

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**ÇOK KATLI BİNALARDA
ZEMİN-TEMEL-YAPI ETKİLEŞİMİ**

Emre KALFA

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 25.01.2017

Bornova-İZMİR

2017

Emre KALFA tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Çok Katlı Binalarda Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 25.01.2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Gürsoy TURAN

Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU.....

Üye : Doç. Dr. Alper SEZER

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çok Katlı Binalarda Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

25/01/2017

Emre KALFA

ÖZET**ÇOK KATLI BİNALARDA ZEMİN-TEMEL-YAPI ETKİLEŞİMİ**

KALFA, Emre

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ayhan Nuhoglu

Ocak 2017, 102 sayfa

Bu tez çalışmasında, derin kazık temel ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip çok katlı yapıların zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile statik ve dinamik davranışı incelenmiştir. Bu amaçla bir dizi deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda deprem etkisinde kalan kazıkların yapısal davranışını belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda İzmir körfezi kenarında yer alan bir arazide zemine çakılan, içi beton dolu çelik profil elemanların yatay yükler etkisindeki deplasman davranışları deneysel olarak belirlenmiştir. Buradan elde edilen davranış parametreleri kullanılarak ölçekli bir prototip bina modeli tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar mikro model yaklaşımı ile dizayn edilen bina modelinin “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” sınır şartları için eşdeğer deprem, lineer davranış spektrumu ve zaman tanım alanında lineer analizleri gerçekleştirilmiştir.

Birinci bölümde “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ve “ankastre mesnetli kabul” ile ilgili kısa bilgilere ve çalışmanın tanıtılmasına, ikinci bölümde zemin-temel-yapı etkileşimi ya da zemin-yapı etkileşimi konularında yapılmış olan önceki çalışmalara, üçüncü bölümde ise “zemin-temel-yapı etkileşimi” ve “zemin-temel-yapı etkileşiminin modellenmesi” konuları hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde arazide gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve bu uygulamalardan elde edilen sonuçlar, beşinci bölümde zemin, kazık, radye plak ve perde-çerçeve elemanlardan oluşan global sistemin yapısal parametrelerinin belirlenmesi hususlarında açıklamalar yapılmıştır. Altıncı bölümde ise deneysel ve teorik sonuçların genel değerlendirmeleri ve kıyaslamalarına yer verilmiştir.

Son bölümde ise “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için ayrı ayrı yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda elde edilen tespitler kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Nihayetinde, derin temelli perde-çerçeve sistemlerin zemin-temel-yapı etkileşimli analizinin önemi konusu değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi, Perde-Çerçeve Sistemler, Statik ve Dinamik Analiz



ABSTRACT**SOIL-FOUNDATION-STRUCTURE INTERACTION OF TALL BUILDINGS**

KALFA, Emre

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ayhan NUHOĞLU

January 2017, 102 pages

In this thesis study, the static and dynamic structural response of a high-rise RC building constructed on a pile foundation were investigated under the assumption of soil-foundation-structure interaction. For this purpose some experimental and theoretical studies have been carried out. In experimental studies, it is aimed to determine the behavior of piles subjected to earthquake loading. For this purpose, lateral force-displacement behavior of concrete filled steel profile piles was obtained in a field located on the edge of the İzmir Bay. Using behavioral parameters, a scaled prototype model building was designed. Finite element micro model of the designed building was constituted under the assumption of “fixed base” and “soil-foundation-structure interaction”. Equivalent earthquake, linear response spectrum and linear time history analyses were performed for each “fixed base” and “soil-foundation-structure interaction” finite element models.

In the first section, brief information is given about the thesis study, “soil-foundation-structure interaction” and “fixed base” assumptions. In the second section, previous studies on soil-foundation-structure interaction or soil-structure interaction is mentioned. In the third section, information is given about soil-foundation-structure interaction and modelling of soil-foundation-structure interaction.

In the fourth section, experimental studies performed in the field and the results obtained from these applications are given. In the fifth section, the structural parameters of the global system consisting of soil, pile, foundation and RC building are explained. In the sixth section, general evaluations and comparisons of experimental and theoretical results are presented.

In the last section, the results obtained from theoretical and experimental studies for each “fixed base” and “soil-foundation-structure interaction” assumptions are comparatively presented. As a conclusion, the importance of soil-foundation-structure interaction analysis of piled RC buildings has been assessed.

Keywords: Soil-Foundation-Structure Interaction, SFSI, Soil-Structure Interaction, SSI, RC Buildings, Static and Dynamic Analysis



TEŐEKKÜR

Tez alıŐması sűresince her alanda desteęini sunan deęerli hocam ve tez danıŐmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOęLU' na, deneysel çalıŐmalar sırasında bilgi ve tecrűbelerini paylaŐan Sayın Őęr. Gör. Dr. Emre ERCAN' a, İŐŐ. Műh. M. Serkan YURDAKUL' a, İŐŐ. Műh. Vural TURAN' a, Jeo. Műh. BarıŐ SAVRAN' a, Őęr. Gör. Őmer Yasin SŪLŪN' e teŐekkűr ederim. Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan ve her alanda beni destekleyen sevgili aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACTix
TEŞEKKÜRxi
ŞEKİLLER DİZİNİxvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. ZEMİN-TEMEL-YAPI ETKİLEŞİMİ.....	22
3.1 Giriş	22
3.2 Tarihsel Gelişim.....	28
3.3 Zemin-Temel-Yapı Etkileşiminin Modellenmesi.....	29
3.4 Çok Katlı Binaların Zemin-Temel-Yapı Etkileşimine Göre Yapısal Davranışı.....	32
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	34
4.1 Giriş	34
4.2 Deney Düzenegi.....	35

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3 Deney Elemanları.....	38
4.4 Arazi Zeminin Özellikleri	41
4.5 Deneysel Bulgular.....	42
4.5.1 Deney elemanı 1.....	42
4.5.2 Deney elemanı 2.....	43
4.5.3 Deney elemanı 3.....	45
4.5.4 Deney elemanı 4.....	46
4.5.5 Deney elemanı 5.....	47
4.5.6 Deney elemanı 6.....	48
5. TEORİK ANALİZLER.....	50
5.1 Deney Elemanlarının Teorik Analizleri.....	50
5.1.1 Zemin poisson oranı.....	52
5.1.2 Zemin elastisite modülü	52
5.1.3 Deney elemanı 1.....	57
5.1.4 Deney elemanı 2.....	58
5.1.5 Deney elemanı 3.....	59
5.1.6 Deney elemanı 4.....	60

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1.7 Deney elemanı 5	61
5.1.8 Deney elemanı 6	62
5.1.9 Deney elemanlarının teorik yapısal davranışları	63
5.2 Model Bina İçin Teorik Analizler.....	65
5.2.1 Kazık düşey taşıma gücü hesabı.....	66
5.2.2 Bina ve temel sisteminin tasarlanması.....	68
5.2.3 Eşdeğer deprem yükü hesabı	71
5.2.4 Davranış spektrum analizi	73
5.2.5 Zaman tanım alanında analiz	74
5.2.6 Model binanın ankastre mesnetli analizleri	79
5.2.7 Model binanın zemin-temel-yapı etkileşimli analizleri.....	80
6. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	82
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Bina, Temel ve Kazıkların Hareketleri a) Zemin-Temel Yapı Etkileşimli b) Ankastre Mesnetli.....	2
2.1 Kullandıkları Sonlu Eleman Modeli Bilgileri (Finn and Fujita, 2002)	4
2.2 Çalışmalarında Kullandıkları Sistem Bilgileri (Maheshwari et al., 2004) a) Tek Kazıklı Sistem, b) 2 x 2 Kazık Sistemi	5
2.3 Çalışmada Kullandıkları Modeller 1-4 (Livaoğlu ve Doğangün, 2006) a) Model 1, b) Model 2, c) Model 3, d) Model 4.....	6
2.4 Çalışmada Kullandıkları Modeller 5-7 (Livaoğlu ve Doğangün, 2006) a) Model 5, b) Model 6, c) Model 7	7
2.5 Çalışmada Kullandıkları Modeller 8-10 (Livaoğlu ve Doğangün, 2006) a) Model 8, b) Model 9, c) Model 10	7
2.6 Çalışmada Modelledikleri Kule Tank Kesiti (Livaoğlu ve Doğangün, 2006).....	8
2.7 Çalışmada Kullandıkları Model Bilgileri (Livaoğlu ve Doğangün, 2007)...	9
2.8 Çalışmada Kullandıkları Bina Bilgileri (Girgin vd., 2008) a) Kat Planları, b) Sonlu Eleman Modeli.....	10
2.9 Çalışmalarında Kullandıkları Sonlu Eleman Modelleri (Tabatabaiefar and Massumi, 2010) a) Ankastre Mesnetli Model, b) Zemin-Yapı Etkileşimli Model.....	11
2.10 Direkt Yöntem Modeli (Aydınöglü, 2011).....	12
2.11 Altsistem Yöntemi Modeli (Aydınöglü, 2011).....	12

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.12 Üç Adım Yöntemi (Aydınoglu, 2011) a) Kinematik Etkileşim (1. Adım), b) Eylemsizlik Etkileşimi için Zeminin Eşdeğer Dinamik Rijitlik Matrisi (2. Adım), c) Eylemsizlik Etkileşimi (3. Adım).....	13
2.13 SeismoStruct Yazılımında Kullanılan Modellerin X-Z Görünüşleri (Alkan, 2011) a) Tek Katlı Bina, b) 3 Katlı Bina, c) 5 Katlı Bina	14
2.14 a) SAP2000 Sonlu Eleman Modeli, b) Şematik Yay Modeli (Gardðarsson, 2012).....	15
2.15 Çalışmada Kullandıkları Modeller (Korkmaz ve Demir, 2012) a) Ankastre Mesnet Kabullü Model, b) Yaylı Model	16
2.16 FLAC2D Yazılımındaki Arayüz Elemanları (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014).....	17
2.17 FLAC2D Yazılımındaki Modelin Sınır Şartları (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014).....	18
2.18 FLAC2D Yazılımında Model Özellikleri (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014) a) Ankastre Mesnetli Bina, b) Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Bina	18
2.19 Çalışmada Kullandıkları Modeller (Hokmabadi et al., 2014) a) Ankastre Mesnetli Model, b) Sığ Temelli Zemin İçeren Model, c) Sürtünme Kazıklı Zemin İçeren Model	19
2.20 Çalışmada Kullandıkları Deney Modeli (Hokmabadi et al., 2014).....	20
2.21 FLAC3D Yazılımında Oluşturdukları Modeller (Hokmabadi et al., 2014) a) Ankastre Mesnetli Model, b) Sığ Temelli Zemin İçeren Model, c) Sürtünme Kazıklı Zemin İçeren Model.....	20

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Analiz Sonucu Deforme Olmuş Sistemin Ölçekli Görünüşü.....	22
3.2 Deprem Dalgalarının Zemin-Temel-Üstyapı Arasında Hareketi (Aydinoğlu, 2012).....	23
3.3 Başlangıç Sınırları (Gürsoy, 2006) a) Sıfır Yerdeğiştirmeler, b) Sıfır Yüzey Yerdeğiştirmeleri.....	30
3.4 Viskoz Sınırlar (Gürsoy, 2006) a) Lysmer' e Göre Yay ve Sönümleyiciler, b) Yerel Viskoz Sınırlar.....	30
3.5 Birbiriyle Bağlantılı Sınırlar (Gürsoy, 2006)	31
4.1 Deney Arazisi Konumu	34
4.2 Çelik Profiller ve Kesitleri.....	35
4.3 a) Piston, b) Kriko, c) Yükleme Kızağı (Boş), d) Yükleme Kızağı (Deney Anı).....	36
4.4 a) Yük Hücresi, b) Veri Kayıt Cihazı, c) Deplasman Ölçer (Potansiyometre).....	37
4.5 Deney Sahasında Yapılan Kazı İşlemi	38
4.6 a) Deney Elemanlarının Zemine Çakılması, b) Zemine Çakılan Deney Elemanları.....	39
4.7 Örnek Deney Düzenegi ve Deney Elemanı	39
4.8 Deney Elemanı Şematik Gösterimi ve Üstten Görünüş	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.9 Zemine Ait Kesit (RTS Jeoteknik Mühendislik Sondaj Müşavirlik ve İnşaat Hizmetleri, 2014)	41
4.10 Deney Elemanı 1 Yük-Deplasman Grafiği	42
4.11 Deney Elemanı 2 1. Yükleme Yük-Deplasman Grafiği.....	43
4.12 Deney Elemanı 2 2. Yükleme Yük-Deplasman Grafiği.....	44
4.13 Deney Elemanı 3 Yük-Deplasman Grafiği	45
4.14 Deney Elemanı 4 Yük-Deplasman Grafiği	46
4.15 Deney Elemanı 5 Yük-Deplasman Grafiği	47
4.16 Deney Elemanı 6 Yük-Deplasman Grafiği	48
4.17 Bütün Deney Elemanları İlk Yükleme Yük-Alt Deplasman Grafiği	49
4.18 Bütün Deney Elemanları İlk Yükleme Yük-Üst Deplasman Grafiği.....	49
5.1 Kutu Profil Deney Elemanı Sonlu Eleman Modelleri a) Ankastre Mesnetli Kabul, b) Zemin-Temel- Yapı Etkileşimli Kabul	51
5.2 Boru Profil Deney Elemanı Sonlu Eleman Modelleri a) Ankastre Mesnetli Kabul, b) Zemin-Temel- Yapı Etkileşimli Kabul	51
5.3 Plastisite İndisi ile E_u/N Arasındaki İlişki (Erol ve Çekinmez, 2014).....	53
5.4 Düzeltme Faktörleri (Erol ve Çekinmez, 2014).....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.5 Deneş Elemanı 1 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model.....	57
5.6 Deneş Elemanı 2 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model.....	58
5.7 Deneş Elemanı 3 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model.....	59
5.8 Deneş Elemanı 4 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model.....	60
5.9 Deneş Elemanı 5 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model.....	61
5.10 Deneş Elemanı 6 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model.....	62
5.11 Düşey Yük-Periyot İlişkisi	63
5.12 Elastisite Modülü-Tepe Noktası Deplasman Grafiği.....	64
5.13 Elastisite Modülü-Periyot Grafiği	64
5.14 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi İçin Örnek Sonlu Eleman Modeli	65
5.15 Model Bina Kat Kalıp Planı	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.16 Model Bina Temel Aplikasyon Planı	69
5.17 Model Bina Kazık Yerleşim Planı	70
5.18 Model Binanın 3 Boyutlu Görünüşü	70
5.19 1. Derece Deprem Bölgesi Z4 Zemin Sınıfı Spektral İvme Katsayısı- Periyot Grafiği.....	73
5.20 Kocaeli Deprem Kaydı Ölçeklenmemiş.....	76
5.21 Kocaeli Deprem Kaydı Ölçeklenmiş.....	76
5.22 Landers Deprem Kaydı Ölçeklenmemiş	77
5.23 Landers Deprem Kaydı Ölçeklenmiş	77
5.24 Northridge Deprem Kaydı Ölçeklenmemiş.....	78
5.25 Northridge Deprem Kaydı Ölçeklenmiş	78
5.26 Model Binanın Ankastre Mesnetli Kabul İçin Sonlu Eleman Modeli	79
5.27 Model Binanın Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul İçin Sonlu Eleman Modeli	81
6.1 Deneysel Çalışmalara Ait Sonuçların Grafiği.....	83
6.2 Ankastre Mesnetli Kabul X Yönü İlk 2 Mod.....	85
6.3 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul X Yönü İlk 2 Mod.....	85
6.4 Ankastre Mesnetli Kabul Y Yönü İlk 2 Mod.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.5 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul Y Yönü İlk 2 Mod	86
6.6 Ankastre Mesnetli Kabul Z Yönü İlk 2 Mod.....	87
6.7 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul Z Yönü İlk 2 Mod	87
6.8 Ankastre Mesnetli Kabul Z=0 Kotu Spektrum Eğrileri.....	88
6.9 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul Z=0 Kotu Spektrum Eğrileri	89
6.10 Tepe Noktası Deplasmanları	90
6.11 Yapı Taban ve Tepe Noktası Deplasmanları	91
6.12 Taban Kesme Kuvvetleri	92
6.13 Northridge TH-X Perde Gerilme Dağılımı (S22).....	93
6.14 Landers TH-X Perde Gerilme Dağılımı (S22)	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Çalışmada Elde Ettikleri Sonuçlar (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014).....	18
4.1 Deney Elemanı Olarak Kullanılacak Profillere Ait Statik Değerler	35
4.2 Deney Elemanlarının Şematik Gösterim İçin Değerleri	40
5.1 Zemin Cinsi ile Poisson Oranı Arasındaki İlişki (Yüksel Proje, 2007)	52
5.2 Şahmerdan Tipi, c_E ve E_R Arasındaki İlişki	53
5.3 Farklı Zemin Cinsleri İçin β' Değerleri (Erol ve Çekinmez, 2014).....	54
5.4 Zemin Etüt Raporu Doğrultusunda İlk 8 Metre Derinlik İçin SPT-N, N_{60} ve Plastisite İndisi Değerleri	55
5.5 N_{60} , β' ve Şekil 6.1' deki Abak Yardımıyla Hesaplanan E_u ve E_s Değerleri.....	56
5.6 Deney Elemanı 1 İçin Teorik Analiz Sonuçları	57
5.7 Deney Elemanı 2 İçin Teorik Analiz Sonuçları	58
5.8 Deney Elemanı 3 İçin Teorik Analiz Sonuçları	59
5.9 Deney Elemanı 4 İçin Teorik Analiz Sonuçları	60
5.10 Deney Elemanı 5 İçin Teorik Analiz Sonuçları	61
5.11 Deney Elemanı 6 İçin Teorik Analiz Sonuçları	62
5.12 Düzeltilmiş SPT Değerleri ve Düzeltme Katsayısı	67
5.13 Hesaplanan Eşdeğer Deprem Yükleri	72

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.14 Seçilen Deprem Kayıtları ve α_{ST} Ölçekleme Katsayıları (Fahjan, 2008) ..	75
5.15 Model Binanın Ankastre Mesnetli Analiz Sonuçları.....	80
5.16 Model Binanın Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Analiz Sonuçları	81
6.1 Deneysel Çalışmalara Ait Sonuçlar	82
6.2 Teorik Analiz Sonuçları.....	84
6.3 İlk 7 Mod İçin Periyotlar	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μ	Poisson oranı
A_o	Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
c_B	Delgi çapı düzeltme faktörü
c_{Bf}	Darbe vuruş hızı düzeltme faktörü
c_E	Şahmerdan düzeltme faktörü
c_R	Tij uzunluğu düzeltme faktörü
c_S	Örnek alıcı tipi düzeltme faktörü
$D1$	Üst deplasman ölçerin konumu
$D2$	Alt deplasman ölçerin konumu
D_{alt}	Alt deplasman ölçerin zemin seviyesine uzaklığı
$D_{üst}$	Üst deplasman ölçerin profil üst noktasına uzaklığı
E_R	Enerji oranı
g	Yerçekimi ivmesi
H_{alt}	Deney elemanının zemin altında kalan boyu
$H_{üst}$	Deney elemanının zemin üstünde kalan boyu
I	Bina önem katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
PI	Plastisite indisi
P_{alt}	Pistonun profil alt noktasına uzaklığı
$P_{üst}$	Pistonun profil üst noktasına uzaklığı
R	Taşıyıcı sistem yük azaltma katsayısı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
$S_{ae}(T)$	Elastik spektral ivme
V_s	Kayma dalgası hızı
V_t	Taban kesme kuvveti
W	Bina ağırlığı
<u>Kısaltmalar</u>	
ASCE	American Society of Civil Engineers
BEM	Boundary Elements Method (Sınır Elemanlar Metodu)
CG	Can Güvenliği
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EC-8	Eurocode 8
EN	European Norms
GÖ	Göçme Öncesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)Kısaltmalar

HK	Hemen Kullanım
FEM	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
FEMA	Federal Emergency Management Agency
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS498	Türk Standardı, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS500	Türk Standardı, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları



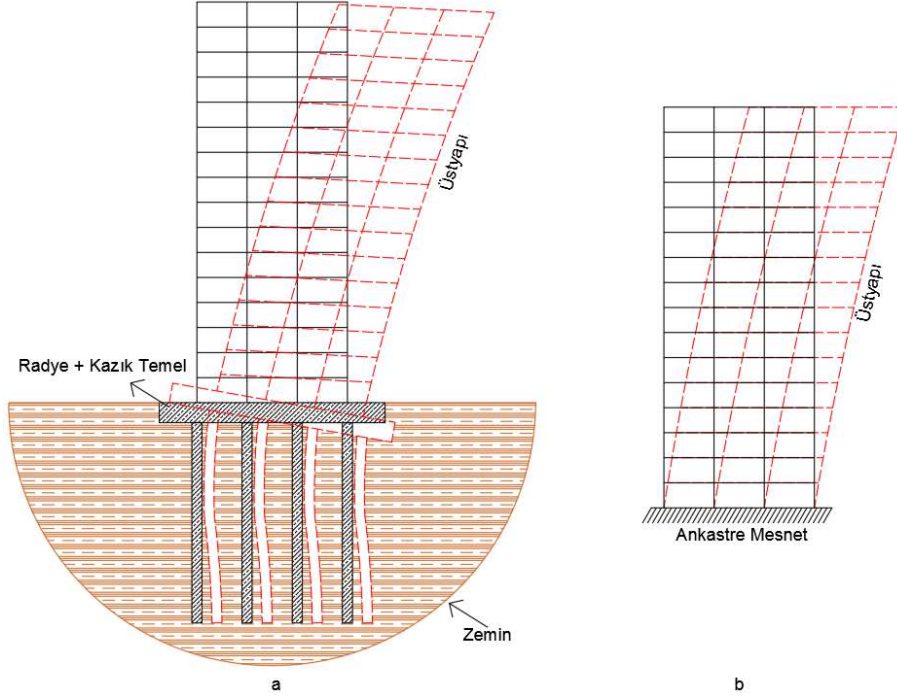
1. GİRİŞ

Riskli deprem bölgesinde yer alan ülkemizde son yıllarda yüksek yapı imalatı hız kazanmıştır. Özellikle İzmir yeni şehir merkezi gibi zayıf zemin özelliklerine sahip alanlarda inşa edilen derin temelli çok katlı betonarme binaların deprem etkisindeki davranışında zemin-temel-yapı etkileşimi önemli tartışma konularındandır. Bu tarz yüksek yapıların projelendirilme aşamasında zeminin ve temel sisteminin, üst yapının davranışına etkisinin dikkate alınması oldukça karmaşık işlemleri gerektirmektedir. Bu çalışmada söz konusu etkileşimin üst yapının statik ve dinamik analizine pratik ve uygulanabilir yaklaşımlarla dahil edilmesi hususu ele alınmıştır. Böylece bina taşıyıcı sisteminin kompleks özelliklere sahip statik ve dinamik analizinin daha gerçekçi olarak yapılmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Zemin-temel-yapı etkileşimi problemlerinin çözülmesinde “direkt yöntem” ve “altsistem yöntemi” olmak üzere iki yaklaşımdan bahsedilmektedir. Her iki yöntem de karmaşık ve büyük işlem hacimli analizler gerektirmektedir. Sürekli gelişen bilgisayar teknolojileri bu işlemleri yapabilmeyi mümkün hale getirmektedir. Aydınoğlu (2012), uygulamalarda farklı uzmanlık alanlarındaki mühendislik gruplarının, farklı mühendislik yazılımları ile hesap yapmasının altsistem yöntemine uygun olduğunu belirtmiştir. Bu anlamda zemin-yapı etkileşimini “zeminci-yapıcı etkileşimi” olarak tanımlamıştır. Zeminci için kazık davranışı, boşluk suyu basıncı, zemin davranışı gibi konular ön plana çıkarken yapıcı için üstyapı davranışı, yapı performansı, sistem ya da bina periyodu benzeri konular önem kazanmaktadır.

