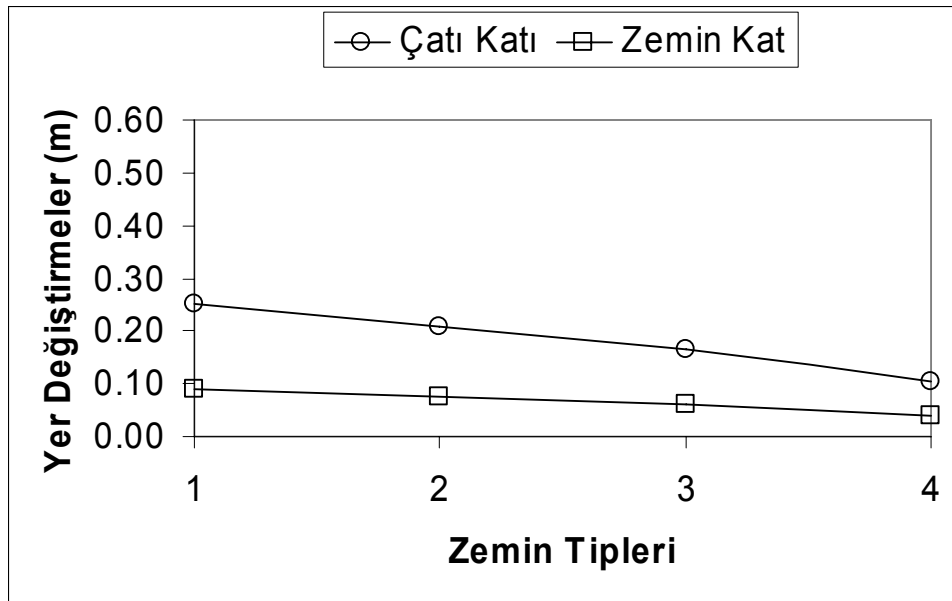
En büyük yer değiştirmeler zemin 1 tipinde görülmektedir. Maltepe zemininde yeraltı suyu bulunmadığı için diğer zemin tiplerine göre yer değiştirme değerleri oldukça düşüktür.



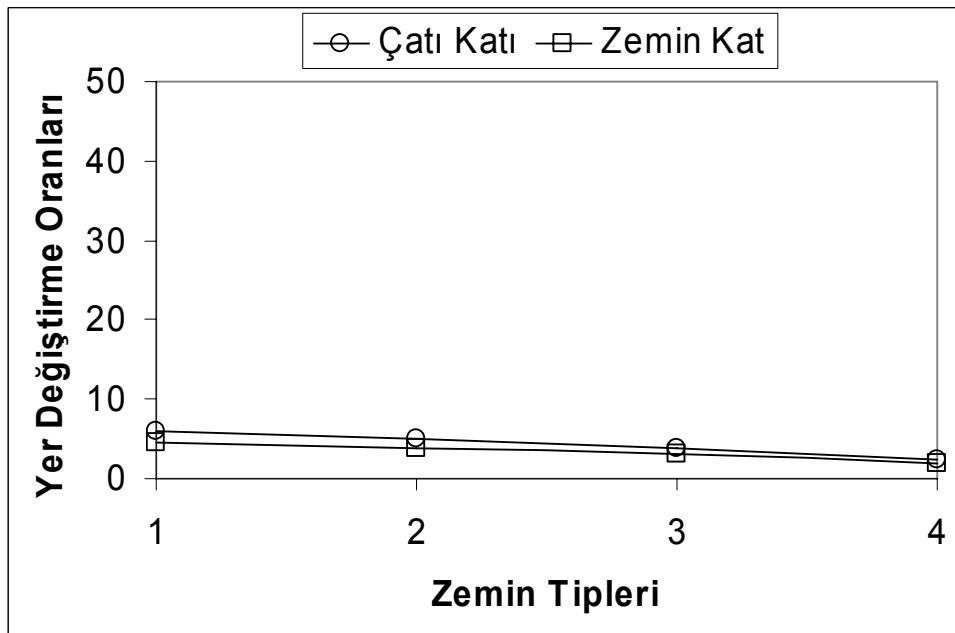
Şekil 4.11. Model A2 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.12. Model A2 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.13. Model A2 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.14. Model A2 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Zayıf kat üst yapı modelinin (Model A), zemin kat yüksekliği $h_z=5\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+3 katlı yapı modelinin (A2 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de, maksimum değerler Şekil 4.13.’de sunulmuştur.

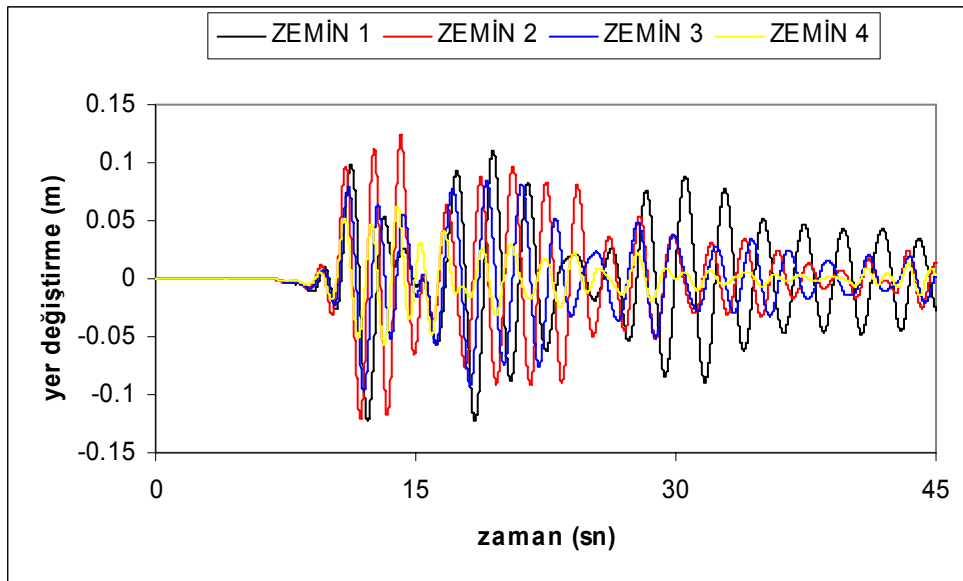
Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

- çatı katı için zemin 1 tipinde 0.251m, zemin 2 tipinde 0.210m, zemin 3 tipinde 0.167m, zemin 4 tipinde 0.105m olduğu;
- zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0895m, zemin 2 tipinde 0.0760m, zemin 3 tipinde 0.0602m, zemin 4 tipinde 0.0391m olduğu gözlenmektedir.

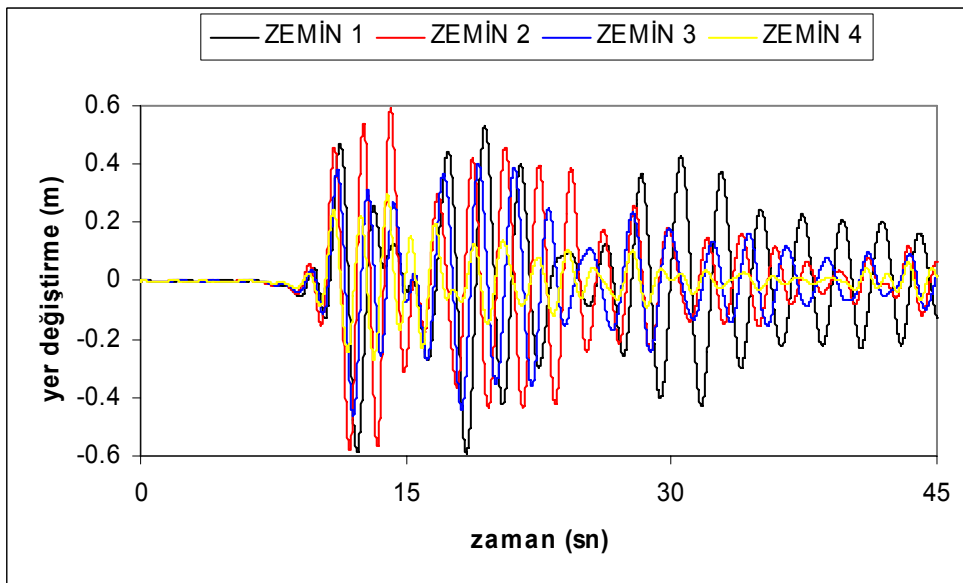
Şekil 4.14’de çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

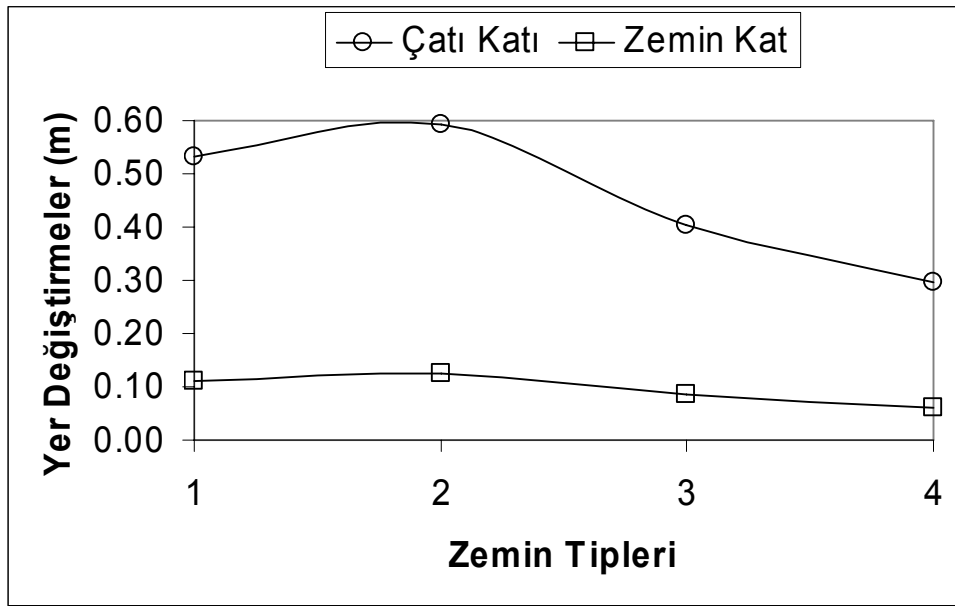
- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 6 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 5 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 4 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 2.5 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.