Binaların statik ve dinamik analizlerinde ankastre mesnet kabulü yapıldığında bina temellerinin zemine rijit(ankastre) bağlandığı, diğer bir deyişle bina temelinde dönme ve öteleme deplasmanlarının olmadığı kabul edilmektedir. Fakat geçmişte yapılan çalışmalar ve incelemeler özellikle zayıf zeminlerde deprem etkisi altında temelde dönme ve ötelemelerin meydana geldiğini ve bu hareketlerin üstyapı davranışını değiştirdiğini göstermiştir. Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılacak olan analizler için temeldeki dönme ve öteleme deplasmanları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu şekilde yapılacak analizler sonucunda zemin ve temelin hareketinden dolayı yapı üst noktalarındaki deplasmanlarda artışlar, yapı temelinde dönme ve deplasmanlar gözlemlenebilmektedir. Ayrıca zemin, temel ve üstyapıyı içeren sonlu elemanlar modellerinde bina periyodu kavramı yerine sistem periyodu kavramının

kullanılması daha gerçekçi olacaktır. Bu tür bir yaklaşım sonucunda sistem periyodu, ankastre mesnetli kabul ile oluşturulan bina periyodundan daha yüksek değerler almaktadır. Şekil 1.1’ de “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için bina, temel ve kazıkların hareketlerinin şematik gösterimlerine ayrı ayrı yer verilmiştir.



Şekil 1.1 Bina, Temel ve Kazıkların Hareketleri a) Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli b) Ankastre Mesnetli

Zemin-temel-yapı etkileşimi için yapılacak analizlerde kullanılmak üzere oluşturulacak teorik hesap modellerinde üst yapı bilindiği gibi çerçeve (çubuk), kabuk (yüzeysel) ve solid (hacimsel) elemanlar ile idealize edilebilmektedir. Modelleme aşamasında en karmaşık konu zemin modelinin gerçekçi olarak nasıl oluşturulacağıdır. Zemin modellenmesi konusunda literatürde birçok farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında da zemin-temel-yapı etkileşimini içeren ve pratik olarak uygulanabilecek bir hesap modeli tasarlanması üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde hemen hemen her çalışmada bu kapsamda bir dizi kabullerin yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle zemin-temel-yapı etkileşimini bir arada dikkate alabilmek için geliştirilen hesap modelleri tartışılacak veya eleştirilebilecek birçok hususu içerebilmektedir.

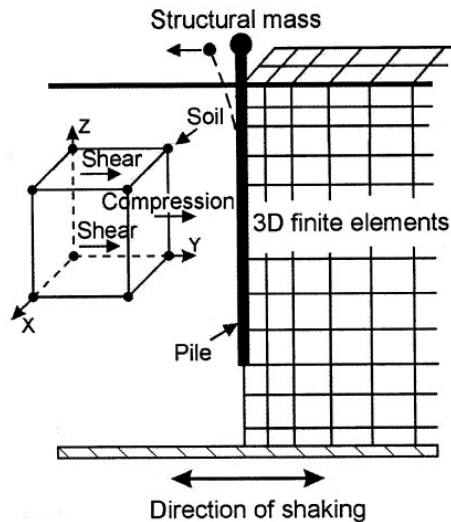
Tez çalışmasının ikinci aşamasında İzmir yeni şehir merkezi olarak yapılaşan Salhane (Bayraklı) mevkiinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Bu bölge bazında inşa edilecek binalar için zemin-temel-yapı etkileşiminin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla bir dizi arazi çalışması yapılmıştır. İlk olarak deney arazisinde önceden yapılmış olan zemin etüdü temin edilmiştir. Zemin etüdüne göre deney arazisinin zemin sınıfı Z4' tür. Yer altı su seviyesi yaklaşık olarak 1.5-2 m civarındadır. Zemin profili genel olarak killi yapıya sahiptir. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda zeminin yaklaşık 1.5 metre kazılmasının ardından 3 adet 6 metre boyunda 139x5 mm boru profil ve 3 adet 6 metre boyunda 120x120x5 mm kutu profil ortalama 4.5 metre derinlikte zemine çakıldıktan sonra içleri donatısız, ince agregalı beton ile doldurulmuştur. Her bir profilin dışarıda kalan bölümünde bir adet tepe noktasına yakın, bir adet zemin seviyesine yakın olmak üzere toplam 2 adet deplasman ölçer vasıtası ile statik yatay yükler altındaki deplasman davranışı incelenmiştir. Böylece elde edilen yapısal parametreler kullanılarak oluşturulan deney düzeneklerinin mikro modellerinin sonlu elemanlar yöntemi ile teorik analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki çalışma sonucunda elde edilen sayısal değerler karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte deney elemanlarının ankastre mesnetli kabule göre teorik analizleri yapıp, zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılan teorik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kıyaslamalar sonucunda oluşturulan teorik analiz modellerinin arazi deneyleri ile yakın sonuçlar verdiği ve deney elemanlarının davranışının ankastre mesnetli kabulden uzaklaştığı tespitleri yapılmıştır.

Tez çalışmasının son aşamasında ise arazi deneylerinde kullanılan çelik profil elemanların zemin seviyesi altında kalan kısımları çakma kazık modeli olarak dikkate alınmıştır. Bu kazıkların taşıyabileceği düşey yük miktarı hesaplandıktan sonra bu tür kazıkların taşıyabileceği ölçekli bir prototip bina modeli tasarlanmıştır. Dizayn edilen model binanın “ankastre mesnetli” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli” kabuller için eşdeğer deprem yükü analizi, lineer davranış spektrumu analizi ve seçilen 3 adet ölçeklenmiş deprem kaydı yardımıyla zaman tanım alanında lineer analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir analiz yöntemi için “ankastre mesnetli” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli” kabullerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda zemin-temel-yapı etkileşimli kabul doğrultusunda gerçekleştirilen teorik analiz sonuçlarının üstyapı ile ilgili önemli yapısal davranış farklılıkları içerdiği, bununla birlikte zemin-temel-yapı etkileşiminin deney arazisine benzer yapısal açıdan olumsuz koşullara sahip zeminler için göz önünde bulundurulması gerekliliği göz önüne serilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

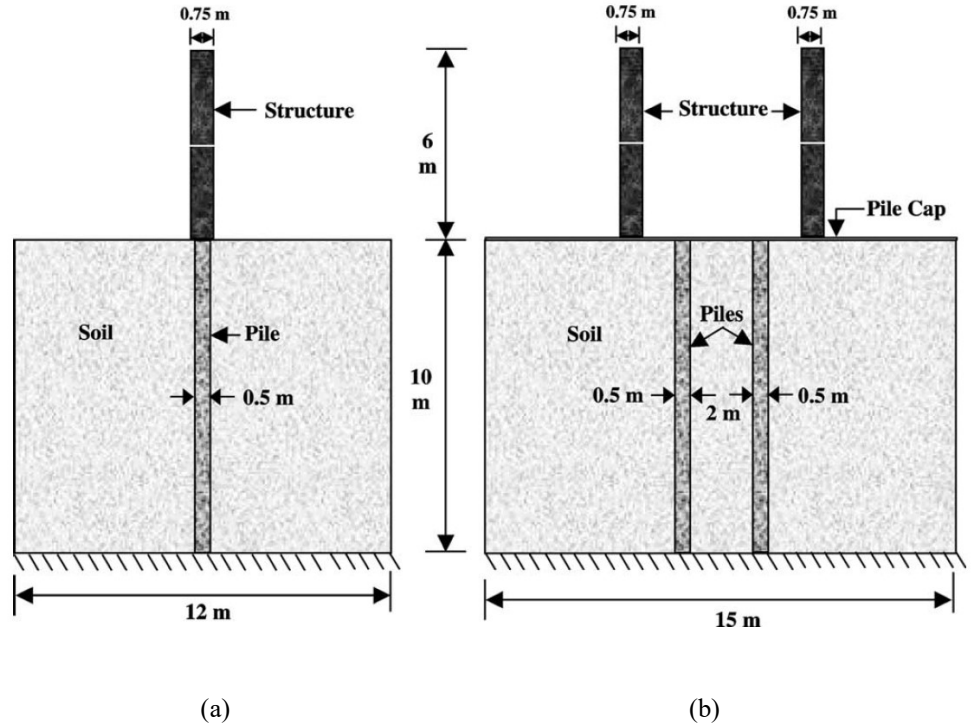
Literatürde zemin-temel-yapı etkileşimlerini içeren birçok çalışma yer almaktadır. Bilgisayarların ve sonlu elemanlar yönteminin gelişmesine paralel olarak bu kapsamdaki yaklaşımlarda da değişiklikler meydana gelmiştir.

Finn and Fujita (2002), yapmış oldukları çalışmada sıvılaşabilen zeminlerde kazıkların sismik analizi ve dizayn kriterlerini incelemiştir. Çalışma zemin ve kazık sisteminin sonlu elemanlar ile modellenmesi hakkında bilgiler içermektedir. 1964 Niigata ve 1995 Kobe depreminde hasar gören kazıklar incelenmiş ve söz konusu kazıklardaki hasarların sebebini kazıkların tasarımının yalnızca düşey yüke göre yapılmış olmasına bağlamışlardır. Bu gözlemlerinin üzerine yaptıkları çalışmada kullandıkları hesap prosedüründe zemin ve kazıkların nonlineer davranışını göz önünde bulundururken, boşluk suyu basıncının ve sıvılaşma davranışının etkilerini de hesaba dahil etmişlerdir. Şekil 2.1’ de çalışmada kullandıkları sonlu eleman modeline ait bilgiler gösterilmiştir. PILE3D isimli yazılımda yaptıkları analizler sonucunda yüksek boşluk suyu basıncının dayanım ve rijitlikte azalmalara yol açabileceğini, sıvılaşma durumunda maksimum deplasmanların kazık başlarında meydana geldiğini, sıvılaşmanın kazık başlarındaki deplasmanları artırıcı yönde etki yapabileceğini, sıvılaşma durumunda kazıklarda maksimum momentin oluşum noktasının değişebileceğini ve aşırı rijit kazık kullanımında kazıklarda kırılmaların meydana gelebileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.1 Kullandıkları Sonlu Eleman Modeli Bilgileri (Finn and Fujita, 2002)

Maheshwari et al., (2004) çalışmalarında zeminin nonlinear özelliklerini de göz önünde bulundurarak, zaman tanım alanında kazık ve kazık gruplarının sismik davranışlarını incelemiştir. Teorik analizlerde “yapı altsistemi” ve “zemin-kazık altsistemi” modelleyerek altsistem yöntemi ile çalışmışlardır. Modelleme aşamasında malzeme nonlinear özelliklerinin göz önünde bulundurulduğu sonlu elemanlar yardımı ile plastisite tabanlı gelişmiş bir zemin modellemesi olan HiSS isimindeki farklı bir zemin modelleme sistemini kullanmışlardır. Şekil 2.2’ de çalışmalarında kullandıkları sistem bilgileri gösterilmiştir. Üstyapı modellerini değiştirmeden, farklı kazık ve kazık grupları üzerinde yaptıkları analizlerin sonuçlarında kendi yaptıkları gibi zemin nonlinear özelliklerinin mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca atalet etkilerinin genel olarak kazık başlarındaki tepkinin artışına neden olduğunu, taban kesme kuvvetlerini az miktarda düşürdüğünü ve kazık gruplarının kullanılması durumunda pik noktadaki değerlerde düşüşlerin olduğunu gözlemlemişlerdir.

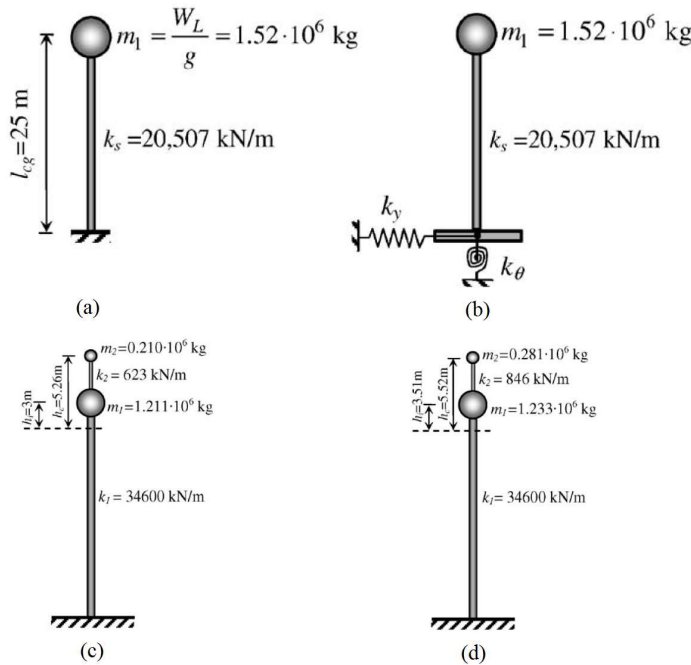


Şekil 2.2 Çalışmalarında Kullandıkları Sistem Bilgileri (Maheshwari et al., 2004) a) Tek Kazıklı Sistem, b) 2 x 2 Kazık Sistemi

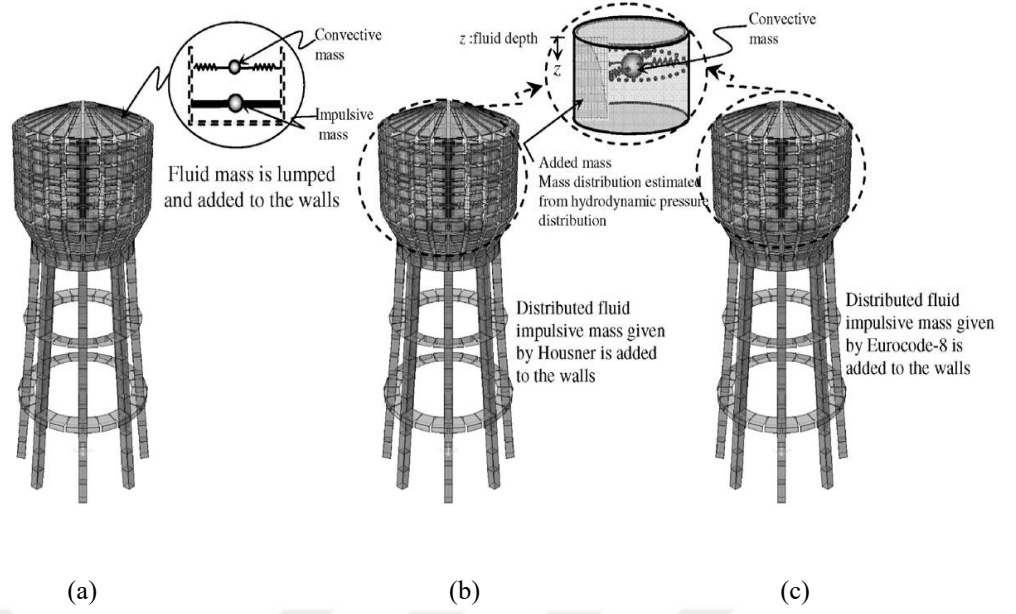
Grondin (2004), yayınladığı araştırma raporunda zemin-temel-yapı etkileşiminin karmaşık bir olgu olduğunu, bu yaklaşım ile yapılacak analizlerin frekans tanım alanında nonlinear olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir.

Çalışmasında ABAQUS yazılımında elastik zemine oturan kiriş problemini yay ve sönümleyicilerle beraber kullanarak modellemiştir. Yapı-zemin etkileşiminde kazıklı temellerin zemine yaptığı enerji salınımını arttırdığını ve bu nedenden dolayı zayıf zeminlerde yapı-zemin etkileşimli kabulde yapılan analizlerde yapı doğal periyodunun ve rölatif deplasmanların arttığını belirtmiştir.

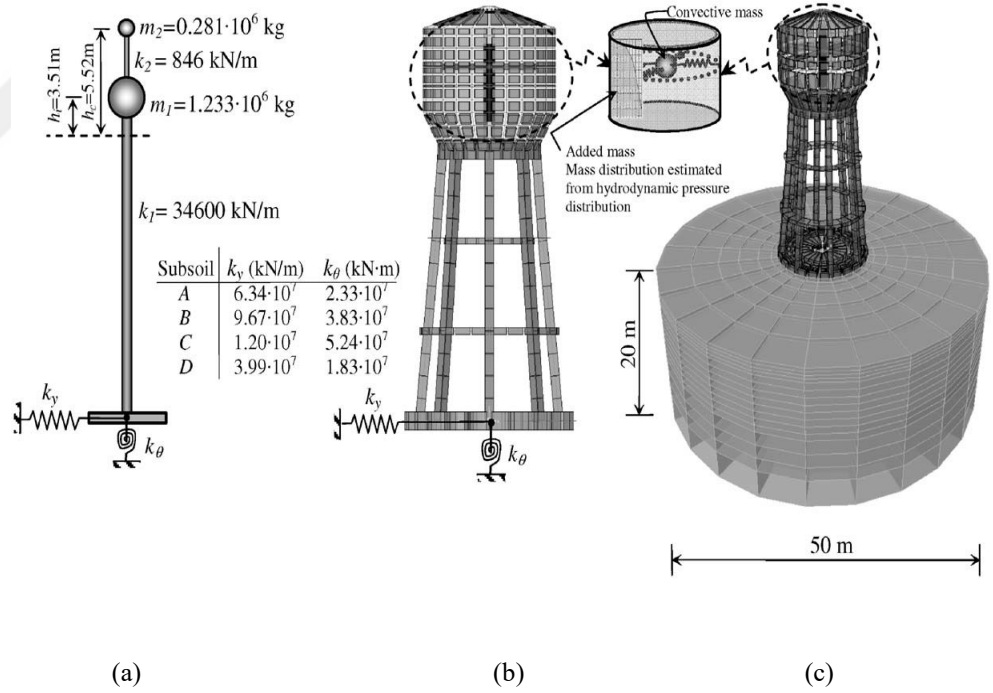
Livaoğlu ve Doğançün (2006), çalışmalarında yüksekte konumlandırılmış sıvı içeren tanklar için yapı-zemin-sıvı etkileşimini incelemişlerdir. 4 farklı zemin sınıfı için 10 farklı tipte betonarme kule tank modelleri üzerinde çalışmışlardır. Bu kule tank modelleri ankastre mesnetli, esnek zemin kabullü, Housner' in çift kütleli basitleştirilmiş modeli, EC-8 basitleştirilmiş modeli, birleştirilmiş kütleli, Housner' in açıklamalı sonlu eleman modeli, EC-8 sonlu eleman modeli, mekanik model, zeminin yaylar ile tanımlandığı sonlu eleman modeli ve zeminin de sonlu elemanlar ile tanımlandığı modeldir. Bu modeller Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' te gösterilmiştir. Şekil 2.6' te kule tank kesiti gösterilmiştir. Çalışma sonucunda betonarme kule tankların modelleme aşamasında yapı-zemin-sıvı etkileşiminin göz önünde bulundurulmaması durumunda sismik performansta gerçeğe uzak davranış gösterebileceği, zemin-yapı etkileşimli analizlerde özellikle D sınıfı zeminlerde 3 veya daha fazla kat taban kesme kuvvetlerinin olabileceği ve yatay deplasmanların beklenenden fazla olarak elde edilebileceğini belirtmişlerdir.