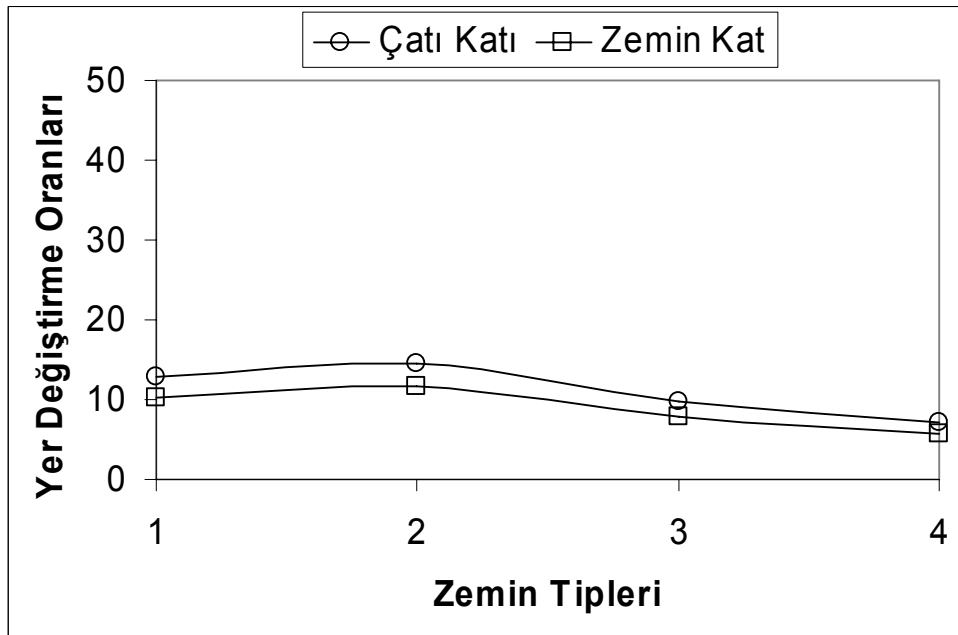
şekil 4.15. Model A3 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



şekil 4.16. Model A3 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.17. Model A3 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.18. Model A3 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Zayıf kat üst yapı modelinin (Model A), zemin kat yüksekliği $h_z=4m$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3m$ olduğu zemin+5 katlı yapı modelinin (A3 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da, maksimum değerler Şekil 4.17.'de sunulmuştur.

Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

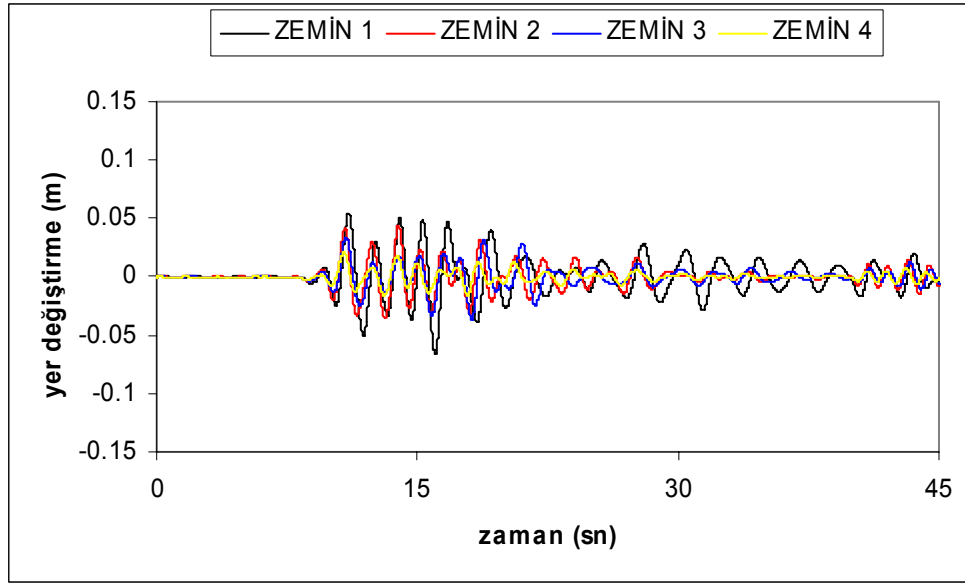
- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.531m, zemin 2 tipinde 0.592m, zemin 3 tipinde 0.402m, zemin 4 tipinde 0.296m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.110m, zemin 2 tipinde 0.0124m, zemin 3 tipinde 0.0841m, zemin 4 tipinde 0.0622m olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.18'de çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

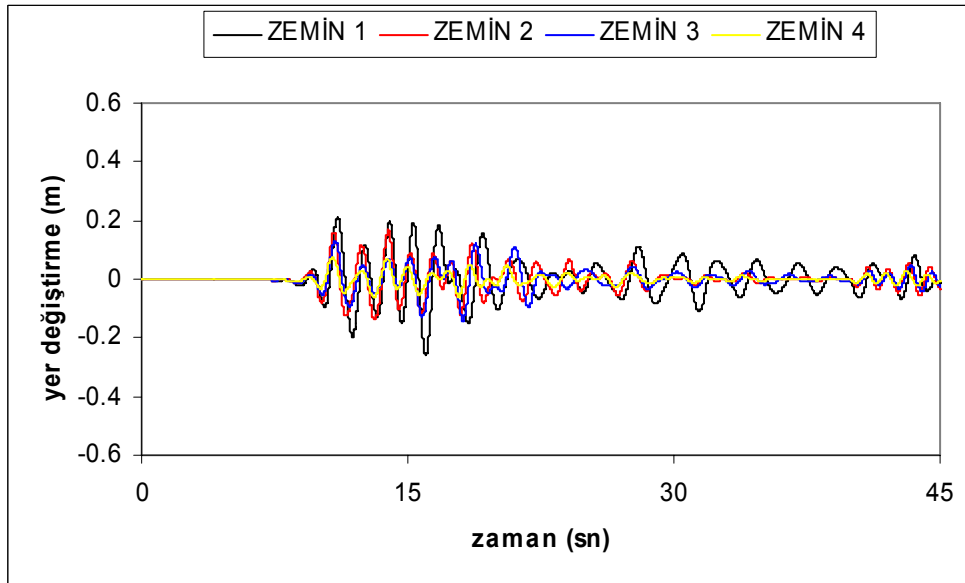
Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 12 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 15 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 10 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 9 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.

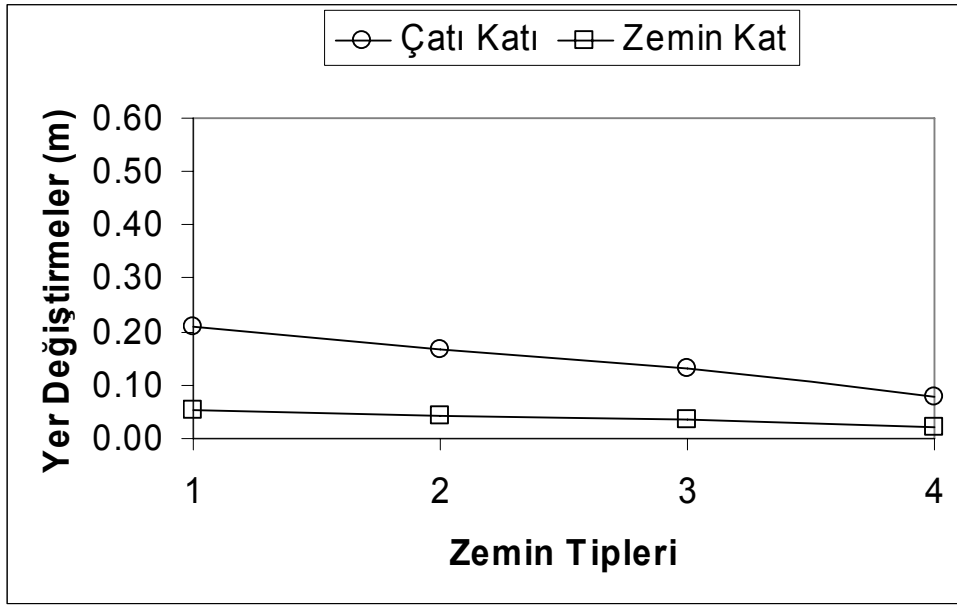
4.3.2 Model B yapıları için



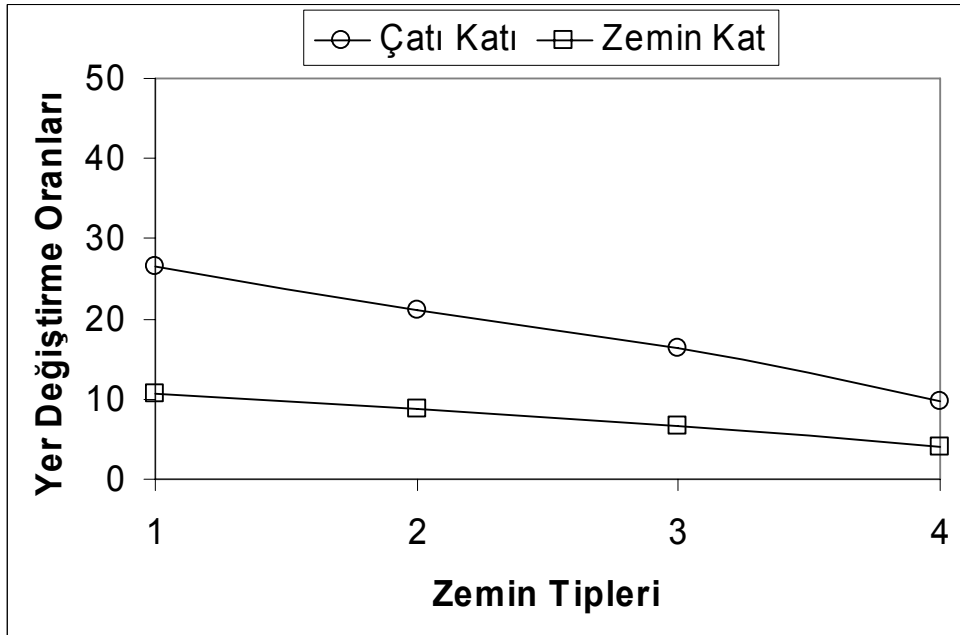
Şekil 4.19. Model B1 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.20. Model B1 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.21. Model B1 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.22. Model B1 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Yumuşak kat üst yapı modelinin (Model B), zemin kat yüksekliği $h_z=3m$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3m$ olduğu zemin+3 katlı yapı modelinin (B1 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de, maksimum değerler Şekil 4.21.’de sunulmuştur.

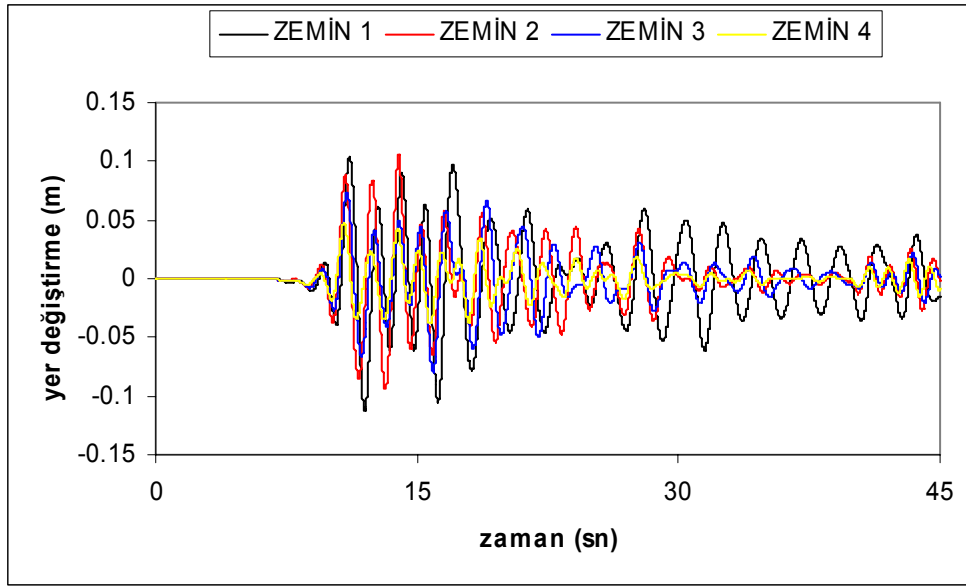
Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.211m, zemin 2 tipinde 0.168m, zemin 3 tipinde 0.130m, zemin 4 tipinde 0.0776m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0543m, zemin 2 tipinde 0.0438m, zemin 3 tipinde 0.0340m, zemin 4 tipinde 0.0207m olduğu gözlenmektedir.

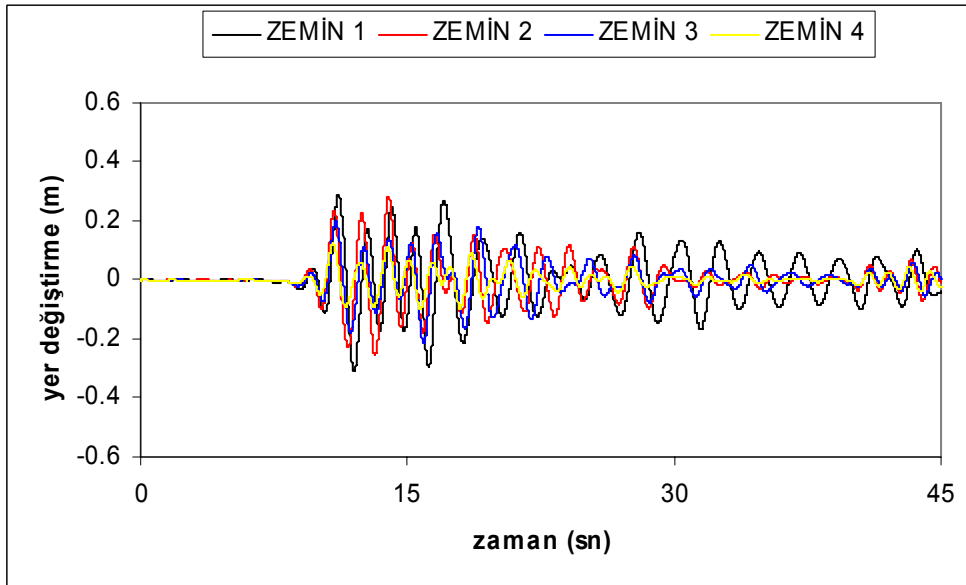
Şekil 4.22.’de çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

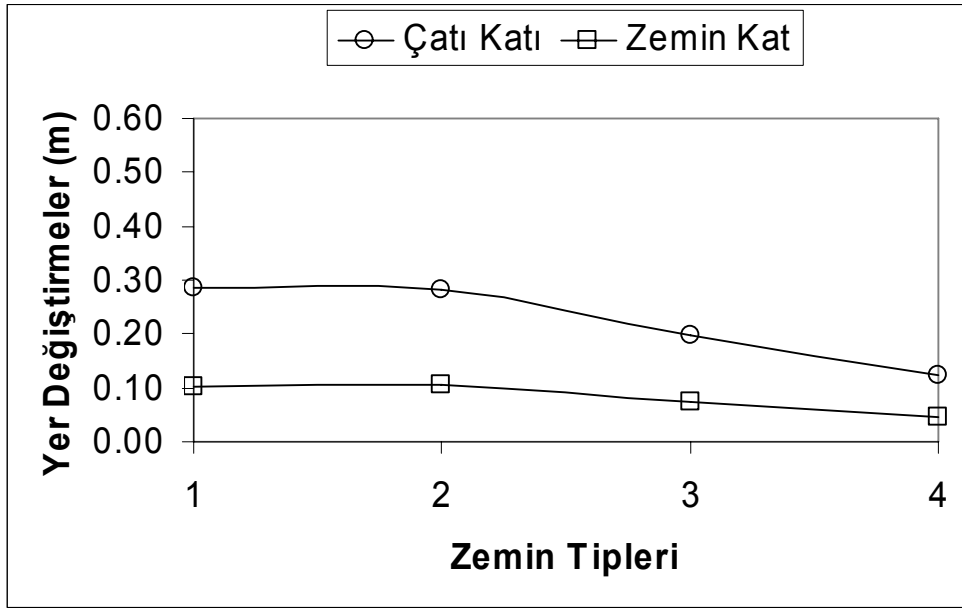
- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 26 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 20 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 16 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 10 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.