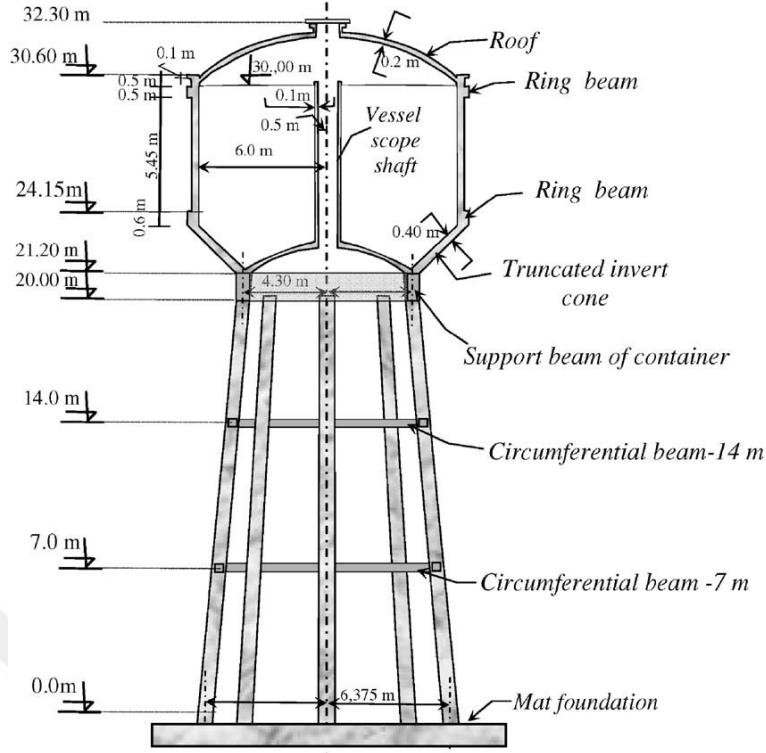
Şekil 2.3 Çalışmada Kullandıkları Modeller 1-4 (Livaoğlu ve Doğançün, 2006) a) Model 1, b) Model 2, c) Model 3, d) Model 4



Şekil 2.4 Çalışmada Kullandıkları Modeller 5-7 (Livaoglu ve Doğangün, 2006) a) Model 5, b) Model 6, c) Model 7

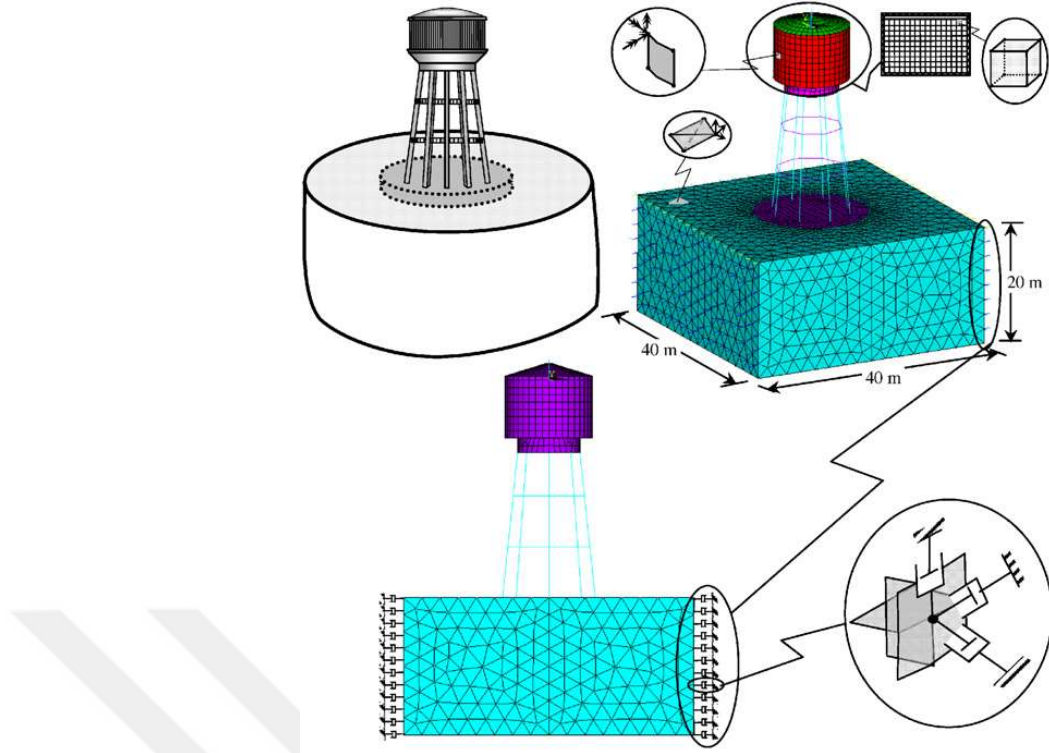


Şekil 2.5 Çalışmada Kullandıkları Modeller 8-10 (Livaoglu ve Doğangün, 2006) a) Model 8, b) Model 9, c) Model 10



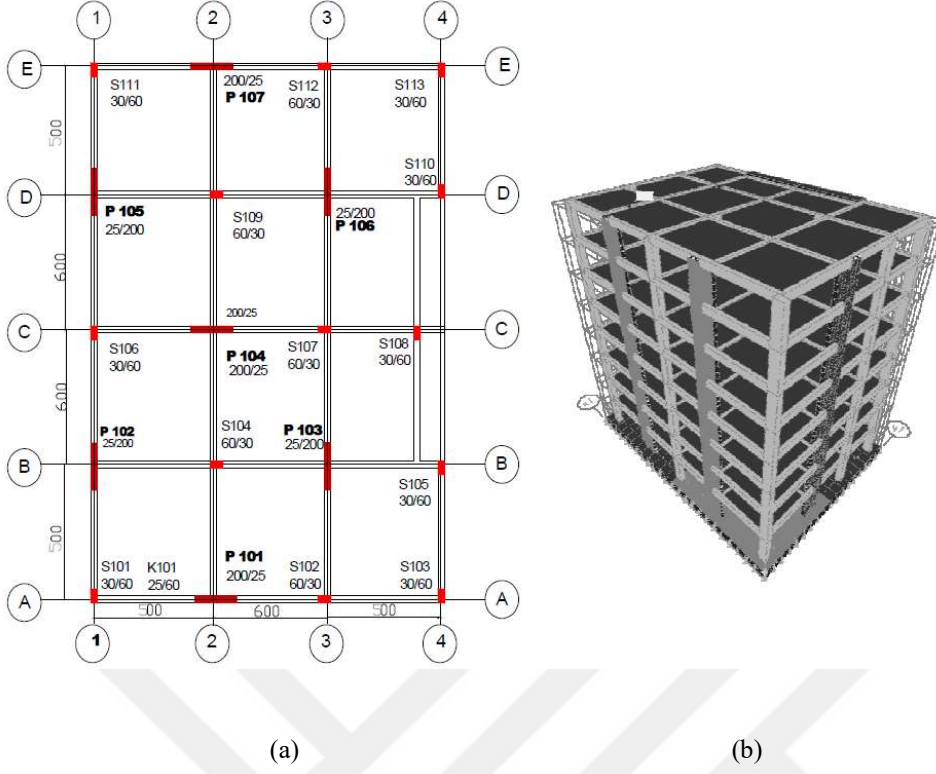
Şekil 2.6 Çalışmada Modelledikleri Kule Tank Kesiti (Livaoğlu ve Doğangün, 2006)

Livaoğlu ve Doğangün (2007), 6 farklı zemin sınıfı için kule tank modelinin yapı-zemin-sıvı etkileşimi probleminde temelin gömülü olma ya da olmama durumuna göre sismik davranışını incelemişlerdir. Önceki çalışmalarında kullandıkları kule tank modelin bu çalışmada da kullanmışlardır (Şekil 2.6). Şekil 2.7’ de modellemeleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. ANSYS yazılımında Lagrangian sonlu elemanlar yaklaşımı ile analizler yapmış olup, temelin gömülü olmama durumunda taban kesme kuvvetlerinin ve tepe noktasındaki deplasmanların daha fazla olduğunu, sağlam zeminden zayıf zemine gidildikçe temelin gömülü olma durumu ve temelin gömülü olmaması durumu arasında tepe noktasındaki deplasman farklarının ve taban kesme kuvveti arasındaki farkların arttığını gözlemlemişlerdir.



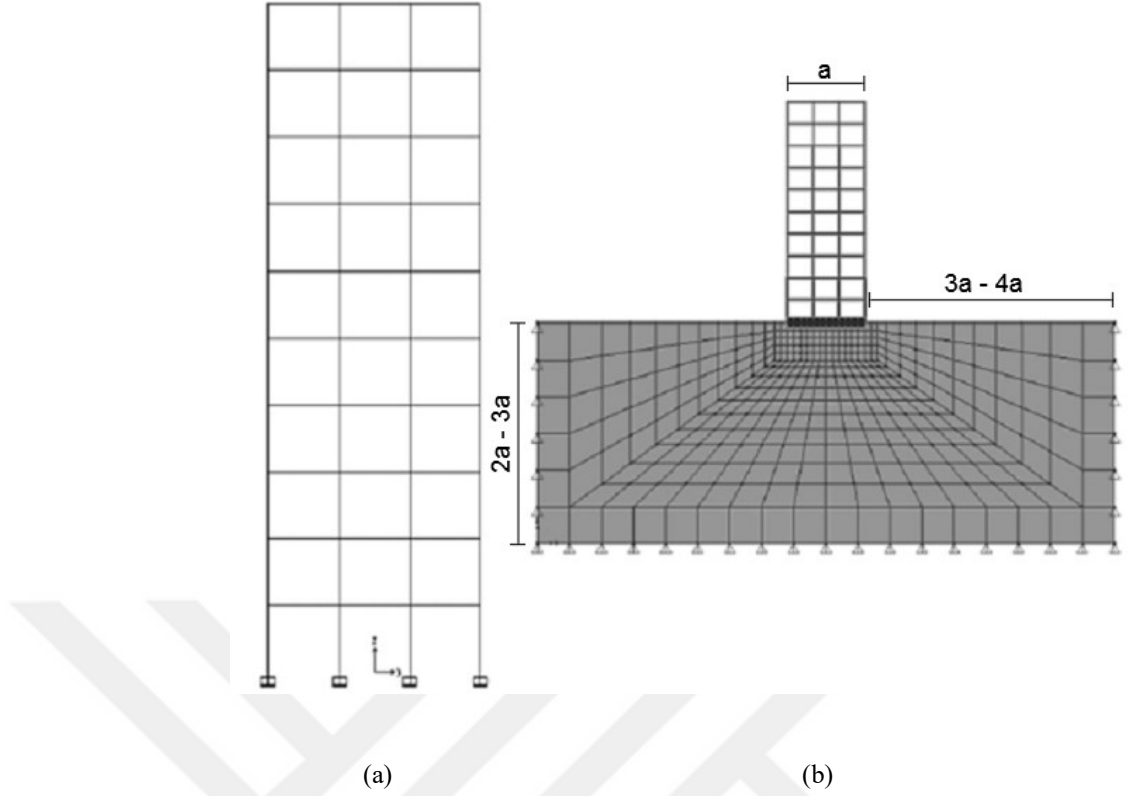
Şekil 2.7 Çalışmada Kullandıkları Model Bilgileri (Livaoglu ve Doğangün, 2007)

Girgin vd., (2008) çalışmalarında zemin-yapı etkileşiminin yapısal tasarımdaki etkisini ankastre mesnetli kabul, sabit yatak katsayısı yöntemi ve değişken yatak katsayısı yöntemini kullandıkları bir çalışmayla incelemiştir. Yaptıkları çalışmada 8 katlı, radye temelli perde çerçeve sistemden oluşan yapıyı ankastre mesnetli kabul, sabit yatak katsayısı yöntemi ve değişken yatak katsayısı yöntemi ile modelleyip analizlerini yapmışlardır. Şekil 2.8' de çalışmada kullandıkları binanın kat planları ve sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Yaptıkları analizler sonucunda değişken yatak katsayılı ve sabit yatak katsayılı yöntemde yapı doğal titreşim periyodunun arttığını, perde ve kolonlarda deprem yükleri paylaşımının değiştiğini gözlemlemiştir. Değişken yatak katsayılı kabul ile yaptıkları analizlerden elde ettikleri sonuçların en yüksek değerlere ulaştığını gözlemlemiştir.



Şekil 2.8 Çalışmada Kullandıkları Bina Bilgileri (Girgin vd., 2008) a) Kat Planları, b) Sonlu Eleman Modeli

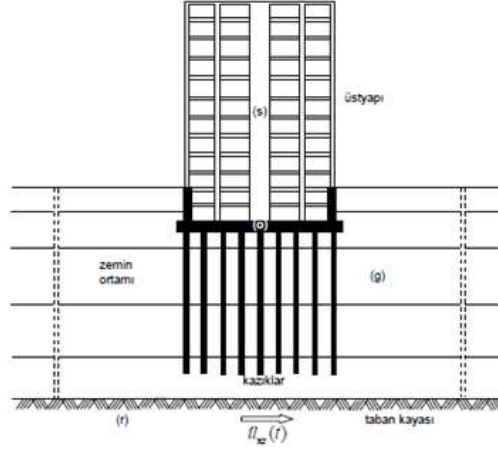
Tabatabaiefar and Massumi (2010), çalışmalarında 3 farklı zemin tipi için 4 farklı binayı SAP2000 yazılımıyla modellemişlerdir. Modelleme aşamasında direkt yöntem kullanmış olup, zemin tabakasında sınır şartlarını oluşturmanın önemli bir konu olduğuna değinmişlerdir. Zemin modellemesi ile ilgili olarak sınırların yatay yönde temel genişliğinin 3-4 katı, düşey yönde temel genişliğinin 2-3 katı büyüklükte olması gerektiğini ve bu büyüklükteki sınırlardan yansıyan dalgaların göz ardı edilebileceğini belirtmişlerdir. Zemin modellemesini 3 boyutlu quadrilateral sonlu elemanlar ile yapmışlardır. İran Standartlarında belirtilen II, III ve IV tip zeminler, 1 adet 3, 2 adet 5, 1 adet 7 ve 1 adet 10 katlı yapı olmak üzere toplam 5 yapının ankastre mesnetli kabul ve yapı-zemin etkileşimli kabul ile zaman tanım alanında (time history) analizlerini yapmışlardır. Şekil 2.9' da analizlerinde kullandıkları modeller belirtilmiştir. Çalışmalarının sonucunda ankastre mesnetli kabul ile yapılan analizlerin sonucuna göre doğal periyodun daha düşük olduğu, yatay deplasmanlar ve sönümün daha fazla olduğu, taban kesme kuvvetlerinde sıklıkla azalmaların olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yapı-zemin etkileşiminin II. Tip zeminler için göz önünde bulundurulmasının gerekli olmadığını, III. Tip zeminler için 7 kat üstündeki yapılarda, IV. Tip zeminler için 3 kat üstündeki yapılarda göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.



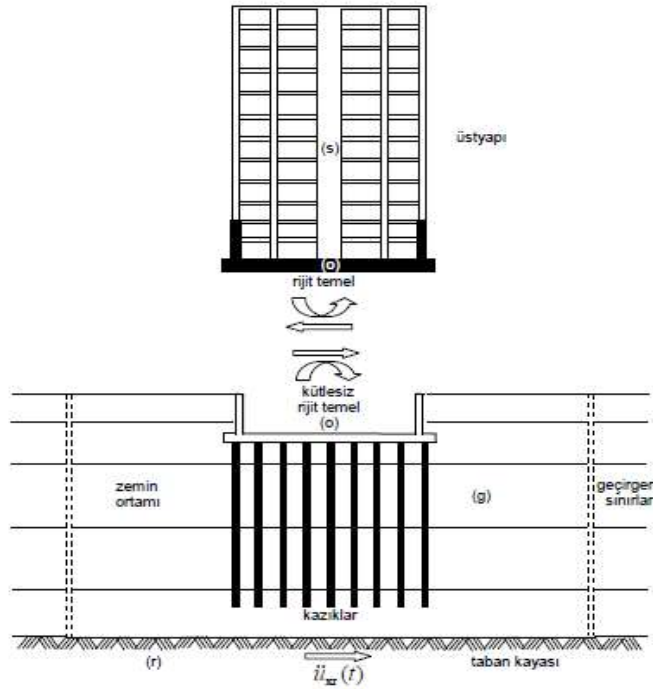
Şekil 2.9 Çalışmalarında Kullandıkları Sonlu Eleman Modelleri (Tabatabaiefar and Massumi, 2010) a) Ankastre Mesnetli Model, b) Zemin-Yapı Etkileşimli Model

Aydınöğlü (2011), İzmir körfezi civarında yapılacak yüksek yapılar ile ilgili hazırladığı raporunda zayıf zeminler üzerinde inşa edilecek olan üstyapı-kazık-zemin ortamının karşılıklı etkileşiminin nasıl olabileceği ile ilgili ve bu etkileşimin deprem hareketini önemli derecede etkileyebilecek özel durumlarda kullanılabilir yapı zemin etkileşimli çözüm yöntemi üzerinde durmuştur. Ayrıca zayıf zeminlerde, zemine göre çok daha rijit olan ve bu sebepten ötürü daha büyük dinamik etkilere maruz kalabilen kazıkların hesabının da yapı-zemin etkileşimli çözüm ile yapılabileceğini belirtmiştir. Aydınöğlü, raporunda “Direkt Yöntem” ve “Altsistem Yöntemi” olmak üzere 2 temel analiz yönteminden bahsetmiştir. Direkt Yöntem için modelleme aşamasında yapay ve geçirgen sınırların kullanılması gerektiğini fakat bu kapsamda mevcut yazılımlarda problemler yaşandığını belirtmiştir. Şekil 2.10’ da Direkt Yöntem için şematik gösterim belirtilmiştir. Altsistem Yönteminin kazıklarla birlikte zemin ortamı ve üstyapının ayrı ayrı modellendiği bir sistem olduğunu belirtmiş olup Altsistem Yöntemi ile bağlantılı olarak yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümü için ilk kez Whitman ve Bielak tarafından “Üç Adım Yöntemi” adı verilen bir yöntemin önerildiğinden bahsetmiştir. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’ de Altsistem

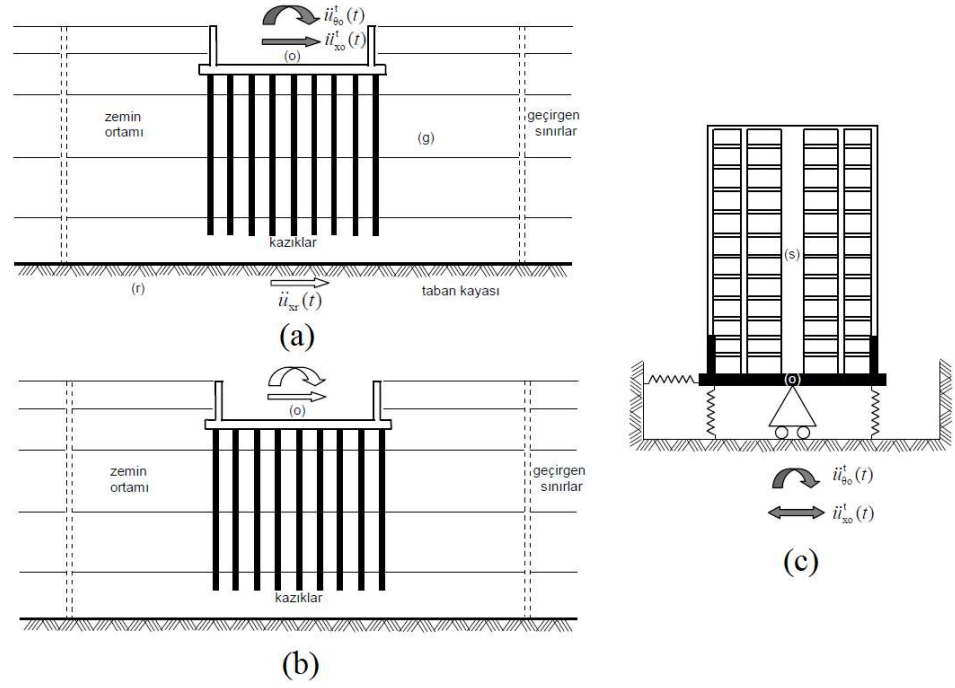
Yöntemi ve Üç Adım Yöntemine ait şematik açıklamaları belirtmiştir. Üç Adım Yönteminde bahsedilen kinematik etkileşimde yapının tek bir kütle olarak temele etki ettiğini ve temel alt kotunda elde edilen değerlerin kullanıldığını belirtmiştir. Eylemsizlik etkileşiminde ise üstyapı temeli tabanında tanımlanan temel etkin yer hareketi bileşenlerinin, yine temel tabanında tanımlanan eşdeğer dinamik rijitlik matrisine karşı gelen yayların altından üstyapıya etki ettirilmesi ile yapılan deprem analizi olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.10 Direkt Yöntem Modeli (Aydınoglu, 2011)



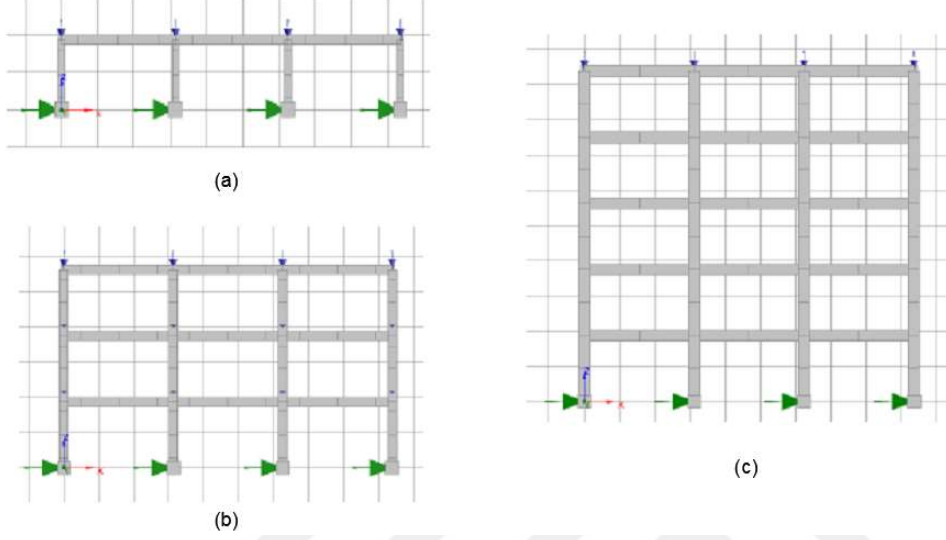
Şekil 2.11 Altsistem Yöntemi Modeli (Aydınoglu, 2011)



Şekil 2.12 Üç Adım Yöntemi (Aydınöğlü, 2011) a) Kinematik Etkileşim (1. Adım), b) Eylemsizlik Etkileşimi için Zeminin Eşdeğer Dinamik Rijitlik Matrisi (2. Adım), c) Eylemsizlik Etkileşimi (3. Adım)

Alkan (2011), yapıları farklı zemin koşulları etkisinde doğrusal olmayan dinamik çözümleme ile incelemiştir. Çalışmasında SeismoStruct isimli farklı bir yazılım kullanmıştır. Kullandığı yazılım zemin modellemesinde değişken yatak katsayısı yöntemini kullanmaktadır. Z1, Z2 ve Z3 tipi zeminler üzerinde inşa edilmesini planladığı X yönünde 3, Y yönünde 2 açıklığa sahip bir, üç ve beş katlı yapıların yapı-zemin etkileşimli ve etkileşimsiz analizlerini yapmıştır. Şekil 2.13' te SeismoStruct yazılımında modellediği binalar gösterilmiştir. Analizlerinde hem malzeme hem de geometrik açıdan doğrusal olmayan yaklaşımı kullanmıştır. Çalışmasında zemin modellemesinde yaylar kullanmış olup, yayları p-y eğrileri ile tanımlamıştır. Çalışması sonucunda, Z1 sınıfı zeminler için tek katlı yapıda yerdeğıştirmelerin maksimum değerlerinin arttığını, taban kesme kuvvetinin azaldığını, 3 katlı yapıda yerdeğıştirmelerin maksimum değerlerinin azaldığını, taban kesme kuvvetinin azaldığını, 5 katlı yapıda yerdeğıştirmelerin maksimum değerlerinde azaldığını, taban kesme kuvvetinin azaldığını gözlemlemiştir. Z2 sınıfı zeminler için tek katlı yapıda yerdeğıştirmelerin maksimum değerlerinin arttığını, taban kesme kuvvetinin sıklıkla azaldığını, 3 katlı yapıda yerdeğıştirmelerin maksimum değerlerin azaldığını, taban kesme kuvvetinin azaldığını, 5 katlı yapıda yerdeğıştirmelerin maksimum değerlerinin azaldığını ve taban kesme kuvvetinin sıklıkla azaldığını gözlemlemiştir. Z3 sınıfı zeminler için tek katlı

yapıda yerdeğiştirmelerin maksimum değerlerinin arttığını, taban kesme kuvvetlerinin sıklıkla azaldığını, 3 katlı yapıda yerdeğiştirmelerin maksimum değerlerinin azaldığını, taban kesme kuvvetinin sıklıkla azaldığını, 5 katlı yapıda yerdeğiştirmelerin maksimum değerlerinin azaldığını, taban kesme kuvvetinin azaldığını gözlemlemiştir.