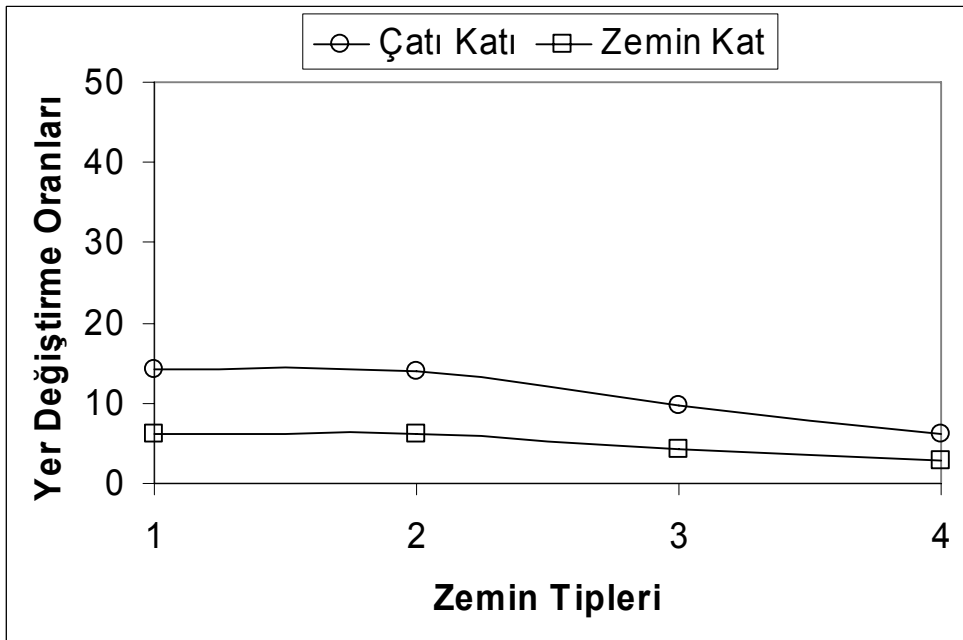
Şekil 4.23. Model B2 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.24. Model B2 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.25. Model B2 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.26. Model B2 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Yumuşak kat üst yapı modelinin (Model B), zemin kat yüksekliği $h_z=5\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+3 katlı yapı modelinin (B2 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de, maksimum değerler Şekil 4.25.'de sunulmuştur.

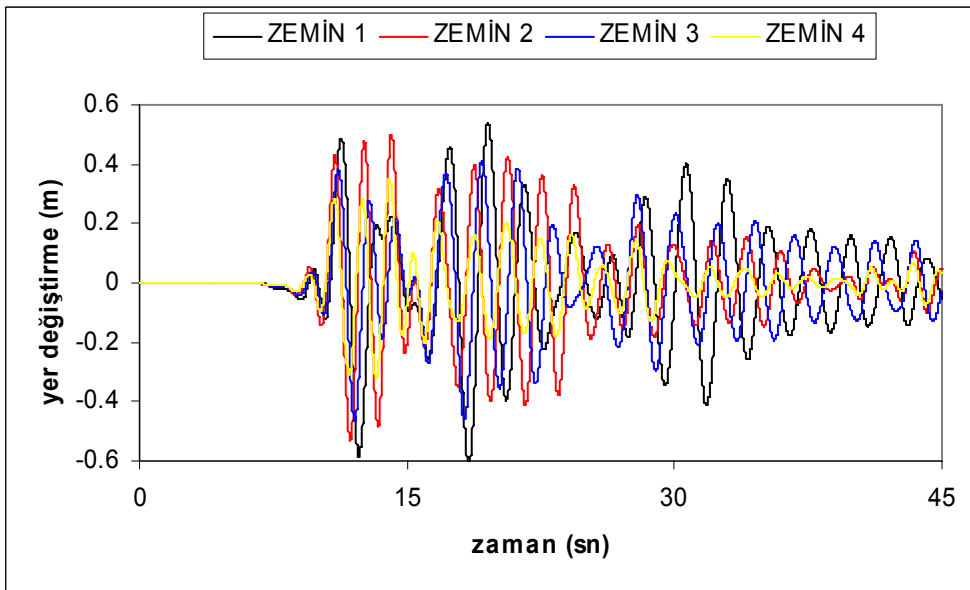
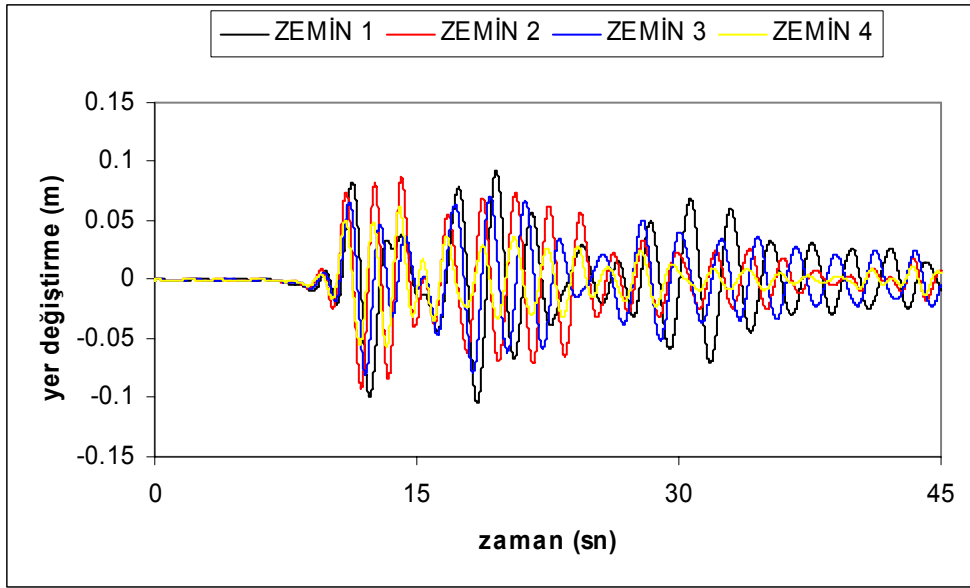
Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

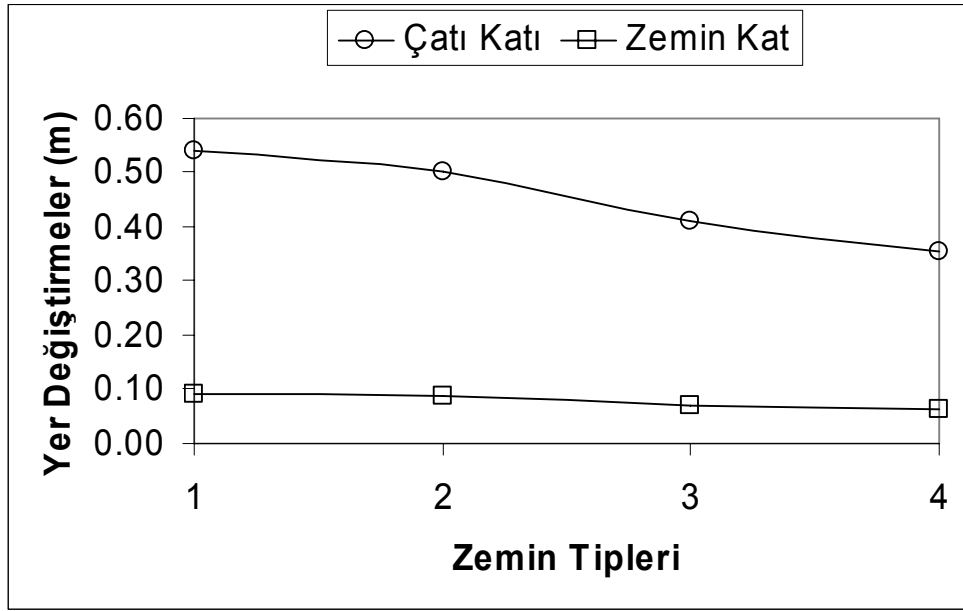
- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.287m, zemin 2 tipinde 0.284m, zemin 3 tipinde 0.198m, zemin 4 tipinde 0.123m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.104m, zemin 2 tipinde 0.106m, zemin 3 tipinde 0.0731m, zemin 4 tipinde 0.0474m olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.26'da çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

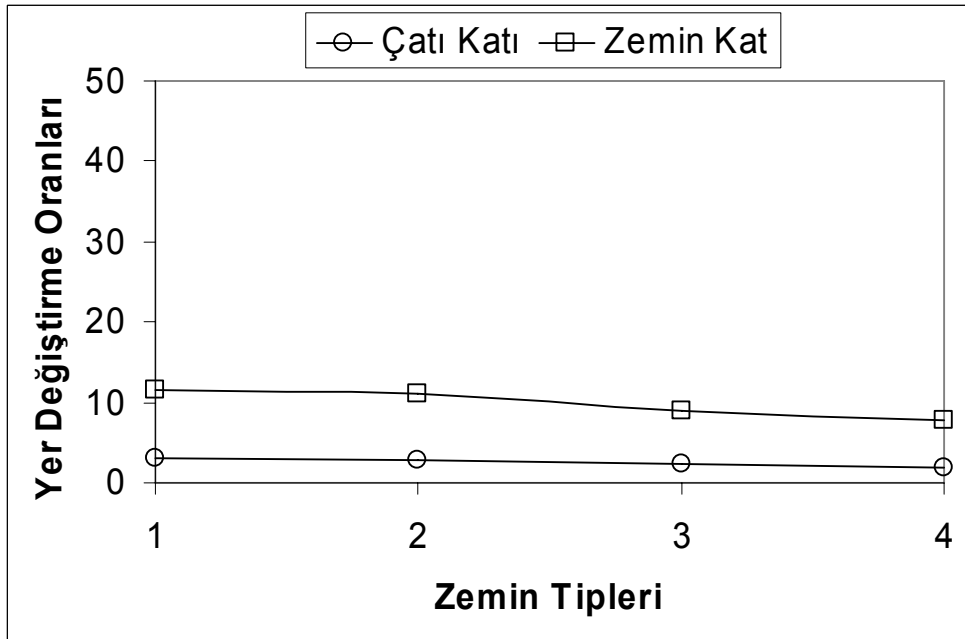
Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 14 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 14 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 10 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 6 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.





Şekil 4.29. Model B3 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.30. Model B3 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Yumuşak kat üst yapı modelinin (Model B), zemin kat yüksekliği $h_z=3\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+5 katlı yapı modelinin (B3 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de, maksimum değerler Şekil 4.29.’da sunulmuştur.

Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

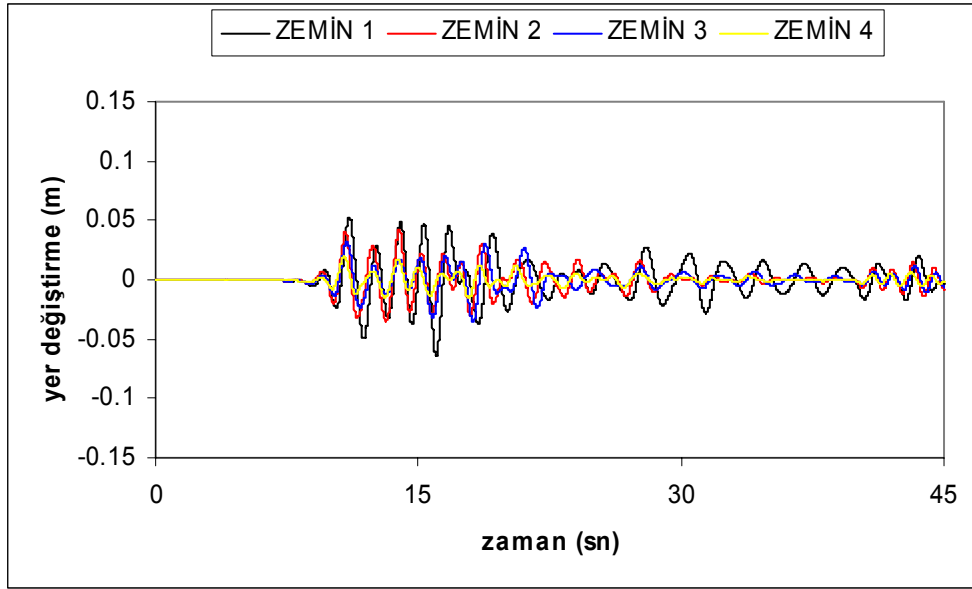
- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.539m, zemin 2 tipinde 0.502m, zemin 3 tipinde 0.409m, zemin 4 tipinde 0.353m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0919m, zemin 2 tipinde 0.0867m, zemin 3 tipinde 0.0705m, zemin 4 tipinde 0.0619m olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.30’da çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

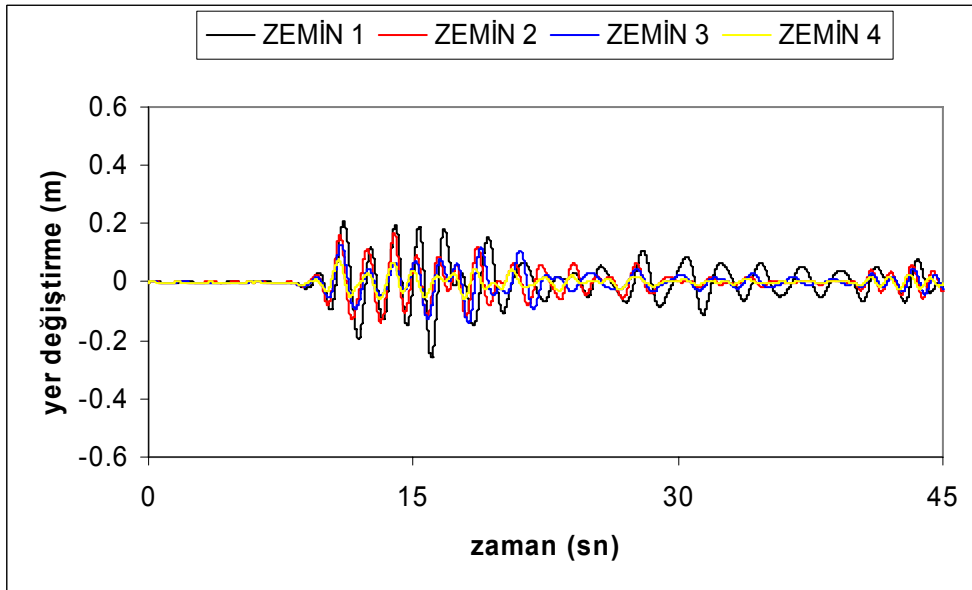
Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 11 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 11 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 8 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 7 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.

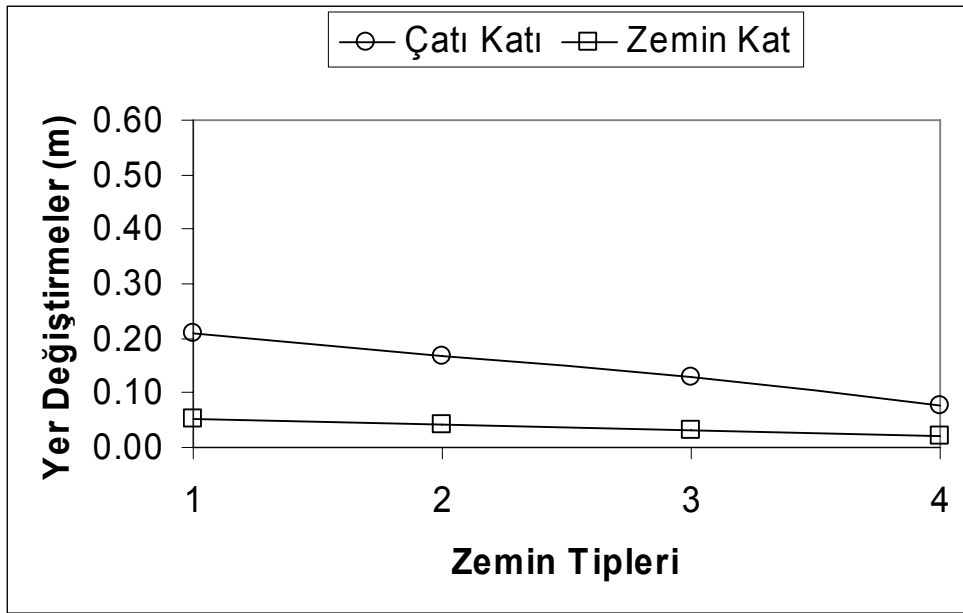
4.3.3 Model C yapıları



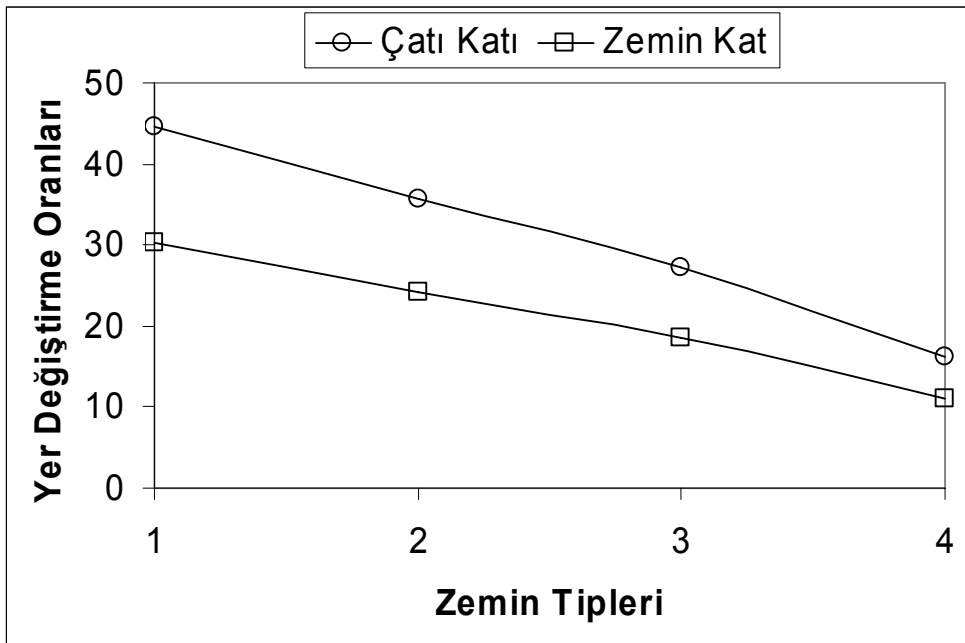
Şekil 4.31. Model C1 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.32. Model C1 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.33. Model C1 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.34. Model C1 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Kısa Kolonlu üst yapı modelinin (Model C), zemin kat yüksekliği $h_z=3\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+3 katlı yapı modelinin (C1 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de, maksimum değerler Şekil 4.33.’de sunulmuştur.