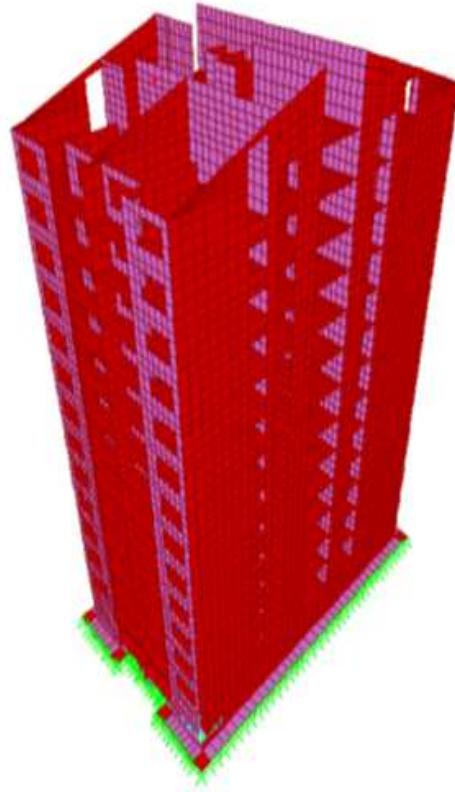


şekil 2.13 SeismoStruct Yazılımında Kullanılan Modellerin X-Z Görünüşleri (Alkan, 2011)
a) Tek Katlı Bina, b) 3 Katlı Bina, c) 5 Katlı Bina

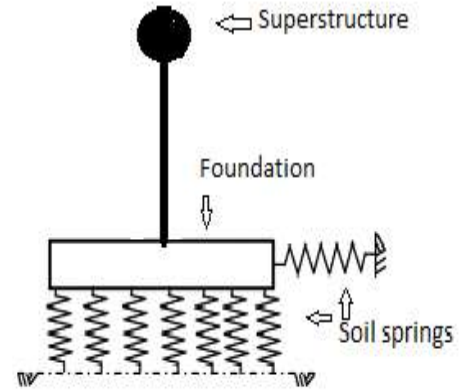
Carbonari et al., (2011) 3 farklı zemin sınıfı ve kazıklı temel üzerinde yer alması düşünölen perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 4 açıklıklı, 3.2 metre kat yüksekliğine sahip 6 katlı yapının lineer zemin-temel-yapı etkileşimini incelemişlerdir. İçlerinde 1999 Kocaeli deprem kaydını da içeren 7 farklı deprem kaydını analizlerinde kullanmışlardır. Yapısal titreşimlerden ya da temelden yansıyan dalgalardan etkilenmeyen hareketler olarak tanımlanabilecek free field etkilerini hesaba katabilmek için ivmeölçerler kurup, ivmeölçer kayıtlarını girdi olarak kullanmışlardır. Zemin-temel-yapı etkileşimi kabulü ile yapılan analizlerin sonucunda taban kesme kuvvetlerinin çoğunlukla azaldığını, kat deplasmanlarının ve görelü kat ötelenmelerinin ise arttığını gözlemlemişlerdir.

Garđarsson (2012), yüksek lisans tezinde zemin-yapı etkileşiminin ortalama yükseklikte bir betonarme bina üzerinde etkilerini incelemiştir. Çalışmada ele aldığı bina İzlanda' nın Reykjavik bölgesinde bulunan 1992 yılında yapılmış, 13 katlı, 41 metre yüksekliğinde, 1 adet bodrum kata sahip olan betonarme binadır. Bina çakıl tabakasına sahip zemin üzerine inşa edilmiştir. 2007 yılı sonbaharında binaya yerleştirilen 2 adet üç eksenli ivmeölçer ile kayıt almıştır. İvmeölçerlerden

bir tanesini yapının son katına, diğerini ise bodrum katına yerleştirmiştir. Binanın beton kalitesini C25/30 olarak tespit etmiştir. Bina modelini SAP2000 yazılımında kabuk elemanlar yardımıyla modellemiştir. Betonarme elemana sahip olmayan çatıya sonlu eleman modelinde yer vermemiştir. Kabuk elemanların boyutlarını yaklaşık olarak 1 x 1 metre olarak almıştır. Sonlu eleman modeli 30136 düğüm noktası ve 29785 kabuk (area) elemana sahiptir. Zemin modellemesi aşamasında SAP2000 programında dönmeye izin veren fakat deplasmana izin vermeyen 3 yönlü yayları kullanmıştır. Yaylar ile ilgili değerleri EERA yazılımıyla hesaplamışlardır. Şekil 2.14' te oluşturduğu sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Tez çalışması sonucunda yapının ankastre mesnetli kabul ile yapılan analizleri sonucunda gerçek dinamik davranışından uzak olduğunu ve spektrum analizi sonucunda taban kesme kuvvetlerinin, taban seviyesinde oluşan momentlerin ve tepe noktasındaki yatay deplasmanların yay içeren modelde daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.



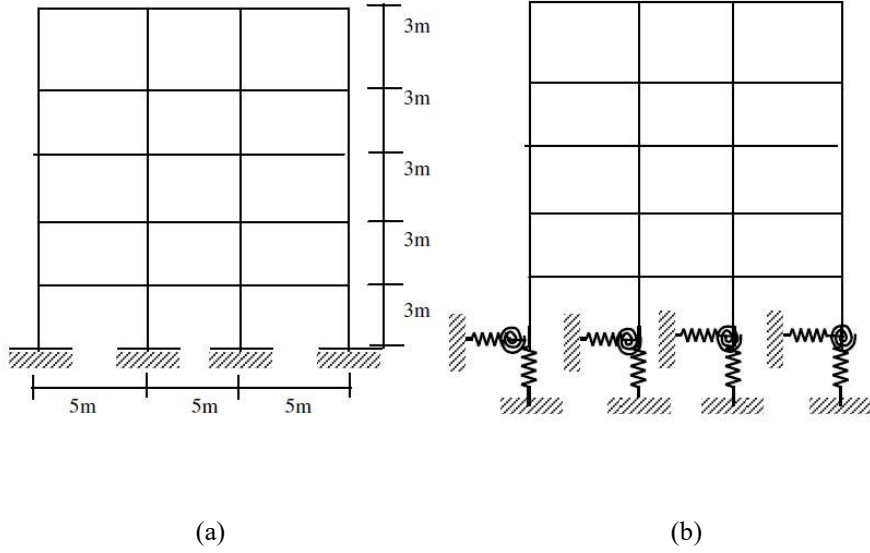
(a)



(b)

Şekil 2.14 a) SAP2000 Sonlu Eleman Modeli, b) Şematik Yay Modeli (Gardðarsson, 2012)

Korkmaz ve Demir (2012), çalışmalarında yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem davranışına etkilerini incelemişlerdir. İki yönde 5' er metre 3 açıklıklı, 3 metre kat yüksekliğine sahip 5 katlı betonarme yapının ankastre mesnetli ve 4 farklı rijitlikte zemin için her iki yönde yerdeğiştirme ve dönme rijitliklerini dikkate alan yaylar ile modellemiş ve doğrusal olmayan analizler yapmışlardır. Şekil 2.15' te oluşturdukları ankastre mesnetli ve yaylı model gösterilmiştir. Yaptıkları incelemeler sonucunda ankastre mesnetli ve farklı yay rijitliklerine sahip yapıların doğal periyotlarını, yapısal deplasmanlarını ve kat ötelemelerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda yay rijitliğinin azalmasıyla yapı doğal periyodunun, yer değiştirmelerin ve kat ötelenmelerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

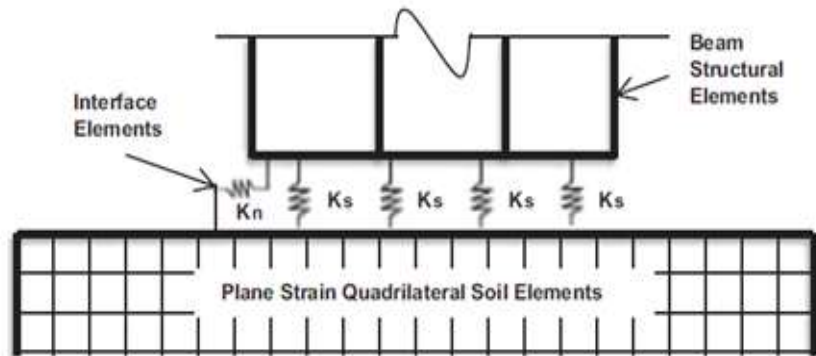


Şekil 2.15 Çalışmada Kullandıkları Modeller (Korkmaz ve Demir, 2012) a) Ankastre Mesnet Kabullü Model, b) Yaylı Model

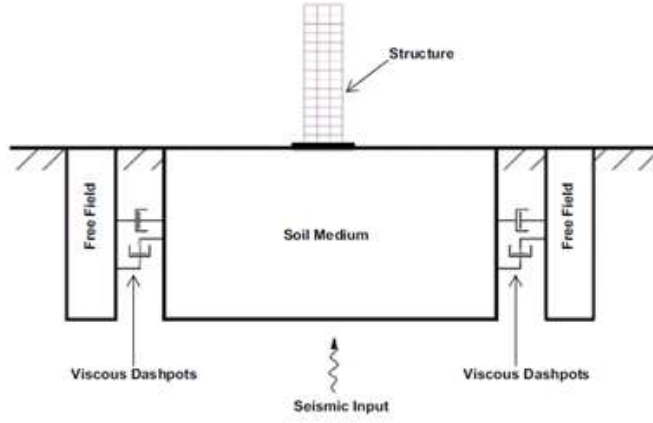
Torabi and Rayhani (2014), çalışmalarında OpenSees yazılımında tek serbestlik dereceli lineer üstyapı ve nonlinear zayıf zemin ortamı ile farklı bir modelleme yöntemi üzerinde durmuşlardır. Daha çok temel ve zemin üzerinde sonuçları incelemişlerdir. Sismik zemin-yapı etkileşimi problemlerinin 3 temel etki altında incelenmesi gerektiğini ve bu etkilerin free field etkileri, kinematik etkiler ve inertial(atalet) etkileri olduğunu savunmaktadırlar. Çalışmalarının sonucunda kinematik etkileşimin temele gelen yer hareketlerini azaltıcı yönde etki yaptığını, yapı ve temel arasındaki rijitlik farklarının inertial(atalet) etkileşimi için önemli parametre olduğunu ve yapı-zemin etkileşimi problemi incelenirken bileşenler arası rezonans durumunun önemli olduğunu ve incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Li et al., (2014) çok katlı binalar için zemin-yapı etkileşiminin çarpma, darbe dayanımına etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında 632 metre yüksekliğe sahip Shanghai Kulesini kullanmışlardır. Altsistem yöntemi ve ANSYS yazılımı ile çalışmayı tamamlamışlardır. Altsistem yönteminde kullandıkları 2 model vardır. Bunlar sırasıyla, nonlinear yapı-eşdeğer lineer zemin ve nonlinear zemin-lineer yapıdır. Bu şekilde farklı modellemeye gitmelerinin sebebinin yapı mühendislerinin genel olarak yapı davranışını inceledikleri ve çok katlı binalarda zemin-yapı etkileşimli inceleme yapılırken üstyapının nonlinear etkilerinin göz ardı edilemeyeceğini savunmalarındır. Çalışma sonucunda düşük frekansa sahip titreşimlerde yapının periyodunun arttığını, zemin-yapı etkileşimli analizler sonucunda Shanghai Kulesi' nin çarpma dayanımının normale göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

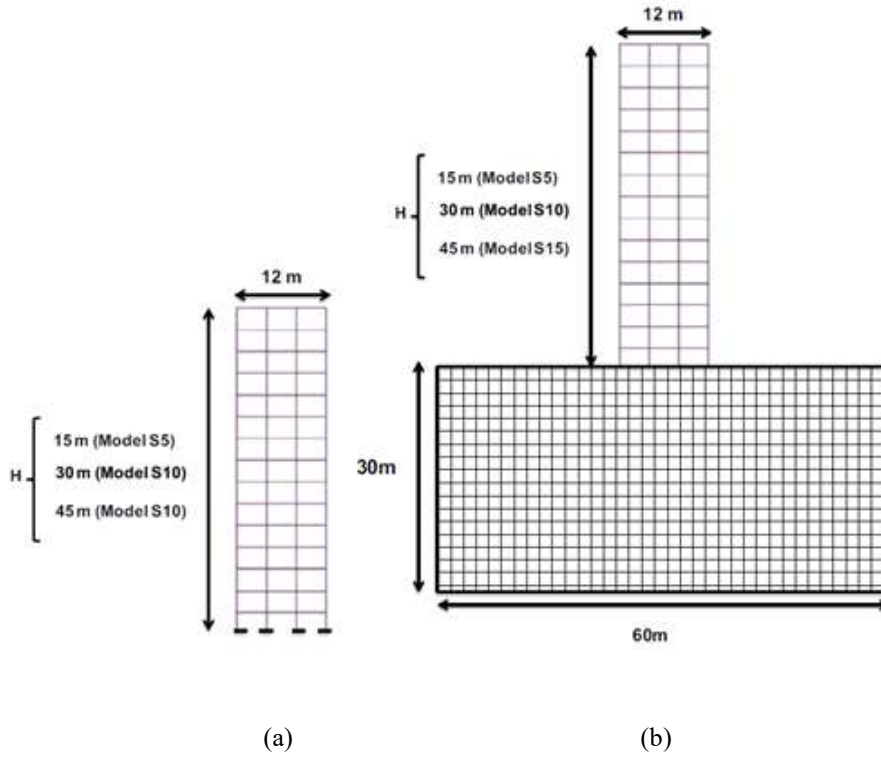
Fatahi and Tabatabaiefar (2014), çalışmalarında 5, 10 ve 15 katlı binaların, Avustralya Standartlarında belirtilen C, D, E tipi zeminlerde FLAC2D yazılımında direkt yöntem ile 2 boyutlu analizini yapmışlardır. Şekil 2.16' da çalışmalarında kullandıkları FLAC2D yazılımındaki modelin arayüz elemanları, Şekil 2.17' de FLAC2D yazılımındaki modelin sınır şartları ve Şekil 2.18' de FLAC2D yazılımında oluşturdukları modeldeki binalar görülmektedir. Çalışmalarında yaptıkları analizlerde Northbridge, Kobe, El Centro ve Hachinohe depremlerinin kayıtlarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda doğal periyot ve sönümde artış, yatay deplasmanlarda artış ve taban kesme kuvvetlerinde genellikle azalmalar tespit etmişlerdir. Ayrıca kazıkların incelemesini yaparlarken ilk 30 metrelik kısımda efektif değerlerin elde edildiğini ve derin temelli yapıların incelemesi yapılırken 2 boyutlu modelin yetersiz kalacağını belirtmişlerdir. Çizelge 2.1 yapıda meydana gelen yatay deplasmanlar ve performans değişimlerini göstermekte olup, araştırmacılar D ve E tipi zeminlerde yapı-zemin etkileşiminin mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamışlardır.



Şekil 2.16 FLAC2D Yazılımındaki Arayüz Elemanları (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014)



Şekil 2.17 FLAC2D Yazılımındaki Modelin Sınır Şartları (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014)

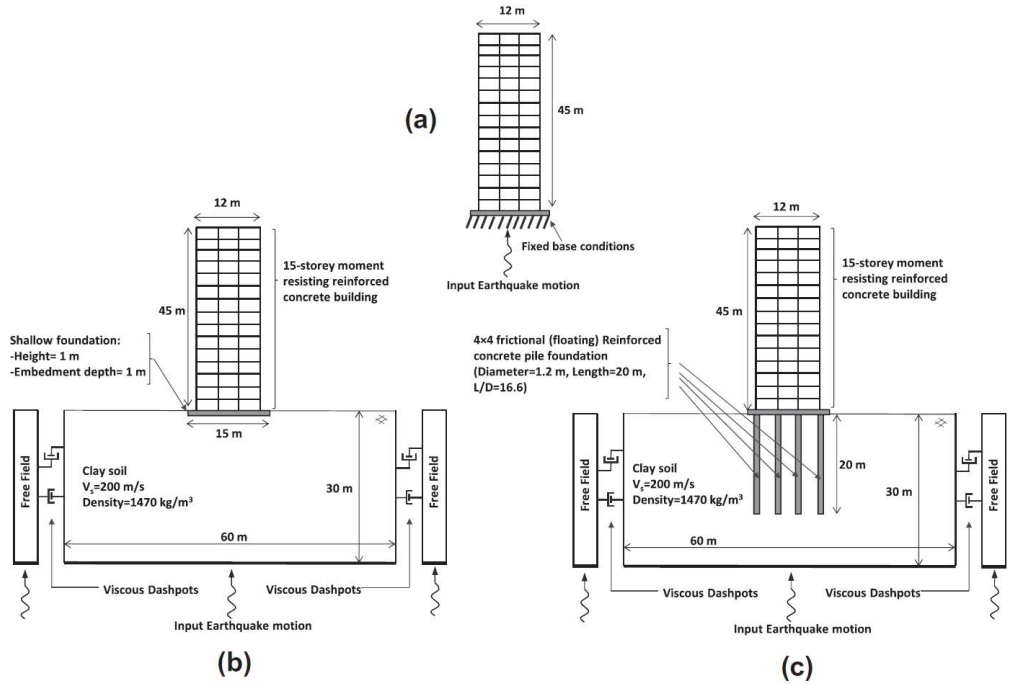


Şekil 2.18 FLAC2D Yazılımında Model Özellikleri (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014) a) Ankastre Mesnetli Bina, b) Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Bina

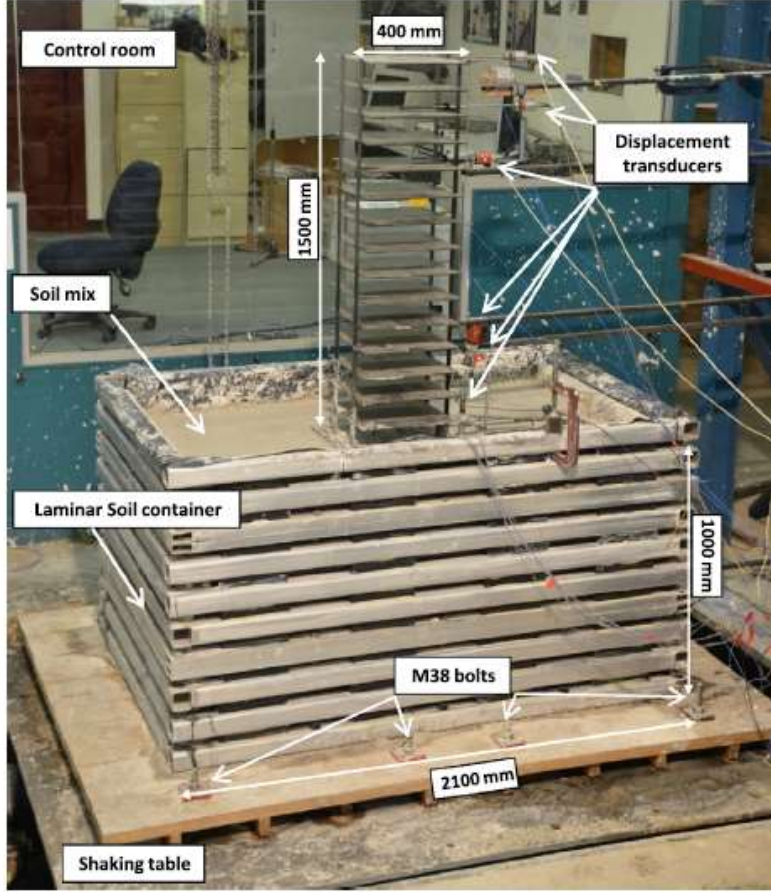
Çizelge 2.1 Çalışmada Elde Ettikleri Sonuçlar (Fatahi and Tabatabaiefar, 2014)

Zemin Cinsi	C	D	E
Kat Sayısı	5 / 10 / 15	5 / 10 / 15	5 / 10 / 15
Yatay Deplasman Değişimi (%)	- / 2 / 4	2 / 7 / 15	7 / 31 / 67
Yapı Performansı	Değişim Yok	Değişim Yok	CG / GÖ / GÖ

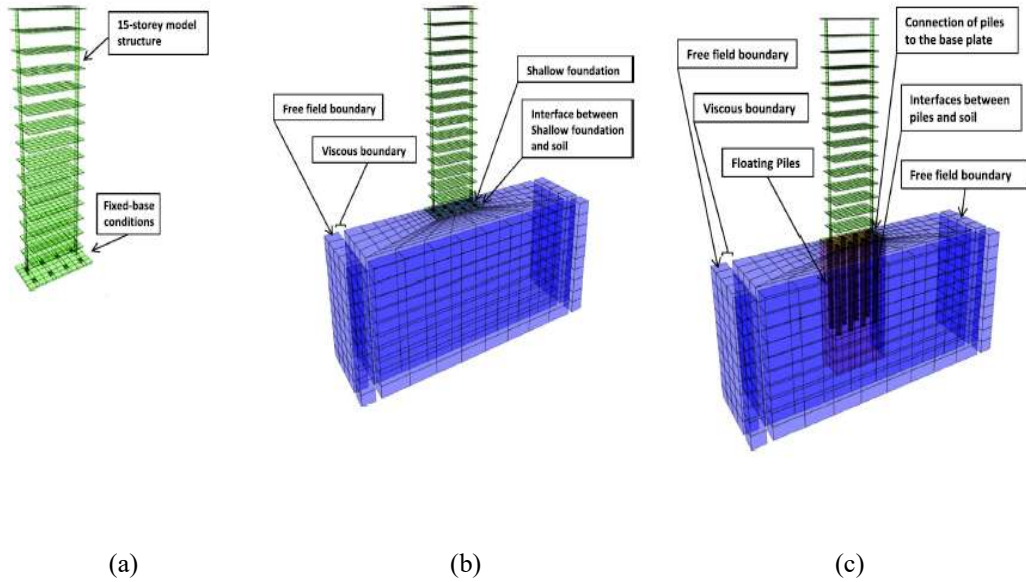
Hokmabadi et al., (2014) çalışmalarında ankastre mesnetli bina, zayıf zeminde sığ temelli bina ve zayıf zeminde sürtünme kazıklı bina olmak üzere 3 farklı deneysel ve FLAC3D yazılımı yardımıyla oluşturulan nümerik modellerin kıyaslamasını yapmışlardır. Zayıf zeminlerde yapı-zemin etkileşiminde free field etkilerinin göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir. Şekil 2.19’ da modellerin detaylı görünümünü göstermişlerdir. Doğal frekansı 0.384 Hz, ağırlığı 953 ton olan bina ve kayma dalgası yayılma hızı $V_s = 200$ m/s, zemin birim hacim ağırlığı 1470 kg/m³ olan kil zemin modelinin 1/30 geometrik ölçek ile laboratuvar ortamında imalatı yapılmıştır. Bu imalat sonucunda ölçekli frekans 2,11 Hz, ölçekli kayma dalgası yayılma hızı $V_s = 36$ m/s olarak bulmuşlardır. Şekil 2.20’ de oluşturdukları deney modelini, Şekil 2.21’ de FLAC3D yazılımındaki sonlu eleman modellerini göstermişlerdir. Çalışma sonucunda zemin-yapı etkileşimli analizlerin sonucunda yapı doğal periyodunda artış, sistemdeki sönümde artış, taban kesme kuvvetlerinde sıklıkla azalmalar ve yatay deplasmanlarda artış gözlemlenmiştir. Ayrıca yapı-zemin etkileşimli kabul ile yapılan deneysel ve nümerik modellerde yatay deplasmanlardaki artışın yapının performansını önemli derecede değiştirdiği ve görece kat ötelenmelerinin arttığı sonucunu önemle belirtmişlerdir.



Şekil 2.19 Çalışmada Kullandıkları Modeller (Hokmabadi et al., 2014) a) Ankastre Mesnetli Model, b) Sığ Temelli Zemin İçeren Model, c) Sürtünme Kazıklı Zemin İçeren Model



Şekil 2.20 Çalışmada Kullandıkları Deney Modeli (Hokmabadi et al., 2014)



Şekil 2.21 FLAC3D Yazılımında Oluşturdukları Modeller (Hokmabadi et al., 2014)

a) Ankastr Mesnetli Model, b) Sığ Temelli Zemin İçeren Model, c) Sürtünme Kazıklı Zemin İçeren Model

Altsistem yöntemi ile nonlinear zemin-kazık-yapı etkileşimi problemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında HiSS adı verilen modelleme yönteminin üzerinde yoğunlaşmışlardır (Cai et al., 1998). Frekans tanım alanında dörtgen betonarme sıvı tanklarının yapı-zemin etkileşimli sismik davranışını incelemişlerdir (Kianoush and Ghaemmaghami, 2011). Üç serbestlik dereceli sonlu eleman modeli ile elastik malzeme içeren silolarda zemin-yapı etkileşimi modellenmesi ve incelemesini yapmışlardır (Durmuş ve Livaoğlu, 2015).