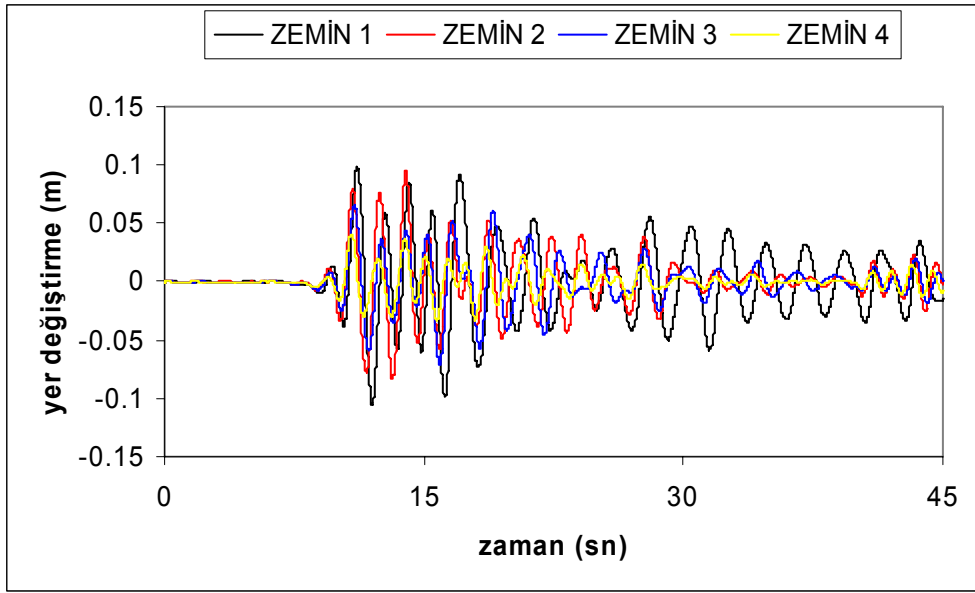
Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.211m, zemin 2 tipinde 0.168m, zemin 3 tipinde 0.129m, zemin 4 tipinde 0.0768m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0529m, zemin 2 tipinde 0.0424m, zemin 3 tipinde 0.0326m, zemin 4 tipinde 0.0195m olduğu gözlenmektedir.

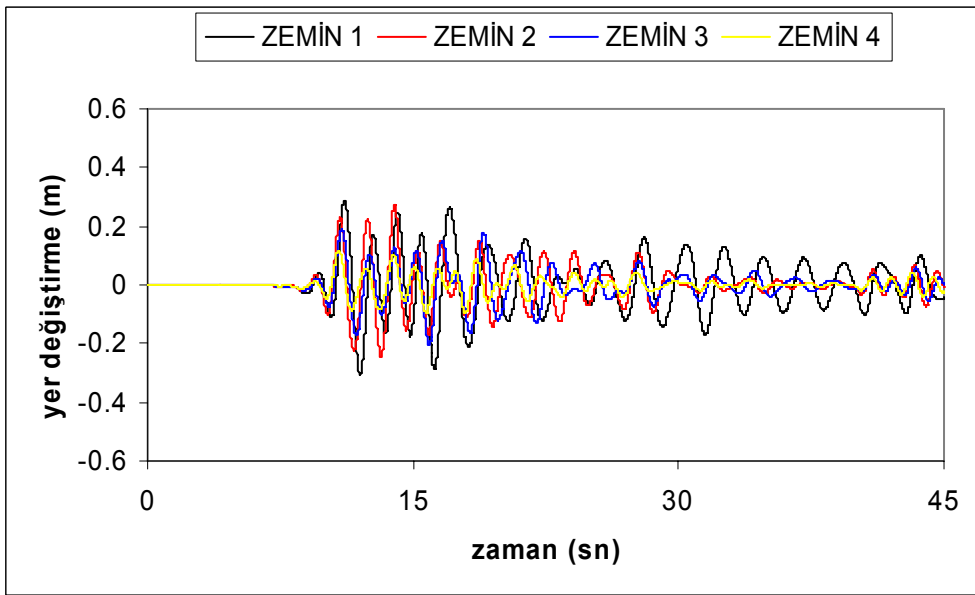
Şekil 4.34’de çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

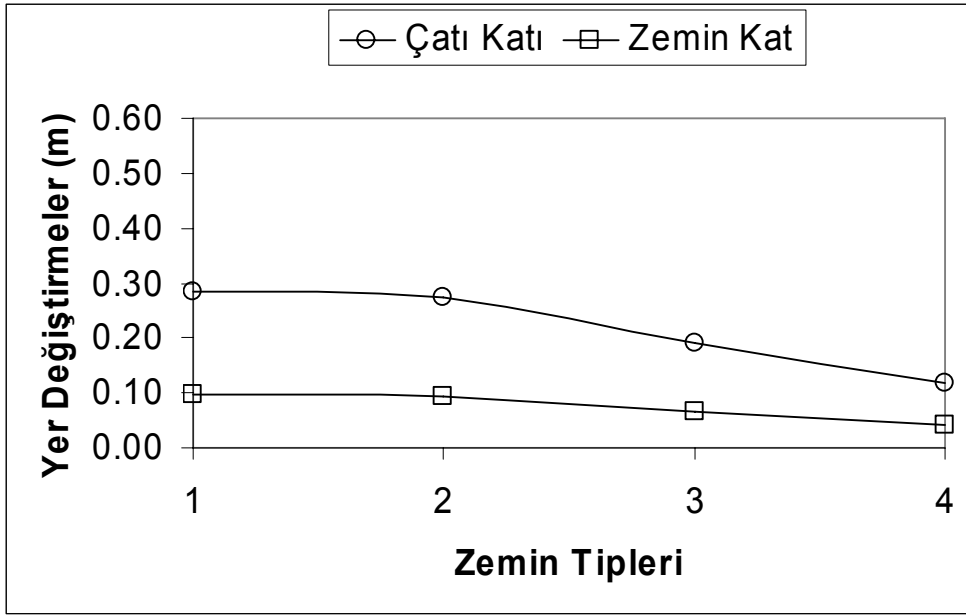
- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 45 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 35 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 27 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 16 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.



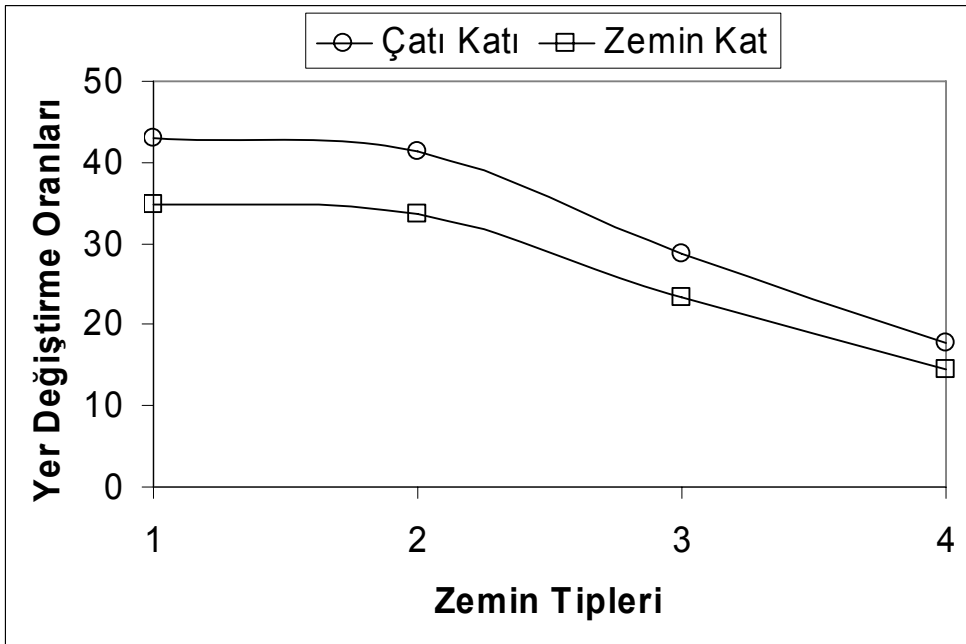
Şekil 4.35. Model C2 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değişirmeleri



Şekil 4.36. Model C2 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değişirmeleri



Şekil 4.37. Model C2 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.38. Model C2 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Kısa kolonlu üst yapı modelinin (Model C), zemin kat yüksekliği $h_z=5\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+3 katlı yapı modelinin (C2 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da, maksimum değerler Şekil 4.37'de sunulmuştur.