Betonarme kazıkların zemin-kazık etkileşimini incelemişlerdir (Limkatanyu et al., 2009). Sığ temelli yapılarda yapıları tek serbestlik dereceli olarak ele alarak farklı bir yazılım ve yöntemle yapı-zemin etkileşimi incelemişlerdir (Renzi et al., 2013).

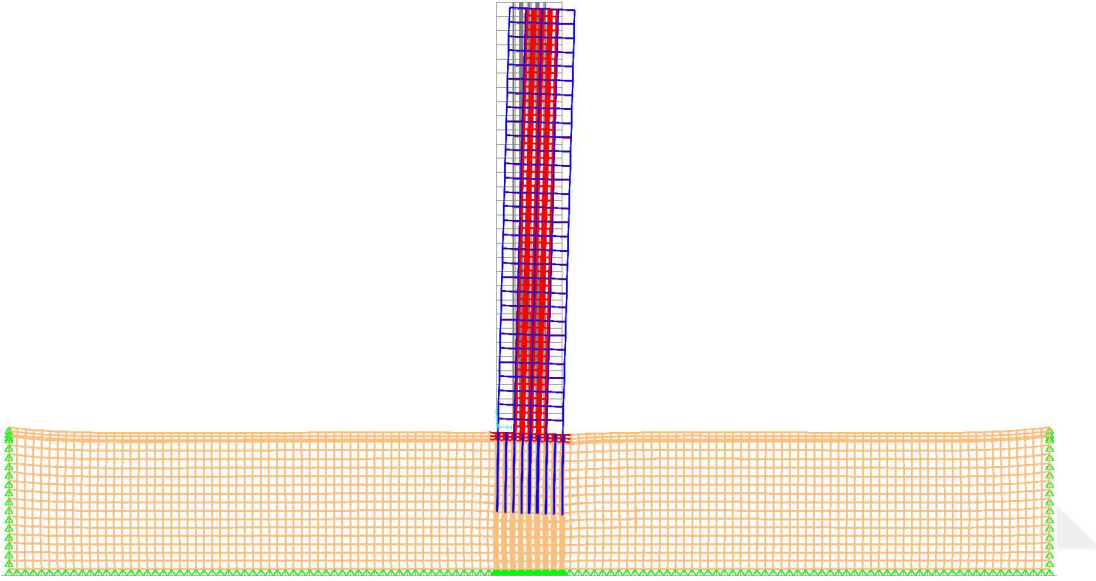
Simetrik rüzgar yükleri altında hiperbolik soğutma kulelerinin statik zemin-yapı etkileşimini incelemişlerdir (Viladkar et al., 2006). Frekans tanım alanında zemin-yapı etkileşimli yaklaşım ile rüzgar türbinleri için temel tasarımı konusunda çalışmalar yapmışlardır (AlHamaydeh and Hussain, 2010). Zemin-yapı etkileşimli yaklaşım ile rüzgar türbinlerinin dinamik analizini yapmışlar ve sonuçlarını incelemişlerdir (Harte et al., 2012). Rüzgar yükleri altında çok katlı binalarda zemin-temel-yapı etkileşimini incelemişlerdir (Venanzi et al., 2014).

Erken tarihlerde zemin-yapı etkileşimi ve zemin-yapı etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar ile ilgili derleme yapmıştır (Kausel, 2009). Yapı-zemin-yapı etkileşimi ile ilgili literatür tarama çalışması yapmışlardır (Menglin et al., 2011)

3. ZEMİN-TEMEL-YAPI ETKİLEŞİMİ

3.1 Giriş

Zemin-temel-yapı etkileşimi en genel açıklamasıyla özellikle deprem anında zemin, temel ve yapının birbiri ile karşılıklı etkileşimleri durumudur. Şekil 3.1’ de zemin, temel ve üstyapıyı içeren tipik bir teorik analiz modelinde sistemin geneline ait deforme olmuş X-Z görünüşü arttırılmış ölçekte gösterilmiştir.

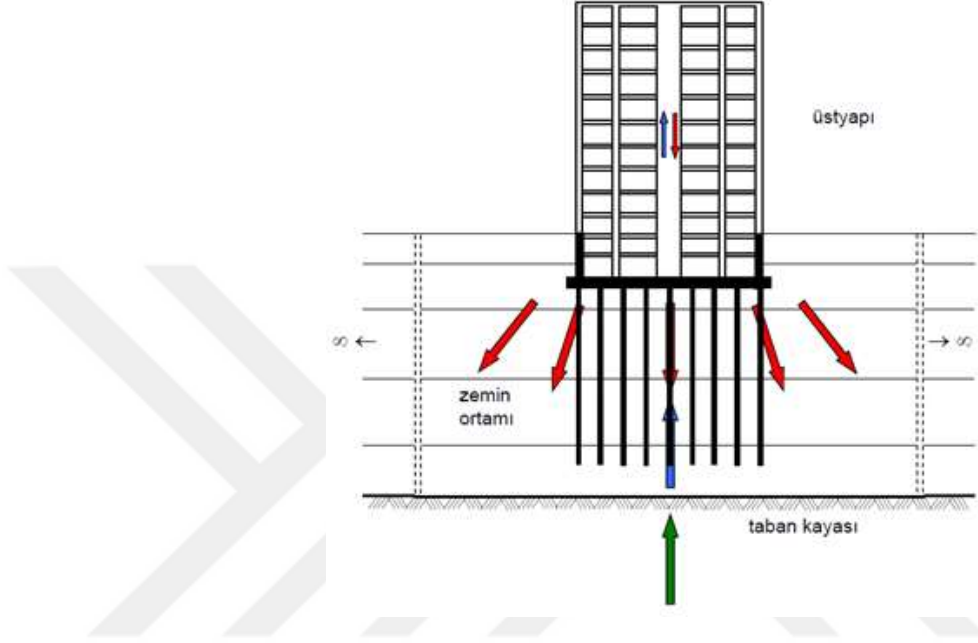


Şekil 3.1 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Analiz Sonucu Deforme Olmuş Sistemin Ölçekli Görünüşü

Aydınoğlu (2012), zemin-temel-yapı etkileşimini ele alırken bir kısım varsayımların önemli olduğunu belirtmiştir. Bu varsayımları;

- Deprem yer hareketinin yatay ve düşey doğrultuda ilerlediği varsayılan deprem dalgalarının sonsuz rijit yatay taban kayası düzleminde meydana getirdiği yatay ve düşey hareketler olduğu
- Taban kayası üzerindeki zeminin yatay tabakalı bir ortam olduğu
- İlk iki varsayımın sonucu olarak deprem dalgalarının tabakalı zemin ortamı içinde düşey doğrultuda hareket ettiği ve tabaka sınırlarından kırılıp yansyarak zemin yüzeyine ulaştığını ve yüzeyde yine yatay ve düşey yer hareketleri oluşturduğu şeklinde belirtmiştir.

Aydınöglü (2012), belirtilen bu varsayımlar doğrultusunda zemin-temel-yapı etkileşimi için taban kayasında tanımlanacak olan deprem dalgalarının bir kısmının temel ortamından yansyarak zemine geri döndüğünü, bir kısmının ise üstyapıya geçerek üstyapıya etki ettiğini ve üstyapıdan zemin ortamına geri döndüğünü söylemektedir (Şekil 3.2). Zemin, temel ve yapı arasındaki etkileşimler bu şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.2 Deprem Dalgalarının Zemin-Temel-Üstyapı Arasında Hareketi (Aydınöglü, 2012)

Zemin-temel-yapı etkileşimi problemlerinin çözümleri için “direkt yöntem” ve “altsistem yöntemi” olmak üzere 2 farklı yöntem önerilmektedir. Direkt yöntemde zemin, temel ve üstyapı beraber modellenir ve zeminin sonsuzluğunu belirtmek için büyük zemin tabakaları veya geçirgen sınırlar kullanılması uygun görülür. Altsistem yönteminde ise zemin ve temel ayrı, üstyapı ayrı olarak modellenir. Modellenen farklı altsistemlerden sonuçlar birbirleri üzerine aktarılarak kullanılırlar.

Direkt yöntem ile analizde zemin, temel ve üstyapı beraber idealize edileceğinden geometrisi ve işlem hacmi çok büyük boyutlara ulaşmaktadır. Yüksek kapasiteli bilgisayarlar yardımı ile analizler yapılabilmekte olup yorucu ve zaman alıcı çalışmalar gerektirir. Direkt yönteme ait şematik gösterim literatür çalışmaları kısmında gösterilmiştir (Bkz. Şekil 2.10).

Altsistem yöntemi ile analizde kinematik ve eylemsizlik etkileşimi olmak üzere 2 tip etkileşim mevcuttur. Bu etkileşimler multidisipliner çalışma yapacak olan kişiler için görev tanımını da belirleyebilmektedir. Kinematik etkileşimde yapı tek bir kütle olarak ele alınıp temele etki ettirilir ve temel alt kotunda elde edilen değerler kullanılır. Eylemsizlik etkileşiminde ise üstyapı temeli tabanında tanımlanan temel etkin yer hareketi bileşenleri, yine temel tabanında tanımlanan eşdeğer dinamik rijitlik matrisine karşı gelen yayların yardımıyla üstyapıya etki ettirilir (Aydınoglu, 2011). Altsistem yöntemine ait şematik gösterim de önceki bölümlerde gösterilmiştir (Bkz. Şekil 2.11).

Tez çalışması kapsamında çeşitli yönetmeliklerdeki zemin-temel-yapı etkileşimi konularının taraması yapılmıştır. Yapılan araştırmalar ve değerlendirmeler sonucunda tez kapsamında kullanılması düşünülen analiz yönteminin seçimine karar verilmiştir.

ASCE 7-10 (2010)' da zemin-yapı etkileşimli çözümde eşdeğer yatay yük yöntemi için taban kesme kuvvetinin azaltılabileceği, azaltılmış taban kesme kuvvetinin ankastre mesnetli elde edilen taban kesme kuvvetinin 0.7 katından az olmaması gerektiği belirtilmiştir. Modal analizlerde ise her mod için ayrı taban kesme kuvveti azaltması yapılması gerektiği açıklanmıştır. Ayrıca bina periyodunun temelin dönme ve yatay rijitliklerine bağlı olarak yeniden hesaplanması gerektiği vurgulanmıştır.

EN 1998-1 (2004)' de S1 tipi zeminler gibi düşük kayma dalgası hızına sahip zayıf zeminlerde zemin-yapı etkileşiminin etkilerinin ortaya çıkabileceği ifade edilmiştir. Bu konu ile ilgili olarak EN 1998-5 6. Bölüm' e yönlendirme yapmışlardır. Bunun yanı sıra zemin-yapı etkileşimli yapısal analizlerde temelin deforme olabilmesi durumunun yararlı etkileri olsa bile mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir.

EN 1998-5 (2004)' te zemin-yapı etkileşiminin 2. Mertebe etkilerin önemli rol oynadığı yapılarda, büyük temelli yapılarda, köprü ayaklarında, silolarda, ince uzun yapılarda, kayma dalgası hızının 100 m/s' den az olduğu S1 gibi zayıf zeminlerde göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir. Zemin-yapı etkileşimli kabul ile analiz yapılacak binada rijit olmayan temel kabulüne bağlı olarak oluşacak temeldeki dönmeler, yapı periyodunun zemin-yapı etkileşimli çözümlenelerde daha yüksek olması, mod şekillerinin ve doğal periyotların farklılığı ve sönüm oranlarının farklı olmasının zemin yapı etkileşimli (esnek

temelli) binanın davranışı ile ankastre mesnetli binanın davranışı arasında farklara yol açtığı sonucu açıklanmıştır.

FEMA 356 (2000)' da zemin-yapı etkileşiminin yapı doğal periyodunun arttığı binalarda hesaba katılması gerektiği, yapı doğal periyodunun azaldığı binalarda ise göz önünde bulundurulmayabileceği ifade edilmiştir. Bununla birlikte özellikle zayıf zeminlerde zemin-yapı etkileşimi için periyotların arttığı ve bu tip zeminlerde zemin-yapı etkileşiminin mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. Hesap prosedüründe basitleştirilmiş olarak zemin-yapı etkileşiminde sismik tepkilerin azaltılması sırasında ankastre mesnetli sismik tepkilerin %25' inden fazla azaltma yapılamayacağı uyarısı yapılmıştır.

FEMA 440 (2005)' ta zemin-yapı etkileşiminin kısa ve rijit binalarda etkili olmadığı, zemin-yapı etkileşimli analiz sonuçlarının genel olarak sistem periyodunda artış, yapısal elemanlar arasında yük ve deplasman dağılımında değişme, elastik olmayan davranışlar ve bu davranışlara bağlı farklı modlar olduğu belirtilmiştir. Bunların yanı sıra FEMA 440' ta kinematik etkiler ve temeldeki sönüm oranları için belirli hesap yöntemleri de önerilmiştir.

DBYBHY (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007)' de "C ve D grubu zeminlere oturan kolon ve özellikle perde temellerindeki dönmelerin taşıyıcı sistem hesabına etkileri, uygun idealleştirme yöntemleri ile göz önüne alınmalıdır" maddesi yer almaktadır. Bu durum C ve D grubu zeminlerde yapılacak olan binalarda zemin-temel-yapı etkileşiminin hesaba katılacağını belirtmektedir. Mevcut yönetmeliğimiz olan DBYBHY (2007)' de zemin-temel-yapı etkileşimi konusunda başka madde yer almamaktadır.

TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2016) taslağında dinamik zemin-yapı etkileşimi analizlerinde deprem dalgalarının zemin profilinde yayılımı sırasında oluşan kayma birim şekil değiştirmesi ile uyumlu eşdeğer hysterik sönüm katsayısı kullanımı zorunlu kılınmıştır. Bu katsayının hesabının arazi ve laboratuvar deneylerine ve benzer zemin koşulları için literatürde yer alan ve genel kabul gören bilgilere göre yapılması gerektiği belirtilmiştir. Zeminin ZD sınıfından daha zayıf olduğu durumlarda 3 boyutlu dinamik yapı-zemin etkileşim hesaplarının yapılması ve sonuçların bina hesaplarında kullanılması gerektiği ayrı bir maddede taslakta yer almıştır. Temelin yüzeysel olması durumunda, göreceli yumuşak zeminlerde bina türü yapılar için zemin-yapı etkileşiminin binayı elverişli yönde etkilediği ve eşdeğer deprem yüklerinin azaldığı ve bu nedenlerden

dolayı güvenli tarafta kalma açısından yüzeysel temele sahip binalarda yapı-zemin etkileşiminin ihmal edilebileceği ifade edilmiştir. Zemin-kazık-yapı etkileşimi için 3 farklı hesap yöntemi önerilmiştir. Deprem tasarım sınıfı, bina yükseklik sınıfı ve yerel zemin sınıfına uygun olarak 3 yöntemden yönetmelikçe uygun olanının, “altsistem yöntemi” ya da “direkt yöntem” (ortak sistem yaklaşımı) yardımıyla kullanılması önerilmiştir.

TBDY (2016) taslağında bu kapsamda yer alan yöntemler aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Yöntem I' de altsistem yöntemi ya da direk yöntem uygulanabileceği belirtilmiştir. Altsistem yöntemi kapsamında kinematik etkileşim hesabı için temel-kazık-zemin sistemi modelinde mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliğinin, en büyük bina genişliğinden ve en uzun kazık boyundan az olmaması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca sonlu zemin modelinin sınır noktalarında geçirgen sınırlar kullanılması gerektiği ve bu sınırların boyutlarının binaya her iki yönde eşit olacak şekilde bina genişliğinin 2 katından daha az olmaması gerektiği ifade edilmiştir. Kinematik etkileşim modellemesinde bina temelini, bodrum kat çevre perdeleri ile birlikte, kütesiz ve sonsuz rijit bir eleman olarak modellenmesi gerekmektedir. Ayrıca kazıklarda grup etkisinin dikkate alınması gerektiği uyarısı da yapılmıştır. Analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının en az iki bileşenli 11 adet olması gerektiği ve zaman tanım alanında yapılacak analizler sonucunda kazıklar için her bir analize ait sonuçlardan en büyüklerinin mutlak değerlerinin ortalaması olarak kullanılacağı, temel tabanında tanımlanacak serbestlik derecelerine ait analiz çıktılarının (etkin temel hareketleri) eylemsizlik etkileşiminde kullanılacağı belirtilmiştir. Eylemsizlik etkileşimi hesabı için temel-kazık-zemin sisteminde rijit temelin tabanında iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme serbestlik dereceleri için ayrı ayrı statik tekil kuvvetlerin artımsal statik olarak etki ettirilmesi ile her bir serbestlik derecesi için, zemin-temel-kazık sistemine eşdeğer etkileşim yaylarına ait doğrusal olmayan kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin elde edilmesi gerektiği açıklanmıştır. Elde edilen eşdeğer etkileşim yaylarının bodrum katları ve temeli ile tanımlanan üstyapı modelinde kullanılarak bina modellemesinin yapılmasının uygun olduğu ifade edilmiştir. Analizler sonucunda zemin, kazık ve yapıya ait sonuçların hesaplanabileceği belirtilmiştir. Ortak sistem yaklaşımında analizlerin bilgisayar donanım ve yazılım olanaklarına bağlı olarak üstyapı, temel, kazıklar ve zeminin altsistem yöntemi ile belirtilen eylemsizlik ve kinematik etkileşim

modellerinin birleştirilmesi ile modellendikten sonra taban kayasında tanımlanacak deprem etkisi altında yapılabileceği vurgulanmıştır.

Yöntem II' de altsistem yöntemi ya da direk yöntem uygulanabileceği belirtilmiştir. Altsistem yöntemi kapsamında kinematik etkileşim hesabı için zemin ortamı modellemesi yapılmasına gerek olmadığı, kazıkların plastik mafsalların belirli aralıklarla yer aldığı çubuk elemanlar ile modellenebileceği ifade edilmiştir. Kazıkların her bir düğüm noktasında p-y, t-z yayları ve kazık ucunda ise Q-Z yayı ile modellenebileceği, kazıklarda grup etkisinin dikkate alınması gerektiği açıklanmıştır. Deprem kayıtları olarak serbest zemin davranış analizlerinde taban kayasında her iki yatay doğrultuda ayrı ayrı etkiletilen deprem kaydı çiftinden zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen toplam yerdeğiştirmelerin zaman göre değişimlerinin kullanılması ile beraber zaman tanım alanında dinamik yerdeğiştirme yüklemesi ile analizlerin yapılabileceği belirtilmiştir. Kinematik etkileşim sonuçlarında kazıklarda her bir analizde elde edilecek sonuçların en büyüklerinin mutlak değerlerinin ortalamasının kullanılacağı, Yöntem I' e benzer şekilde temel tabanında tanımlanacak serbestlik derecelerine ait sonuçların (etkin temel hareketleri) eylemsizlik etkileşimi analizinde kullanılacağı yazılmıştır. Eylemsizlik etkileşimi analizinin Yöntem I' e göre tek farkının kinematik analiz hesap modelinin farklı olduğu ve Yöntem I için belirtilen işlem adımlarının uygulanabileceği ifade edilmiştir. Direkt sistem yaklaşımında hesap yöntemi modellenen temel, kazık ve üstyapı modelinde kazıklar için kinematik ve eylemsizlik etkileşim modellerinde belirtilen p-y, t-z ve Q-Z yaylarının kullanımı ile zaman tanım alanında analizi olarak vurgulanmıştır. Üstyapı ve kazıklara ait sonuçların bu analizler sonucunda hesaplanacağı belirtilmiştir.

Yöntem III' te Yöntem II' ye benzer fakat daha basitleştirilmiş bir hesap yönteminden bahsedilmiştir. Yöntem III için ortak sistem yaklaşımı yönetmelik taslağında yer alamamıştır. Kinematik etkileşim analizinde kazıkların göz önüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal davranış esas alınarak çubuk elemanlar olarak modellenmesinin uygun olacağı ifade edilmiştir. Kazıklarda Yöntem II' de belirtildiği şekilde p-y, t-z ve Q-Z yaylarının kullanılacağı, kazıklarda grup etkisinin göz önünde bulundurulması gerektiği açıklanmıştır. Oluşturulacak temel-kazık-zemin sisteminin analizi için statik artımsal yerdeğiştirme yüklemesi kullanılması önerilmiştir. Yükleme sonuçlarında elde edilen kazık sonuçlarının her bir yüklemekten elde edilen sonuçlardan en büyüğünün mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacağı belirtilmiştir. Yöntem I ve Yöntem II' deki

şekilde temel tabanında elde edilecek etkin temel hareketlerinin bu yöntemde hesaplanmasının söz konusu olmadığı, bunlar yerine yaklaşık olarak hesaplanan serbest zemin davranış analizlerinden temel tabanında elde edilen spektrumların ortalamasının eylemsizlik etkileşiminde tasarım spektrumu olarak kullanılacağı açıklanmıştır. Eylemsizlik etkileşimi hesabının oluşturulan yapı-temel-kazık sisteminde kazıklarda p-y, t-z ve Q-Z yaylarının kullanılması ve yayların başlangıç rijitliklerinin ele alınması, bodrum katların ve temelin kütlelerinin göz önüne alınması ile birlikte göz önüne alınan deprem doğrultusundaki deprem spektrumunun kullanımı ile olacağı belirtilmiştir. Bunlarla birlikte analiz sonunda üstyapı ile kazık sonuçlarının hesaplanabileceği söylenmiştir.

İlgili yönetmeliklerde yapılan incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda TBDY (2016) taslağında yer alan Yöntem I için direkt yöntem hesabında belirtilen ortak sistem benzeri bir yöntem bu tez çalışması kapsamında kullanılmıştır.

3.2 Tarihsel Gelişim

Zemin-yapı etkileşimi veya zemin-temel-yapı etkileşimi konularının ön plana çıkması ve incelenmeye başlanması ile birlikte ele alınması gereken birçok problemin mevcut olduğu görülmüştür. Kinematik etkileşim, eylemsizlik etkileşimi, temel ve zemin ortamının statik veya dinamik yükler altındaki davranışları, temelin yüzeysel ya da derin olma durumuna göre yapısal davranıştaki değişiklikler ve zemin-temel-yapı etkileşiminde üstyapının davranışı, artan işlem hacmi ile birlikte yeni yazılım gerekliliği bu problemlerin başlıcalarıdır.