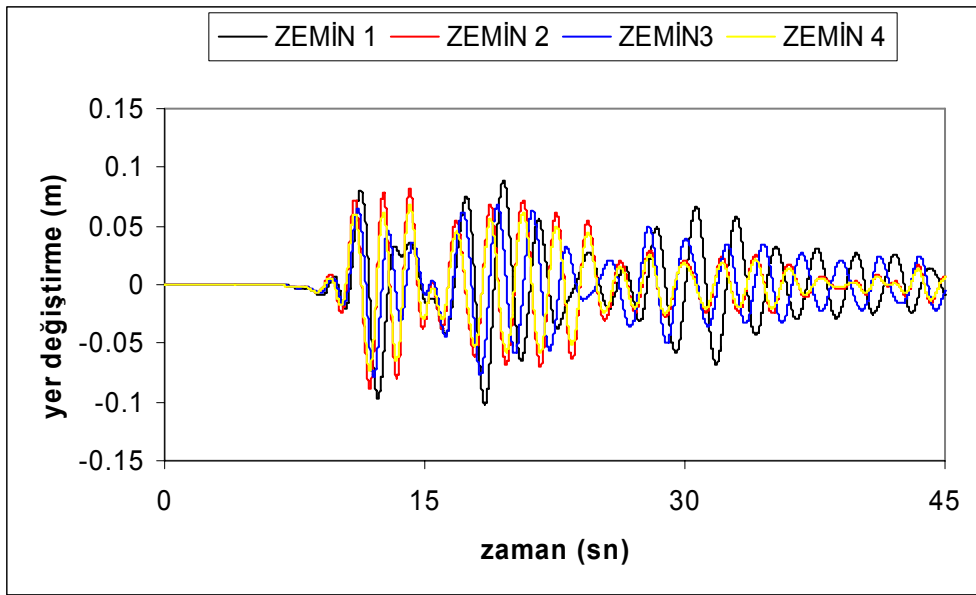
Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.284m, zemin 2 tipinde 0.274m, zemin 3 tipinde 0.190m, zemin 4 tipinde 0.117m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0980m, zemin 2 tipinde 0.0946m, zemin 3 tipinde 0.0655m, zemin 4 tipinde 0.0406m olduğu gözlenmektedir.

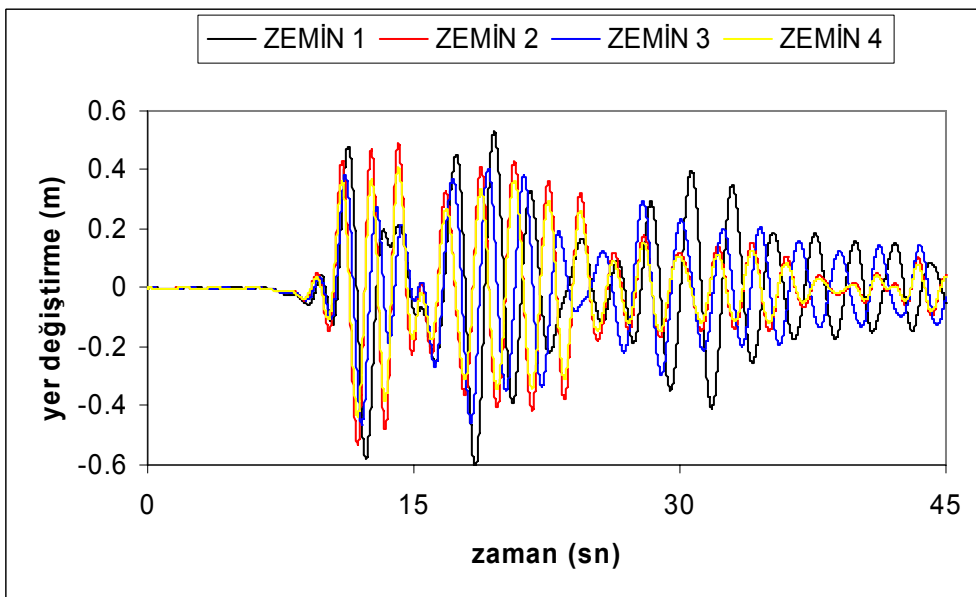
Şekil 4.38'de çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

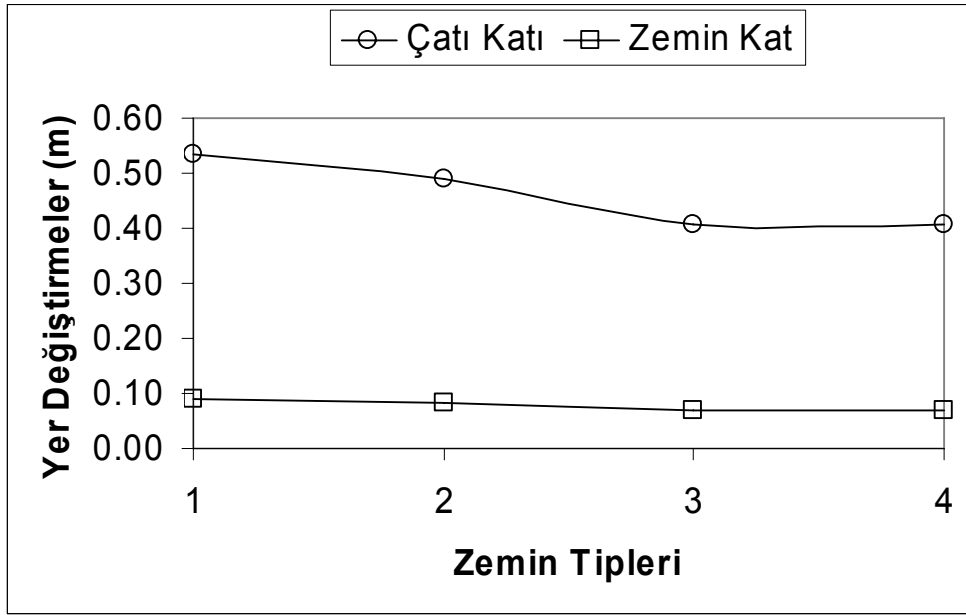
- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 43 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 41 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 28 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 17 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.



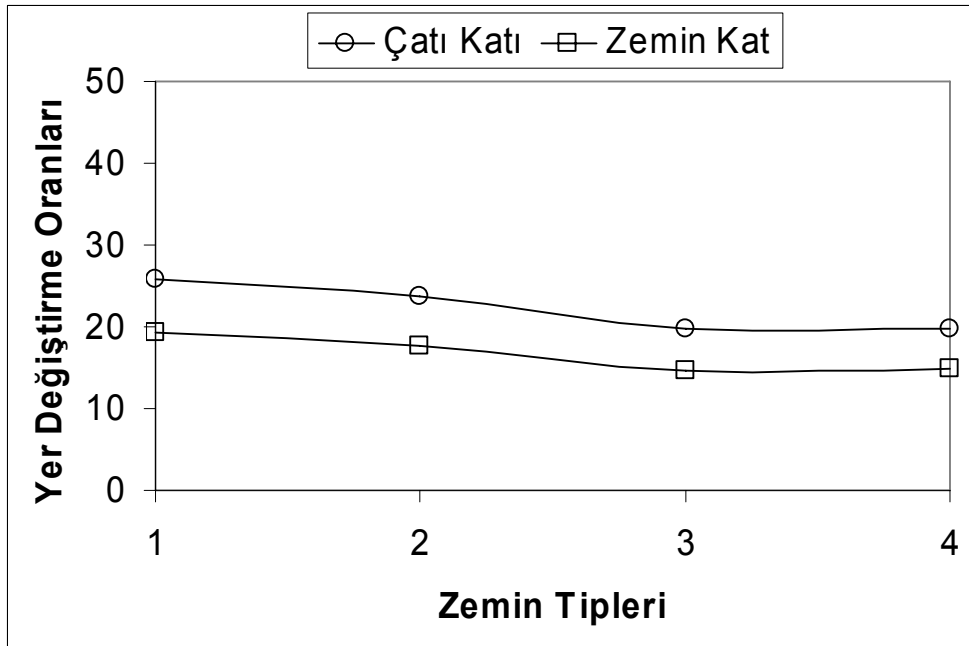
şekil 4.39. Model C3 yapıları için zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



şekil 4.40. Model C3 yapıları için çatı katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri



Şekil 4.41. Model C3 yapılarının çatı kat ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 4.42. Model C3 yapılarında, çatı katı ve zemin katlarının temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı

Kısa kolonlu üst yapı modelinin (Model C), zemin kat yüksekliği $h_z=3\text{m}$ ve normal kat yüksekliğinin $h_N=3\text{m}$ olduğu zemin+5 katlı yapı modelinin (C3 modeli) çatı katı ve zemin katın temel seviyesine göre yer değiştirmeleri Adapazarı genelleştirilmiş zemin tipleri için Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da, maksimum değerler Şekil 4.41'de sunulmuştur.

Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı yapının yer değiştirmesinin en büyük değeri;

- Çatı katı için zemin 1 tipinde 0.533m, zemin 2 tipinde 0.490m, zemin 3 tipinde 0.406m, zemin 4 tipinde 0.407m olduğu;
- Zemin kat için zemin 1 tipinde 0.0891m, zemin 2 tipinde 0.0823m, zemin 3 tipinde 0.0681m, zemin 4 tipinde 0.0685m olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.42'de çatı katı ve zemin katın temele göre maksimum yer değiştirme değerleri için Adapazarı zeminindeki yapı davranışlarının Maltepe zeminindeki davranışlarına oranı verilmiştir.

Grafiği dikkatle incelersek, Maltepe zemininde bulunan yapıya oranla;

- Zemin 1 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 25 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 2 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 23 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 3 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 19 kat daha fazla zorlandığı,
- Zemin 4 tipinde bulunan yapının yaklaşık olarak 19 kat daha fazla zorlandığı gözlenmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Adapazarı merkezinde ve Maltepe zemin koşullarında inşa edilen Model A, Model B, ve Model C tipi yapıların dinamik analizleri ele alınmıştır. Dinamik analizlerin sonuçları, çatı katı ve zemin kat seviyesindeki yapı yer değiştirmelerinin temel seviyesine göre görece zaman tanım alanındaki değişimleri olarak, grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca, Adapazarı merkezindeki yapıların davranışları Maltepe zeminindeki yapıların davranışına orantılanarak grafikler halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Yapı-zemin modellerinde Adapazarı' nın genelleştirilmiş zemin tipleri kullanılmıştır.

Model A ;

Deprem etkisindeki yapıların yıkılmasının ya da ağır hasar görmesinin en önemli sebeplerinden biri de zayıf kat oluşumudur. Model A yapılarında, bu olumsuzluk hali dikkate alınmıştır;

Model A1 zemin+3 katlı, zemin kat yüksekliği 4m; Model A2 zemin+3 katlı, zemin kat yüksekliği 5m; Model A3 zemin+5 katlı, zemin kat yüksekliği 4m seçilerek zayıf kat zemin katlarda modellenmiştir. Yapı performansları genel olarak incelendiğinde,

- Model A1 ve A2 yapılarında yaklaşık olarak çatı katı yer değiştirmeleri birbirlerine çok yakın iken zayıf katın bulunduğu zemin katta birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Her iki yapı modelinin de zemin katın üzerinde bulunan yoğun kütle aynı olduğu halde, zemin kat yüksekliğinin artması sonucu zemin katın yer değiştirmesi artmakta ve yaklaşık olarak iki katına kadar çıkmaktadır.

- Model A3 te ise zayıf katın bulunduğu zemin katın üstündeki yoğun kütle arttırıldığından dolayı hem çatı katının hem de zemin katın yer değiştirmeleri dolayısıyla yapı performansı oldukça değişmekte ve olumsuzlaşmaktadır. Çatı katının yer değiştirmesine göre, Model A1 ve A2 ye oranla yaklaşık olarak üç kat daha fazla zorlanmaktadır.
- Model A1 ve Model A2’de nispeten kararlı bir davranış gözleniyorken, zayıf kat olumsuzluğunun artması ile kararsız bir davranış gözlenmektedir.

Model B ;

Model B yapılarında, yumuşak kat olumsuzluğu dikkate alınmıştır;

Model B1 zemin+3 katlı, zemin kat yüksekliği 3m; Model B2 zemin+3 katlı, zemin kat yüksekliği 5m; Model B3 zemin+5 katlı, zemin kat yüksekliği 3m seçilmiş, zemin kat sadece taşıyıcı elemanlardan oluşuyorken, normal katlarda zemin kata göre çok yoğun bür kütle tasarlanarak, yumuşak kat zemin katlarda modellenmiştir. Yapı performansları genel olarak incelendiğinde;

- Model B yapılarında zemin katta kullanım nedenlerinden dolayı bölme duvarları kullanılmamış ve üst katlarda yoğun bir kütle bulunmaktadır. Model A yapılarına oranla Model B yapılarında son kat ile zemin kat yer değiştirmeleri birbirlerine daha yakındır. Bunun en önemli nedeni üst katların rijit bir blok gibi davranmalarıdır.
- Zemin kattaki yer değiştirme Model B1 ve Model B2 de zemin katların farklı olmasına rağmen çok uzak değildir. Fakat Model B3 de zemin katın üstündeki rijit blok yoğunluğu arttığından ani olarak çok büyük değerlere ulaşmaktadır.

Model C ;

Model C yapılarında, kısa kolon olumsuzluğu dikkate alınmıştır;

Model C1 zemin+3 katlı, zemin kat yüksekliği 3m; Model C2 zemin+3 katlı, zemin kat yüksekliği 5m; Model C3 zemin+5 katlı, zemin kat yüksekliği 3m seçilmiş,zemin katlarda kısa kolonlar tasarlanmıştır. Yapı performansları genel olarak incelendiğinde,

- C2 yapı modelinde kısa kolonun bulunduğu zemin kat yüksekliği fazla olduğu için zemin kat yer değiştirmeleri de ModeC1'e göre yaklaşık olarak 2 kat daha fazla olmakta.
- Model C3 te ise kısa kolon olumsuzluğunun olduğu zemin katın üzerindeki yoğun kütle arttırıldığından dolayı hem çatı katının hem de zemin katın yer değiştirmeleri dolayısıyla yapı performansı oldukça değişmekte ve olumsuzlaşmaktadır. Çatı katının yer değiştirmesi Model C1 ve C2 ye oranla yaklaşık olarak iki kat daha fazla zorlanmaktadır.

Bilindiği gibi zayıf kat, yumuşak kat ve kısa kolon olumsuzlukları, deprem etkisindeki yapıların ağır hasar görmesine veya yıkılmasına neden olan en önemli tasarım hatalarıdır. Bu düzensizliklerden birine sahip bir yapının Adapazarı gibi yumuşak bir zemindeki davranışı aşırı artmakta ve yapı elastik sınırların çok ötesinde zorlanmaktadır. Bunun sonucu olarak da yapıda ağır hasarlar oluşması beklenir.

Öneriler;

- Çalışmanın sonuçlarında belirtildiği gibi, yapılarda bulunan olumsuzluklara zemin şartlarının olumsuzluğu da eklendiğinde yapılarda yıkıma kadar varan hasarların oluşması olasıdır, dolayısıyla özellikle zemin şartlarının olumsuz olduğu bölgelerde yapılacak olan yapılarda bu olumsuzluklardan kaçınılmalıdır.

- Bu çalışmada analizler lineer elastik yapılmıştır. Daha sonra yapılacak olan bir çalışmada analizler non-lineer olarak yapılabilir.
- Şu an yürürlükte olan yönetmelikte zemin şartlarının olumsuzluğu yeterince dikkate alınmamaktadır. Bu olumsuzluk dikkat alınarak yönetmeliğe ek şartlar eklenmelidir. Özellikle zayıf kat, yumuşak kat ve kısa kolon gibi olumsuzluklara sahip yapıların, inşaa edileceği bölgelerdeki zemin ile etkileşimi düşünülmelidir.

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 Uç 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 Uç 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] 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.
- [13] KUTANIS, M., "Yapı-Zemin Dinamik Etkileşimi", Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, Kasım, 2001.
- [14] PALA, M., “Zemin Yapı Dinamik Etkileşiminin Yapay Sinir Ağları İle Analizi”, Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2001.
- [15] GARIP Z.S. “Deprem Etkisindeki Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi” , Yüksek Lisans Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2005.
- [16] SANCIO R.B., BRAY J.D., STEWART J.P., YOUD T.L., DURGUNOGLU H.T., ONALP A, SEED R.B., CHRISTENSEN C., BATURAY MB, KARADAYILAR T. “Correlation Between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22(2002)1093-1102
- [17] ZIENKIEWICZ, O.C. and TAYLOR, R. L “The Finite Element Method”, Mc-Graw 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] CELEP, Z., KUMBASAR, N, “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.

- [23] PAMPAL, S., “Depremler”, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, Ocak, 2000.
- [24] ATİMTAY, E., “Açıklama ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Cilt 1”, Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [25] BRAY J.D., BATURAY MB, DURGUNOGLU T, ONALP A, SANCIO R.B., URAL D. “Damage patterns and foundation performance in Adapazari.” Chapter 8 of Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17,1999. Reconnaissance report in Earthquake Spectra Suppl A, vol.16; EERI 2000.p. 163-89
- [26] CELEP, Z., KUMBASAR, N, “Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş” İstanbul, 1992.
- [27] Dumanoğlu A.A., “Yüksek Lisans Ders Notları (Yayınlanmamış)” K.T.Ü. İnşaat Müh. Bölümü, Trabzon, 1996
- [28] DAWRICK D.J., “Earthquake Resistant Desing For Engineer and Architects” Second Edition, Johnwiley&Sons, ISBN 0 471 91503 3, pg 184-189, 1987

ÖZGEÇMİŞ

29.06.1983 Sakarya Merkez doğumlu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. Lisans eğitimine 2000-2001 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2003-2004 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümünden bahar yarı yılında mezun oldu. 2004-2005 eğitim yılı güz yarıyılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bölümünde yüksek lisansa başladı.