Kausel (2010), belirtilen problemlerin çözümü ile ilgili olarak ilk çalışmaların elastik yarı uzay üzerindeki yüklemeler üzerine yapılmış olduğunu ve bu çalışmaları yapan Fransız matematikçiler Gabriel Lamé ve Benoît Paul' un çalışmalarından mantıklı sonuç alamadıklarını belirtmiştir. 1848 yılında Sir William Thomson' ın sonsuz elastik katı cisim üzerindeki statik yükler sonucunda oluşabilecek deplasmanlar için bir çözüm ortaya koyduğunu, 1849 yılında ise Sir George Gabriel Stokes' un yaptığı çalışmalarda zamana bağlı harmonik yükler ve statik yükleri kullandığını ve bu çalışmaların bugünkü Boundary Element Method (Sınır Elemanları Metodu - BEM) için temel oluşturduğunu ifade etmiştir. 1878 yılında Boussinesq, 1882 yılında Cerruti' nin konu ile ilgili çalışmalar yaptıklarını, Cerruti' nin çalışmalarında genel olarak Betti Teoremleri ve BEM

için dış sınırlardaki deplasman ve çekmeleri araştırdığını gözlemlemiştir. Belirgin ilk ilerlemenin 1904 yılında Sir Horace Lamb tarafından 2 ve 3 boyutlu düşey yükler altında elastik yarı uzay yüzeyindeki integral dönüşümleri üzerine yaptığı çalışmayla olduğunu, diğer bir büyük gelişmenin de 1936' da Raymond David Mindlin' in bilinen statik düşey ve yatay noktasal yükler altında bilinmeyen derinlikte elastik yarı uzayın kapalı form deplasman denklemleri üzerine olduğunu belirtmiştir. Cagniard tarafından 1939' da çift integral dönüşümlerinin ve 1960' ta bu dönüşümlerin basitleştirilmesi ile Cagniard- de Hoop metodunun ortaya çıktığını bildirmiştir. Yakın tarihlerde yapı-zemin etkileşimi çalışmaları konusunda modern çağ denilebilecek dönemin Veletsos, Wei, Luco ve Westmann' ın 1971 ve 1972 yıllarında yaptığı çalışmalarla başladığından ve bu çalışmaların elastik yarı uzay üzerinde bulunan dairesel plakların farklı poisson oranları ve farklı frekans aralıklarında dinamik çözümlerle ilgili olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmalardan sonra daha birçok çalışmanın yapıldığını gözlemlemiştir. 1960 ve 1970' li yıllarda bilgisayarların da bu kapsamda kullanılmaya başlamasıyla birlikte, özellikle Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile çözümlerlerde büyük kolaylıkların mümkün olduğu ve SHAKE, SASSI vb. yazılımların bu dönemlerde ortaya çıktığını, ilerleyen dönemlerde ise Whitman, Kausel, Lysmer gibi isimlerin çalışmalar yaptığını açıklamıştır.

FEM ve BEM çözüm yöntemlerinin gelişmesi ile beraber günümüzde zemin-temel-yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde kullanılan analiz yöntemleri de artmıştır. Bu yöntemleri kullanabilmek için geoteknik ve yapı alanında bilgi sahibi olunması ve gerekli durumlarda disiplinler arası çalışmaya önem verilmesi gerekmektedir.

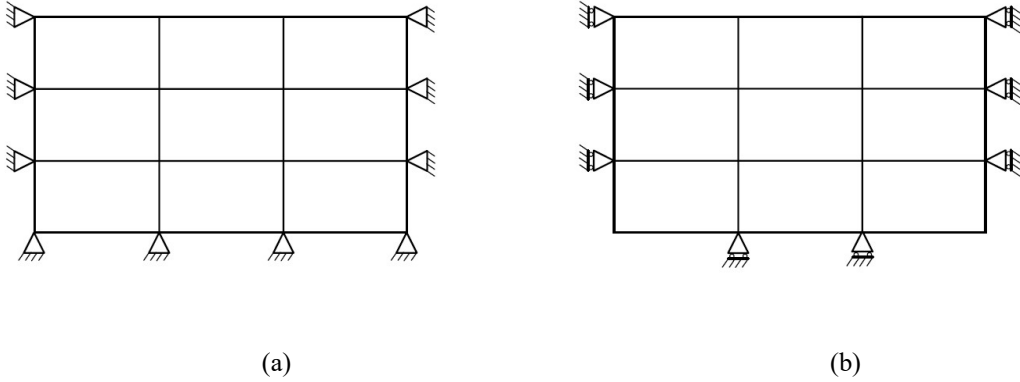
Zemin-temel-yapı etkileşimi konusunda güncel çalışmalar devam etmekte olup, yakın zamanlarda yapılan çalışmalarda 1/30 geometrik ölçekli laboratuvar deneyleri de yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları ve zemin-temel-yapı etkileşiminin TBDY (2016) taslağında yer alması bu konunun önemini ortaya koymaktadır.

3.3 Zemin-Temel-Yapı Etkileşiminin Modellenmesi

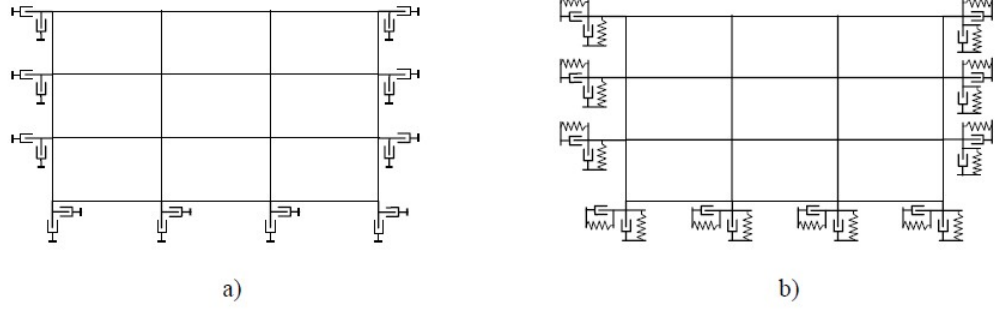
Zemin-temel-yapı etkileşimi problemlerinin teorik analizlerinde kullanılabilecek hesap modellerinin oluşturulması ile ilgili olarak literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında direkt yöntem kullanılacak olup, direkt yöntemin modelleme aşamasında üstyapı çerçeve ve

kabuk sonlu elemanlar ile idealize edilmiştir. Global sistemin tamamlanması için zemin, temel ve kazıklar 3 boyutlu prizmatik sonlu elemanlar ile idealize edilmiştir. Zeminin modellenmesi ile ilgili önceki çalışmalarda uygulanan yaklaşımlar ve yöntemler hakkında bilgiler bu bölümde yer almıştır.

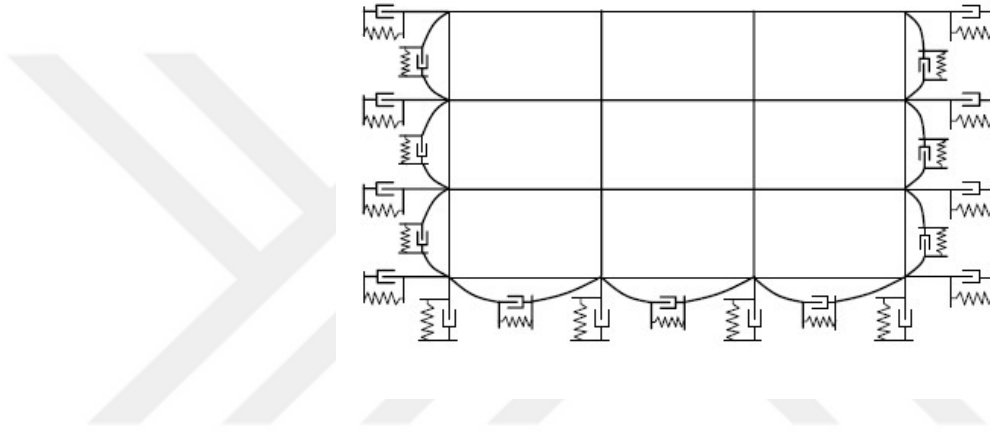
Gürsoy (2006), zemin-temel-yapı etkileşimi modellenmesinde zemin tabakası için sonlu eleman boyutları ile ilgili olarak en küçük kayma dalgası boyunun $1/12'$ sinden küçük kalması gerektiğini belirtmiştir. Zemin tabakasının genişliğinin, yapıya ait temel genişliğinin 10 katı civarında temelin sağ ve sol ucundan itibaren uzatılmasının yeterli olacağını, derinliğin ise yapı yüksekliğine bağlı olarak seçilmesi ve sonuçların yakınsamasına göre belirlenmesi gerektiğini söylemektedir. Sonlu eleman modeli sınırlarında ise 3 farklı yöntemden bahsetmiştir. Bu yöntemleri başlangıç sınırları (sıfır yerdeğiştirmenin ya sınırdaki noktaların tutulmasıyla ya da sıfır yüzey yerdeğiştirmelerinin sınırlara teğet hareket eden silindir mesnetlerin kullanımıyla sağlanması), yerel viskoz sınırlar (yay ve sönümleyicilerle oluşturulan sınır şartları) ve birbirini tutan sınırlar olarak belirtmiştir. Şekil 3.3' te başlangıç sınırları içeren model, Şekil 3.4' te viskoz sınırlar içeren model, Şekil 3.5' te ise birbirini tutan sınırlara sahip modeller gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Başlangıç Sınırları (Gürsoy, 2006) a) Sıfır Yerdeğiştirmeler, b) Sıfır Yüzey Yerdeğiştirmeleri



Şekil 3.4 Viskoz Sınırlar (Gürsoy, 2006) a) Lysmer' e Göre Yay ve Sönümleyiciler, b) Yerel Viskoz Sınırlar



Şekil 3.5 Birbiriyle Bağlantılı Sınırlar (Gürsoy, 2006)

Tabatabaiefar and Massumi (2010), yaptıkları zemin-temel-yapı etkileşimi çalışmalarındaki modellerinde zemin tabakasının yatayda her iki yönde temel genişliğinin 3-4 katı, düşey yönde temel genişliğinin 2-3 katı kadar olmasının yeterli olabileceğini belirtmiştir (Bkz. Şekil 2.9).

Erdemir (2010), çerçeve eleman ile tanımladığı kazık çevresine, sonlu eleman aralıkları 1' er metre olan 20x20x20 metre boyutlarına sahip solid elemanlar ile zemin sonlu eleman modelini oluşturmuştur. Zemin tabakasının en alt noktalarına ankastre mesnetler tanımlayarak anakayayı tanımlamıştır.

Alkan (2011), zemin-temel-yapı etkileşimi için oluşturulacak sonlu eleman modelinde zemin tabakasının temel tabanının sağ ve sol ucundan 8-10 kat temel genişliği kadar uzatılmasının yeterli olacağını belirtmiştir. Bununla birlikte kendi çalışmasında değişken yatak katsayısı yöntemini kullanan SeismoStruct isimli yazılımda yayları kullanarak modelleme yapmıştır.

Fatahi and Tabatabaiefar (2014), çalışmalarında 15 m, 30 m ve 45 m yüksekliğinde 12 m genişliğindeki bina için sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Oluşturdukları zemin-temel-yapı etkileşimli sonlu eleman modellerinde zemin tabakasını yapıya her iki yönde eşit uzaklıkta olacak şekilde konumlanmış toplam genişliği 60 m ve derinliği 30 m olacak şekilde sonlu elemanlarla tanımlamışlardır (Bkz. Şekil 2.18).

Hokmabadi et al., (2014) deneysel çalışmalarında kullandıkları laboratuvar modelinde 40 cm genişliğinde 150 cm yüksekliğindeki ölçekli bina için genişliği her iki yönde 210 cm olan, derinliği 100 cm olan içi zemin dolu laminer kap kullanmışlardır (Bkz. Şekil 2.20).

3.4 Çok Katlı Binaların Zemin-Temel-Yapı Etkileşimine Göre Yapısal Davranışı

Bu tez çalışmasında çok katlı yapıların zemin-temel-yapı etkileşimini içerecek pratik bir analiz modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda arazide gerçekleştirilen deneylerde kullanılan elemanlar kazık gibi düşünülüp, taşıyabileceği maksimum yüklere göre küçük ölçekli, çok katlı bir model bina tasarlanmıştır. Oluşturulan ölçekli çok katlı binanın, temel, kazık ve zemin için SAP2000 ortamında oluşturulan sonlu elemanlar modeli kullanılarak eşdeğer deprem yükü, spektrum ve zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Bu analiz sonuçları aynı yapının ankastre mesnetli kabul ile çözümünden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu bölümde önceki çalışmalarda elde edilmiş zemin-temel-yapı etkileşimli çözümlerinde üstyapı davranışındaki değişiklikler ve yapı davranışına tesir eden faktörler ile ilgili bilgiler yer almıştır.

Çok katlı binalarda zemin-temel-yapı etkileşimine tesir eden faktörler bina yüksekliği, temel derinliği, temel cinsi, kazık uzunluğu, zemin sınıfı, zemin parametreleri, deprem parametreleri olarak açıklanabilir. Bina yüksekliğinin artması yapının tesirinde kalacağı deprem yükünü ve tepe noktasındaki yatay deplasmanlarını arttıracaktır. Yapı-zemin etkileşiminden kaynaklanan yapısal farkların zayıf zeminlerde daha belirgin olduğu yine birçok çalışmanın sonuçları ile ortaya konulmuştur. Kazıklı temel, derin temel, yüzeysel temel vb. temel cinsinin değişiminin de zemin-temel-yapı etkileşimli analizlerin sonuçlarını etkilediği, farklı deprem kayıtları ile zaman tanım alanında yapılan analizlerde de sonuçların değiştiği gözlemlenmiştir. Kazık uzunluğu ya da kazık tasarımı da

zemin-temel-yapı etkileşiminde önemli bir faktör olup daha çok geoteknik alanında uzmanlaşan inşaat mühendisleri tarafınca dikkate alınan bir konudur.

Çok katlı binalar için zemin-temel-yapı etkileşiminde önceki çalışmalarda birçok farklı modelleme ve analiz yöntemi kullanılmıştır. FEM ya da BEM odaklı programlar ile oluşturulan modeller üzerinden yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki başlıklar ile özetlenebilir.

- Yapı doğal periyodunda artış
- Sönümde artış
- Taban kesme kuvvetlerinde değişimler (sıklıkla azalma)
- Zayıf zeminlerde yapı performanslarında değişim
- Yapı üst noktasındaki deplasmanlarda artış

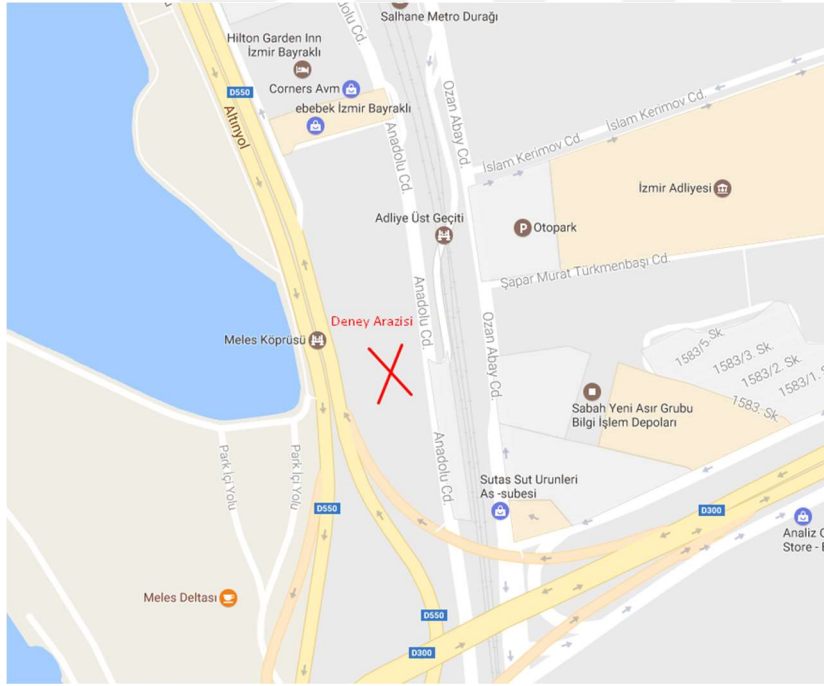
Bu sonuçlar doğrultusunda özellikle İzmir şehir merkezi gibi zayıf zemine sahip bölgelerde yükselecek olan çok katlı binaların projelendirme aşamasında zemin-temel-yapı etkileşiminin incelenmesinin önemli bir konu olduğunu düşünülmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Giriş

Zemin-temel(radye + kazık)-yapı etkileşiminin yapısal davranışa etkilerinin ele alındığı bu tez çalışmasında, zemine gömülü olan kazıkların yatay yükler altındaki yük-deplasman davranışının belirlenebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu kapsamda toplam boyu 6 metre olan, zemine çakılan ve içi beton dolu çelik profiller kullanılmıştır. Deneysel İzmir İli, Konak İlçesi, Salhane Mahallesi, 26R-4 Pafta, 9984 Ada, 1 Parsel üzerinde yer alan, İzmir' in yeni kent merkezi olarak yapılaşan ve körfeze çok yakın olan bir arsa üzerinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu arsa potansiyel çok katlı yapı alanındadır ve zemin etüt çalışmaları önceki süreçte gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla zeminin yapısal özellikleri belirlidir. Arazinin konumu Şekil 4.1' deki uydu görüntüsünde gösterilmiştir.

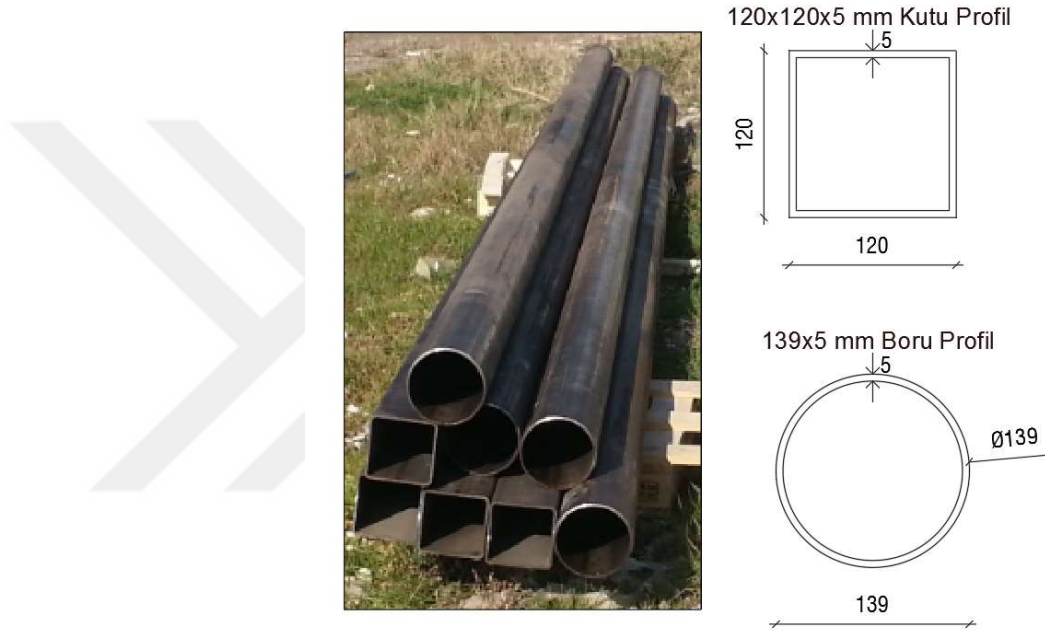


Şekil 4.1 Deney Arazisi Konumu

Deneysel tekil kazık elemanlarda yalnızca yatay yükler için gerçekleştirilmiştir. Böylece zemine çakılmış bir kazığa tesir edecek yatay yükler ile kazık üst bölgesinde oluşan yatay deplasmanlar arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

4.2 Deney Düzenegi

Deney elemanı olarak kullanılacak profiller 3 adet 6 metre boyunda 120x120x5 mm kutu profil ve 3 adet 6 metre boyunda 139x5 mm boru profil olarak temin edilmiştir. St37 Çelik malzemedен imal edilmiş olup akma sınırı 240 MPa, emniyet gerilmesi 144 MPa, kayma emniyet gerilmesi 90 MPa' dır. Her bir profilde kazı ve çakma işlemleri sonucu hedeflenen zemin üstünde kalacak boy ortalama 1.5 metredir. Şekil 4.2' de çelik profiller ve kesitleri, Çizelge 4.1' de ise profillere ait statik değerler gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Çelik Profiller ve Kesitleri

Çizelge 4.1 Deney Elemanı Olarak Kullanılacak Profillere Ait Statik Değerler

Çelik Profil	Kesit Alanı (cm ²)	Atalet Momenti (cm ⁴)	Mukavemet Momenti (cm ³)
Kutu 120.120.5	22.1	507.92	84.65
Boru 139.5	21.2	473.095	68.07

Deney elemanı olarak kullanılacak profillerin dayanımlarını arttırmak, geçeğe daha yakın davranış göstermelerini sağlamak için içleri donatısız ince agregalı beton harcı ile doldurulmuştur. Arazi şartlarında hazırlanan betondan 3

adet numune alınmıştır. Alınan numuneler 7 gün deney sahasında bekletilmiştir. Daha sonra deney sahasından alınan numuneler kür havuzuna aktarılmış olup 28 gün sonunda kırılmıştır. Uygulanan aksenal basınç deneyi sonucunda numunelerin ortalama basınç dayanımı 11.53 MPa, 15 cm çaplı silindir numuneye çevrilmiş hal için ortalama basınç dayanımı 8 MPa ve elastisite modülü TS500' e göre 23192.388 MPa olarak bulunmuştur.

Deney elemanlarına yatay yüklemeyi yapabilmek için hidrolik kriko ve bu krikoya bağlı 37 cm boyunda, 8 cm çapında, 27 cm strok uzunluğu olan piston kullanılmıştır. Yüklemenin düzgün yapılabilmesi ve yükleme esnasında deney düzeneğinde oluşabilecek stabilite problemlerinin önüne geçmek için özel olarak bir yükleme kızağı yaptırılmıştır. Kızak bir yüzü açık kutu benzeri bir yapıya sahiptir. Şekil 4.3' te deneylerde kullanılan piston, kriko ve yükleme kızağı gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.3 a) Piston, b) Kriko, c) Yüklem Kızağı (Boş), d) Yüklem Kızağı (Deney Anı)

Yatay yüklemeyi yaparken pistonun uyguladığı basınç ve yük değerlerini okuyabilmek ve kayıt edebilmek için elektronik yük hücresi, deney elemanlarının yerdeğıştirmelerini okuyabilmek ve kayıt edebilmek için ise deplasman ölçer(potansiyometre) kullanılmıştır. Bunlarla birlikte kayıt işleminin bilgisayar ile bağlantısını sağlamak için veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.4' te yük hücresi, deplasman ölçer ve veri kayıt cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.4 a) Yük Hücresi, b) Veri Kayıt Cihazı, c) Deplasman Ölçer (Potansiyometre)

4.3. Deney Elemanları

Deney elemanları olarak kullanılması planlanan 6 adet profilin zemine çakma işlemi için ilk olarak 1-1.5 metre derinlikte 2 metre genişlikte kazılmıştır (Şekil 4.5). Kazı esnasında yaklaşık olarak 1 metre derinlikte yer altı suyuna rastlanılmıştır. Kazı işleminin ardından çelik profil kazıklar ekskavatör yardımıyla kanal içindeki zemine çakılmıştır. Profillerin ortalama 1.5 metrelik kısmı zemin üstünde yer alırken kalan kısmın zemin altındadır. Deney elemanlarının çakma işleminin ardından içleri beton ile doldurulmuştur. Şekil 4.6’ da deney elemanlarının çakma işlemin ve zemine çakılan deney elemanlarının toplu hali gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Deney Sahasında Yapılan Kazı İşlemi



(a)

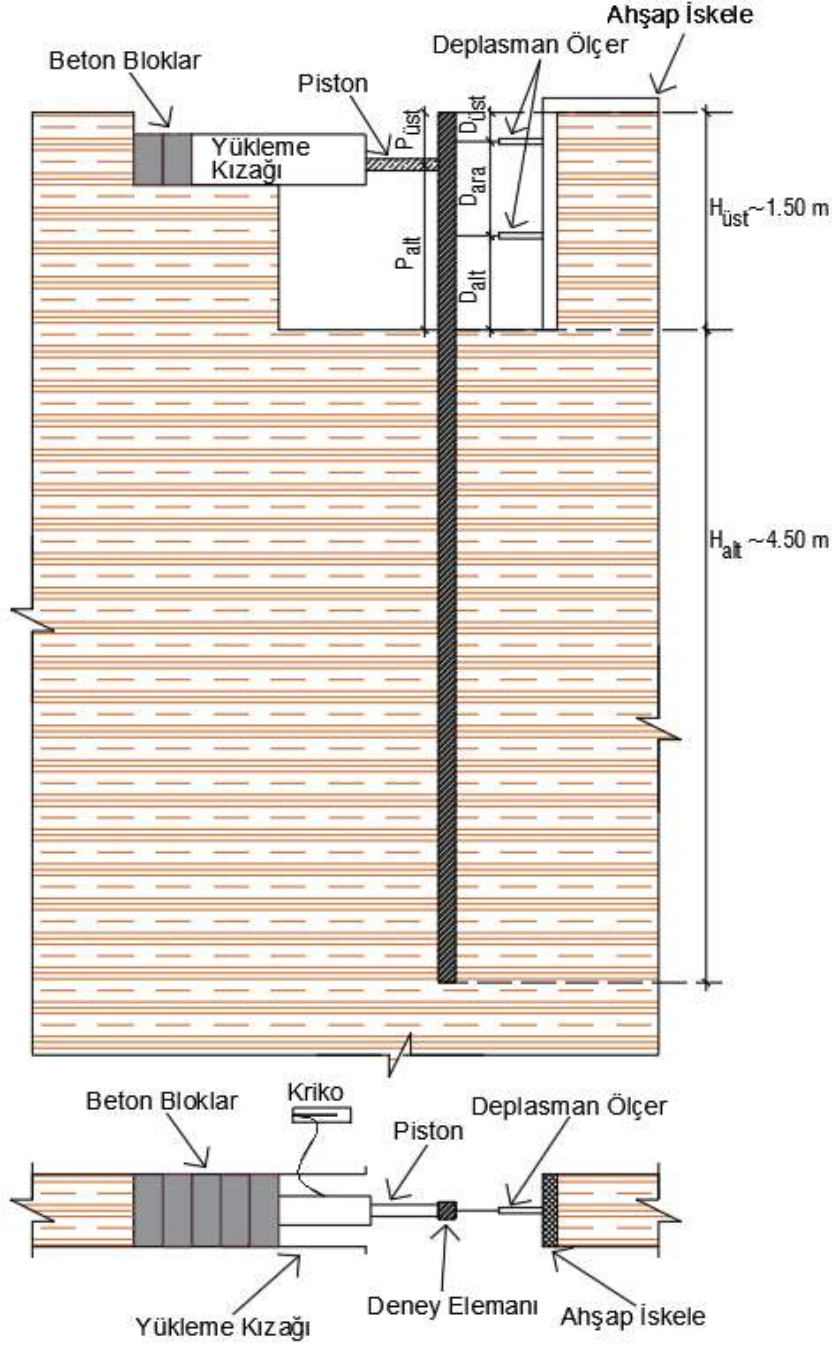
(b)

Şekil 4.6 a) Deneç Elemanlarının Zemine Çakılması, b) Zemine Çakılan Deneç Elemanları

Şekil 4.7' de arazide hazırlanan örnek deneç elemanı, Şekil 4.8' de deneç elemanının şematik gösterimi ve üstten görünüşü, Çizelge 4.2' de ise şematik gösterimdeki mesafelerin her bir deneç elemanı için değeri belirtilmiştir. Şekil 4.8' de deplasman ölçer konumları $D1$ ve $D2$ ile, üst deplasman ölçerin profil üst noktasına uzaklığı $D_{üst}$ ile, iki deplasman ölçer arası uzaklık D_{ara} ile, alt deplasman ölçer ile zemin seviyesi ile arası mesafe D_{alt} ile, pistonun profile üst noktasına mesafesi $P_{üst}$ ile, pistonun zemin seviyesi ile arası mesafe P_{alt} ile, profilin toprak üstünde kalan boyu $H_{üst}$ ile ve profilin toprak altında kalan boyu H_{alt} ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Örnek Deneç Düzenegi ve Deneç Elemanı



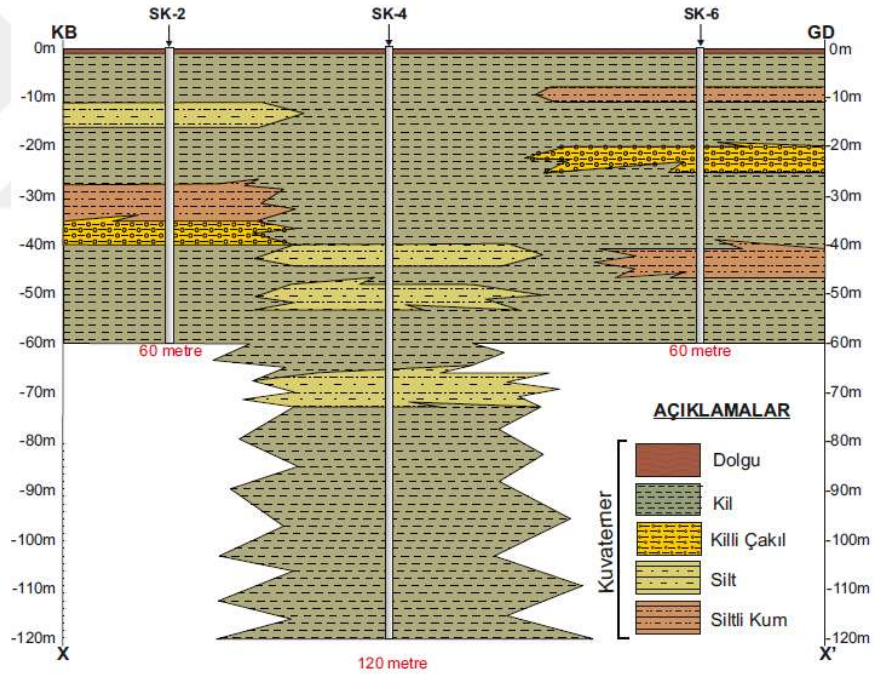
Şekil 4.8 Deneysel Elemanı Şematik Gösterimi ve Üstten Görünüşü

Çizelge 4.2 Deneysel Elemanlarının Şematik Gösterim İçin Değerleri

Deneysel Elemanı	Kesit	$H_{üst}$ (cm)	H_{alt} (cm)	$P_{üst}$ (cm)	P_{alt} (cm)	$D_{üst}$ (cm)	D_{ara} (cm)	D_{alt} (cm)
1	Kutu	150	450	30	120	10	65	75
2	Kutu	150	450	30	120	5	65	80
3	Kutu	150	450	20	130	15	65	70
4	Boru	160	440	20	140	10	65	85
5	Boru	130	470	20	110	10	65	55
6	Boru	150	450	20	130	10	65	75

4.4 Arazi Zemininin Özellikleri

RTS Jeoteknik Mühendislik Sondaj Müşavirlik ve İnşaat Hizmetleri (2014), yaptıkları zemin etüt raporunda yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu belirtmiştir. Zemin etüdü kapsamında arazide 1 adet 120 metre, 2 adet 60 metre, 3 adet 50 metre olmak üzere toplam 6 adet sondaj uygulaması yapmışlardır. Sondaj loglarına göre zemin tabakasının yaklaşık olarak ilk 2 metrelik kısmı dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Zemin tabakaları ise ağırlıklı olarak kil ve siltli kil içermekte olup az miktarda siltli kum, çakıllı kum, çakıl, siltli kum, killi çakıl içeren zemin tabakaları da bulunmaktadır. Zemin grubu D, zeminin emniyetli taşıma gücü 0.64 kg/cm^2 , yerel zemin sınıfı Z4, zemin hakim titreşim periyodu 0.59, zemin yatak katsayısı $1000-1500 \text{ t/m}^3$ tür. Deneysel çalışma için yapılan kazı işlemleri sırasında yaklaşık 1.5-2 metre derinlikte yeraltı suyuna rastlanılmıştır. Şekil 4.19' da sondaj işlemleri sonucu elde edilen zemin kesiti gösterilmiştir.

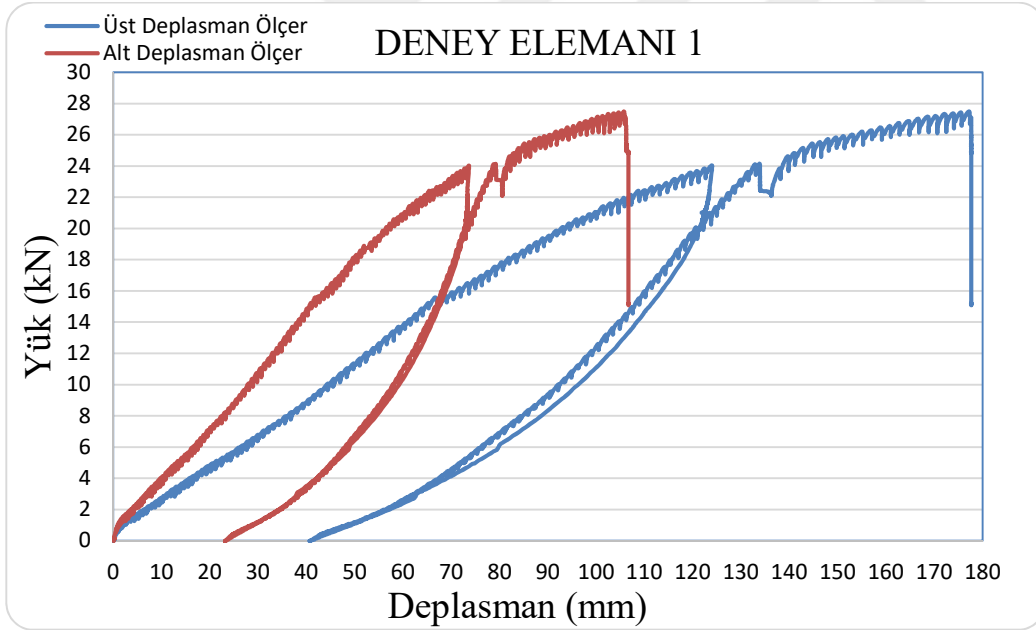


Şekil 4.9 Zemine Ait Kesit (RTS Jeoteknik Mühendislik Sondaj Müşavirlik ve İnşaat Hizmetleri, 2014)

4.5 Deneysel Bulgular

4.5.1 Deney elemanı 1

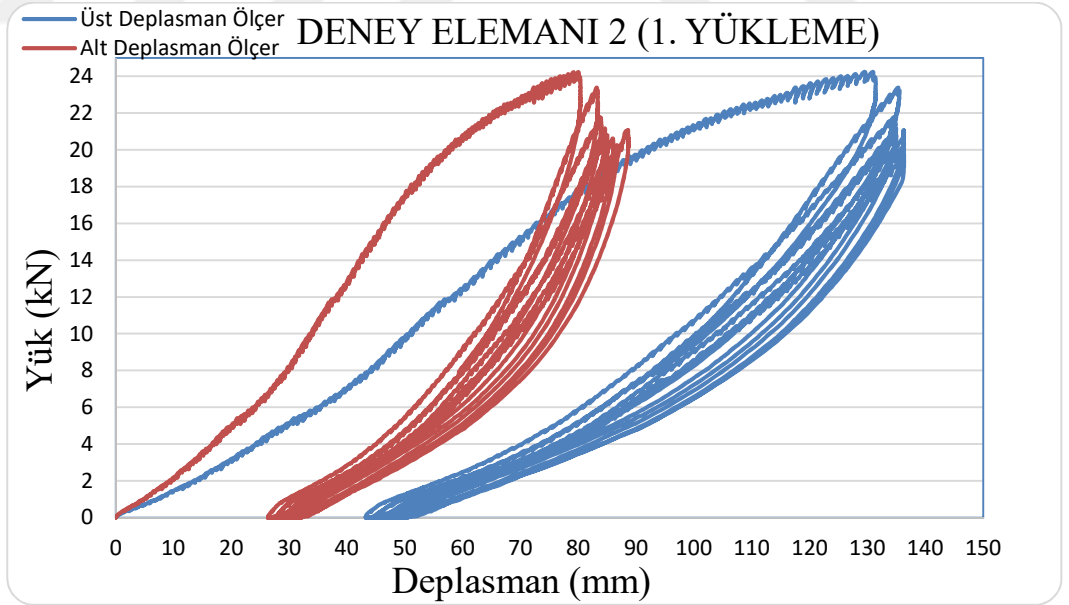
Deney Elemanı 1 üzerinde 2 kez yükleme yapılabilmektedir. 1. Yükleme pistonun maksimum strok uzunluğuna ulaşması sonucunda tamamlanmıştır. 1. Yükleme yük-deplasman grafiğinde maksimum 2.4 ton yük tespit edilmiş olup bu yüke karşılık üst deplasman ölçerden okunan değer 124.97 mm, alt deplasman ölçerden okunan değer 74.2 mm' dir. 1. Yükleme sonunda üst deplasman ölçer noktasında 40.66 mm, alt deplasman ölçer noktasında 23.12 mm kalıcı deformasyon gözlenmiştir. 2. Yükleme için piston boşaltılarak yük hücresinin arkasındaki rijit bölge büyütülerek piston ile deney elemanı arasındaki mesafe azaltılmıştır. 2. Yüklemede yük-deplasman grafiğinde okunan maksimum yük 2.71 ton olup bu yüke karşılık gelen üst deplasman ölçer değeri 106.09 mm, alt deplasman ölçer değeri 177.61 mm olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.10' da Deney Elemanı 1 için 1. Yükleme yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Deney Elemanı 1 Yük-Deplasman Grafiği

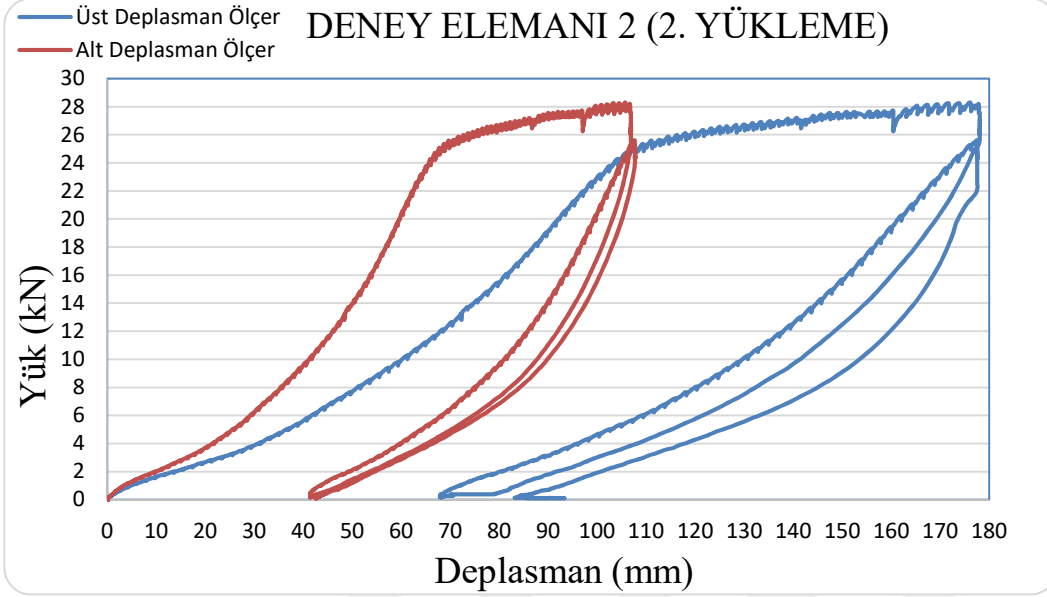
4.5.2 Deney elemanı 2

Deney Elemanı 2 üzerinde 5 farklı yükleme yapılmıştır. 1. Yükleme tekrarlı olarak yapılmış olup yükleme 8 kez tekrar edilmiştir. 2. Yükleme 2 kez tekrar edilmiştir. 3, 4 ve 5. Yükleme deney elemanının ne kadar yük alabileceği ya da kırılıp kırılmayacağını tespit edebilme amaçlı deplasman ölçerler olmadan yapılmıştır. 5. Yüklemede deney elemanına en fazla 3 ton yük etkiletilmiş olup herhangi bir kırılma gözlemlenmemiştir. 1. Tekrarlı yüklemede ilk yükleme sırasında yük-deplasman grafiğinde elde edilen maksimum yük değeri 2.4 ton olarak okunmuş olup, bu yük için üst deplasman ölçerinde okunan değer 128.274 mm, alt deplasman ölçerinde okunan değer ise 80.11 mm'dir. Yükleme sonrasında piston boşaltıldıktan sonra üst deplasman ölçer noktasında 43.25 mm, alt deplasman ölçer noktasında ise 27.36 mm kalıcı deformasyon gözlemlenmiştir. 2. Yüklemede maksimum yük değeri 2.3 tona düşerken üst deplasman ölçerinde okunan değer 135.51 mm, alt deplasman ölçerinde okunan değer ise 83.32 mm olarak tespit edilmiştir. 1. Yükleme için toplamda 8 adet tekrarlı yükleme gerçekleştirilmiş olup yüklemelerde deney elemanının aldığı maksimum yük azalırken, deplasmanların arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.11' de 1. Tekrarlı yükleme için yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Deney Elemanı 2 1. Yükleme Yük-Deplasman Grafiği

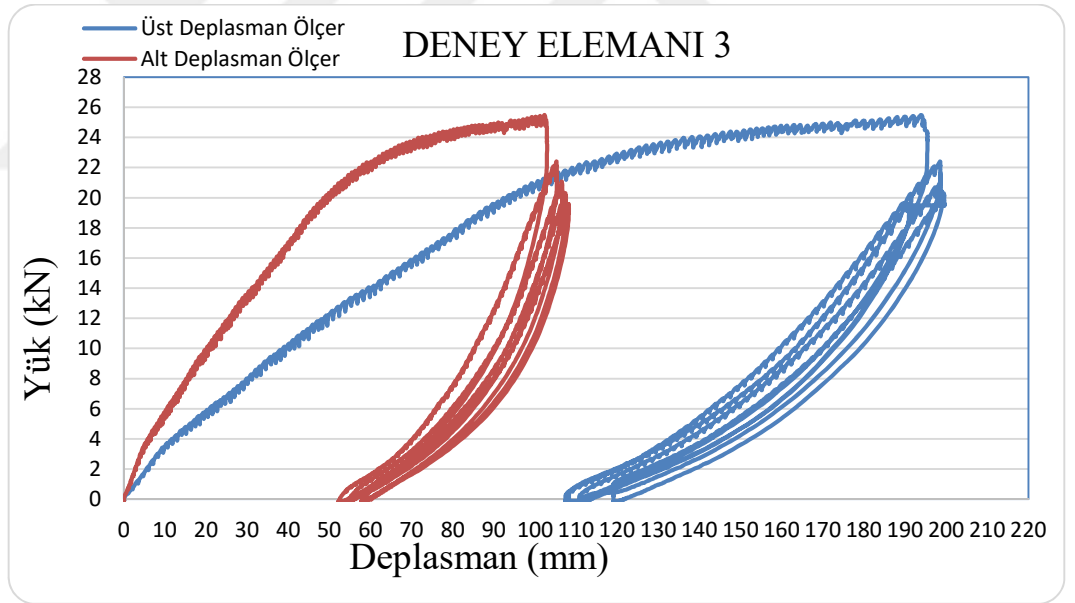
Piston arkasındaki rijit bölge büyütüldükten sonra deney elemanı üzerinde 2. Tekrarlı yükleme yapılmıştır. Yükleme 2 kez tekrar edecek şekilde yapılmış olup kalıcı deformasyona sahip eleman üzerinde gerçekleştirilmiştir. 2. Tekrarlı yükleme için yük-deplasman grafiği Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Deney Elemanı 2 2. Yükleme Yük-Deplasman Grafiği

4.5.3 Deney elemanı 3

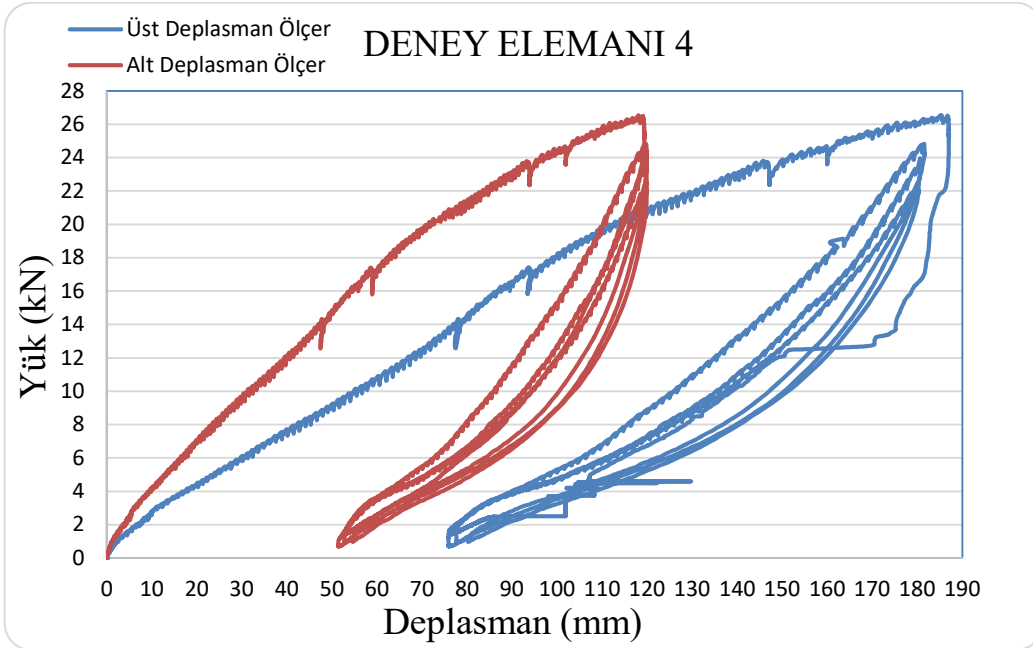
Deney Elemanı 3 üzerinde pistonun boşaltılıp tekrar yüklenmesi ile toplamda 5 yükleme olmak üzere 1 adet tekrarlı yükleme ve bu yükleme sonrasında deplasman ölçerler olmadan deney elemanındaki deformasyonları gözleme amaçlı 2. Yükleme yapılmıştır. İlk yüklemede yaklaşık 2.2 ton civarında grafiğin eğimi değişmeye başlamış olup bu yük için üst deplasman ölçerde okunan değer 110.73 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 61.12 mm' dir. İlk yüklemede ulaşılabilen maksimum yük değeri ise 2.5 tondur. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 194.18 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 102.58 mm' dir. 2. Yükleme için maksimum yük değeri 2.2 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 197.95 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 105.19 mm' dir. Diğer yüklemelerde maksimum yük değerinin azaldığı, deplasman ölçerlerde okunan değerlerin ise arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.13' te Deney Elemanı 3 için yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Deney Elemanı 3 Yük-Deplasman Grafiği

4.5.4 Deney elemanı 4

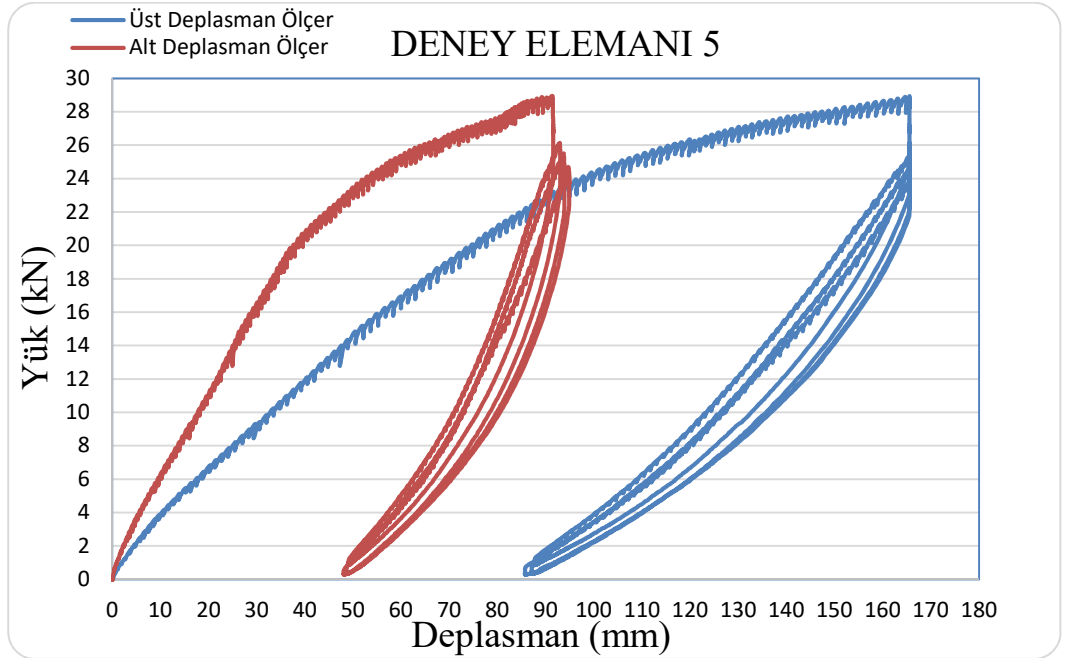
Deney Elemanı 4 üzerinde pistonun boşaltılıp tekrar yüklenmesi ile toplamda 4 yükleme olmak üzere 1 adet tekrarlı yükleme yapılmıştır. İlk yüklemede 2.4 ton yük civarında grafiğin eğimi değişmeye başlamış olup bu yük için üst deplasman ölçerde okunan değer 151.08 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 97.02 mm' dir. İlk yüklemede ulaşılabilen maksimum yük değeri ise 2.65 tondur. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 186.8 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 119.11 mm' dir. 1. Yükleme sonrası deney elemanında üst deplasman ölçer noktasında 75 mm, alt deplasman ölçer noktasında 51 mm kalıcı deformasyon gözlemlenmiştir. 2. Yükleme için maksimum yük değeri 2.4 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 181.56 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 119.84 mm' dir. 3. Yükleme için maksimum yük değeri 2.3 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 179.84 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 119.8 mm' dir. 4. Yükleme için maksimum yük değeri 2.2 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 180.17 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 119.87 mm' dir. Bu numune için 3 ve 4. Yüklemelerde maksimum yük değerleri azalmasına karşın deplasman değerleri ilk iki yüklemeye yakın değerlerde tespit edilmiştir. Şekil 4.14' te Deney Elemanı 4 için yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Deney Elemanı 4 Yük-Deplasman Grafiği

4.5.5 Deney elemanı 5

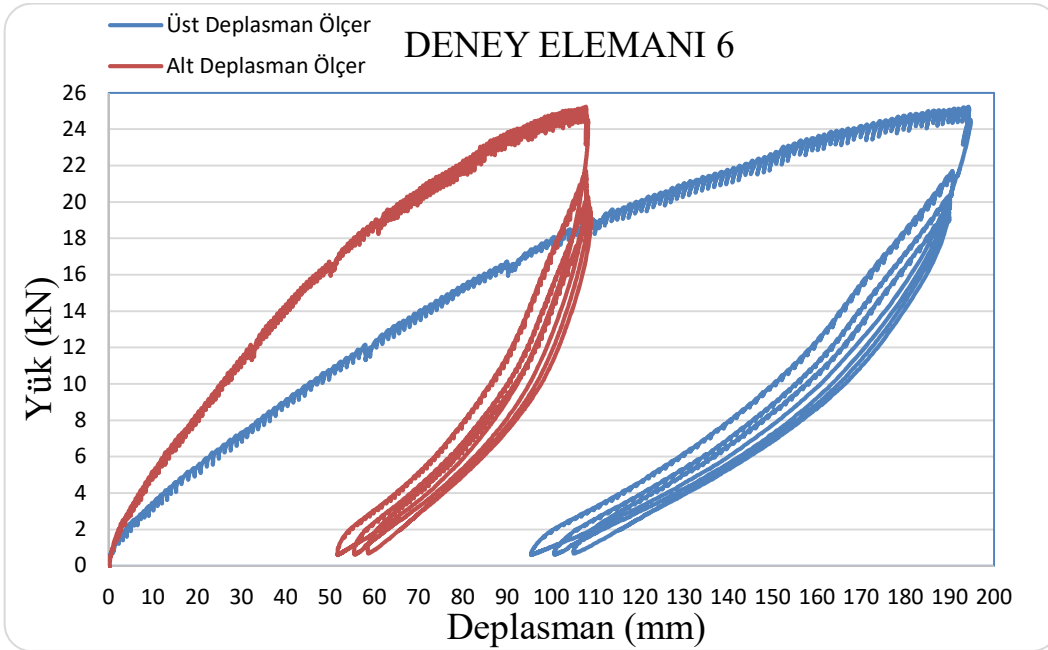
Deney Elemanı 5 üzerinde pistonun boşaltılıp tekrar yüklenmesi ile toplamda 4 yükleme olmak üzere 1 adet tekrarlı yükleme yapılmıştır. İlk yüklemede 2.5 ton yük civarında grafiğin eğimi değişmeye başlamış olup bu yük için üst deplasman ölçerde okunan değer 108.2 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 63.98 mm' dir. İlk yüklemede ulaşılabilen maksimum yük değeri ise 2.85 tondur. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 165.57 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 91.49 mm' dir. 1. Yükleme sonrasında deney elemanında üst deplasman ölçer noktasında 87 mm alt deplasman ölçer noktasında 48 mm kalıcı deformasyon gözlemlenmiştir. 2. Yükleme için maksimum yük değeri 2.6 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 165.57 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 92.9 mm' dir. 3. Yükleme için maksimum yük değeri 2.45 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 165.57 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 93.69 mm' dir. 4. Yükleme için maksimum yük değeri 2.41 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 165.57 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 94.9 mm' dir. Bu numune için 2, 3 ve 4. Yükleme maksimum yük değerleri azalmasına karşın deplasman değerleri ilk iki yükleme ile aynı değerlerde tespit edilmiştir. Şekil 4.15' te Deney Elemanı 5 için yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Deney Elemanı 5 Yük-Deplasman Grafiği

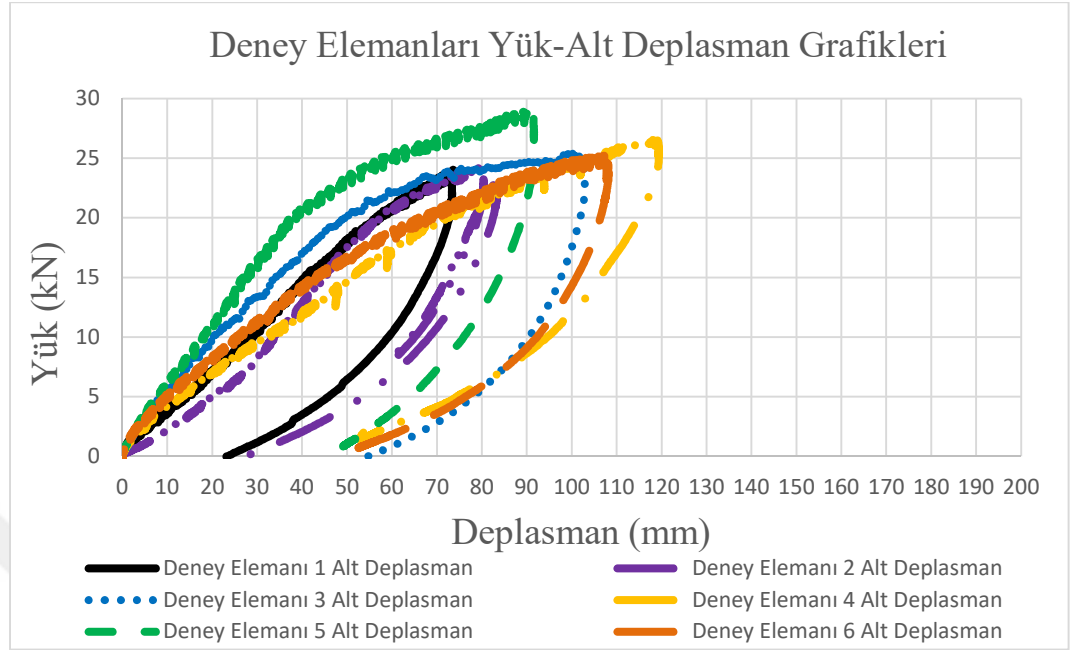
4.5.6 Deney elemanı 6

Deney Elemanı 6 üzerinde pistonun boşaltılıp tekrar yüklenmesi ile toplamda 4 yükleme olmak üzere 1 adet tekrarlı yükleme yapılmıştır. Deney elemanı 15 derecelik açı ile çakılabilmiştir. İlk yüklemede 2.4 ton yük civarında grafiğin eğimi değişmeye başlamış olup bu yük için üst deplasman ölçerde okunan değer 167.11 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 93.8 mm' dir. İlk yüklemede ulaşılabilen maksimum yük değeri ise 2.5 tondur. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 194.23 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer 107.85 mm' dir. 1. Yükleme sonrasında deney elemanında üst deplasman ölçer noktasında 96 mm alt deplasman ölçer noktasında 51 mm kalıcı deformasyon gözlemlenmiştir. 2. Yükleme için maksimum yük değeri 2.1 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 190.89 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 107.83 mm' dir. 3. Yükleme için maksimum yük değeri 2 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 190.1 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 108.33 mm' dir. 4. Yükleme için maksimum yük değeri 1.95 ton olarak gözlemlenmiştir. Bu yük değeri için üst deplasman ölçerde okunan değer 189.96 mm, alt deplasman ölçerde okunan değer ise 108.44 mm' dir. Şekil 4.16' da Deney Elemanı 6 için yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.

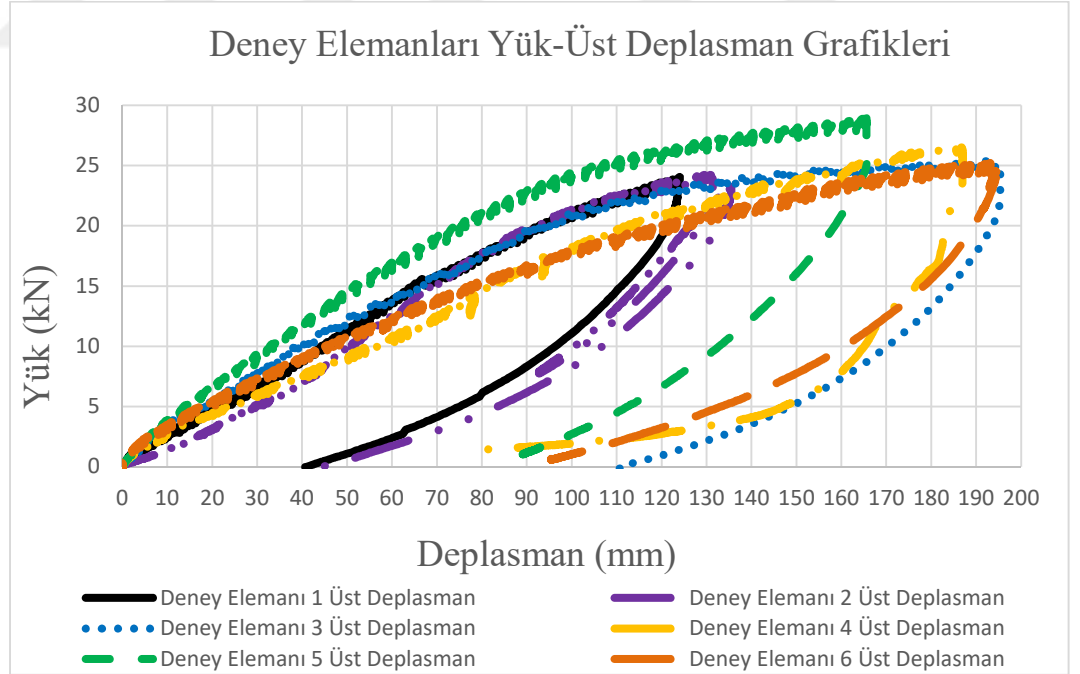


Şekil 4.16 Deney Elemanı 6 Yük-Deplasman Grafiği

Her bir deney elemanı için ilk yüklemdeki yük-alt deplasman grafiği ve yük-üst deplasman grafikleri sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Bütün Deney Elemanları İlk Yükleme Yük-Alt Deplasman Grafiği



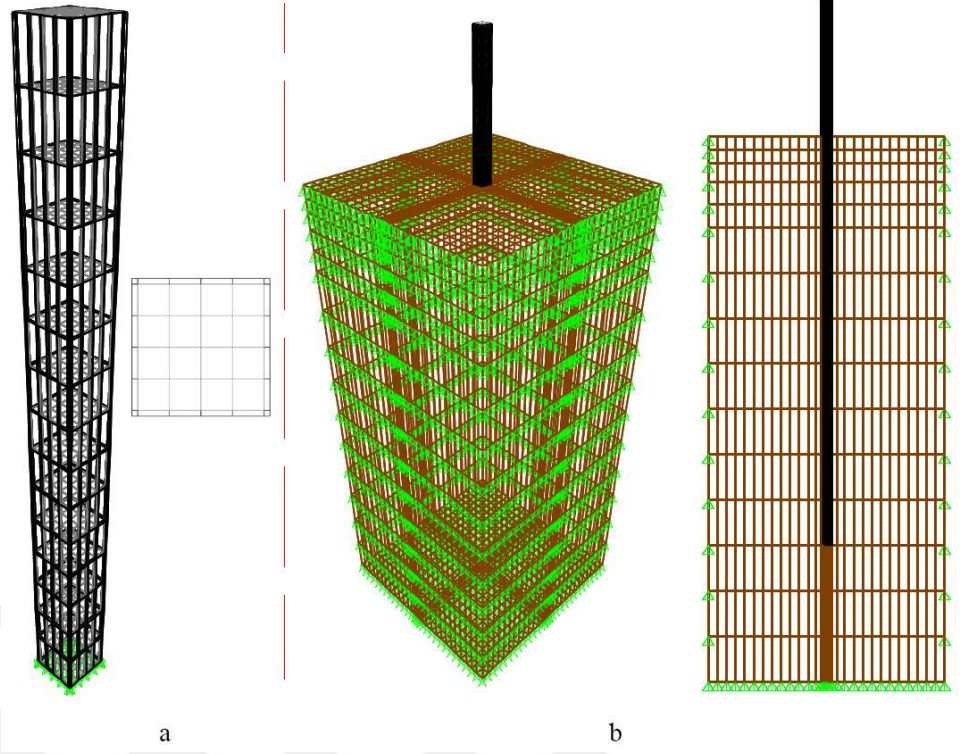
Şekil 4.18 Bütün Deney Elemanları İlk Yükleme Yük-Üst Deplasman Grafiği

5. TEORİK ANALİZLER

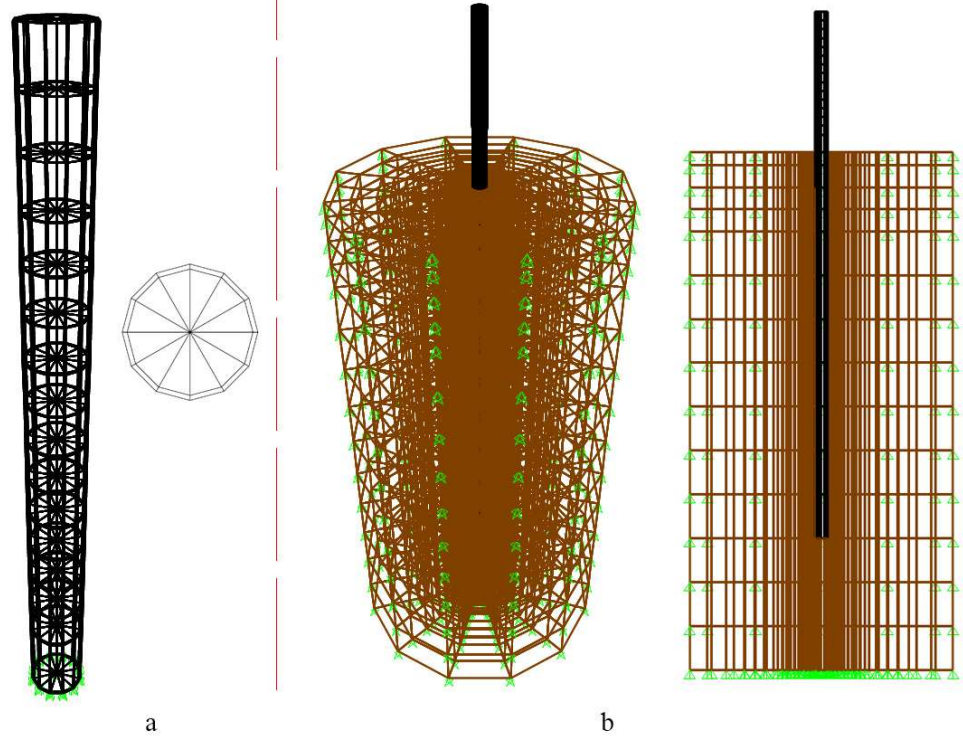
Tez çalışması kapsamında yapılmış olan deneysel çalışmaların ve deneylerde kullanılan kazıkların taşıyabileceği düşey yük kapasitesine uygun olan boyutlarla oluşturulmuş derin temele sahip ölçekli bina modelinin sonlu eleman mikro modelleri SAP2000 (v.18) programında oluşturulmuştur. Sonlu eleman modelleri oluşturulurken üstyapı çerçeve (frame) ve kabuk (area) sonlu elemanlarla, zemin, temel ve kazıklar ise 3 boyutlu hacimsel (solid) sonlu elemanlar ile idealize edilmiştir. Sonlu eleman modelleri üzerinde “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

5.1 Deney Elemanlarının Teorik Analizleri

Deneysel çalışmada kullanılan deney elemanlarının mikro model yaklaşımıyla SAP2000 (v.18) programında sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Deney elemanları 3 boyutlu hacimsel (solid) sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Zemin sonlu elemanları modellenirken zemine ait elastisite modülü ve poisson oranı zemin etüt raporu sonuçlarından faydalanılarak elde edilmiştir. Zemin tabakası yatay yönde deney elemanı kesit boyutunun yaklaşık 10 katı kadar, düşey yönde ise deney elemanı alt noktasından itibaren deney elemanı kesit boyutunun yaklaşık 10-12 katı kadar büyüklükte modellenmiştir. Zemin modelinde uç noktalar sabit mesnetler ile sınırlandırılmıştır. Deney elemanlarının diğer bir deyişle kazıkların çevresinde yer alan ilk tabakadaki zemin sonlu elemanlarının elastisite modülü yarı yarıya azaltılmıştır. Bu kabulün sebebi itme ve çekme gibi statik yükler altında zeminin kazığa olan etkisini gerçeğe yakın tanımlayabilmektir. Deney elemanları için SAP2000 (v.18) programında oluşturulmuş olan sonlu elemanlar modellerinin benzerliğinden dolayı kutu profile ait modeller Şekil 5.1’ de, boru profile ait modeller ise Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modellerinin analizlerinde, arazi deneylerinde her bir deney elemanının yük-deplasman eğim değişimlerinin başladığı yük değeri etkiletilmiştir. Bu yüke karşılık gelen üst ve alt deplasman ölçer noktalarındaki yerdeğiştirmeler tespit edilip arazi deneyleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca zemin parametrelerinin hesaplarına bu bölüme ait alt bölümlerde yer verilmiştir.



Şekil 5.1 Kutu Profil Deneş Elemanı Sonlu Eleman Modelleri a) Ankastre Mesnetli Kabul,
b) Zemin-Temel- Yapı Etkileşimli Kabul



Şekil 5.2 Boru Profil Deneş Elemanı Sonlu Eleman Modelleri a) Ankastre Mesnetli Kabul,
b) Zemin-Temel- Yapı Etkileşimli Kabul

5.1.1 Zemin poisson oranı

Yüksel Proje (2007)' de zemin cinsi ve zemin poisson oranı arasındaki ilişki için önerilen değerleri Çizelge 5.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Zemin Cinsi ile Poisson Oranı Arasındaki İlişki (Yüksel Proje, 2007)

Zemin Cinsi	Poisson Oranı (μ)
Killi Zeminler	0.4 – 0.5
Suya Doygun Killi Zeminler	0.45 – 0.5
Kohezyonsuz (Orta Sıkı ve Sıkı)	0.3 – 0.4
Kohezyonsuz (Gevşekten Orta Sıkıya Kadar)	0.2 – 0.35

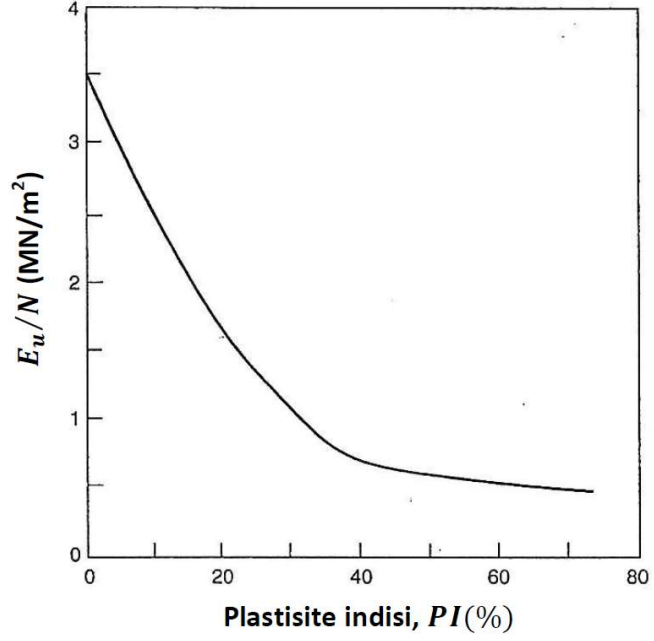
Teorik analizler için oluşturulan zemin modellerinde poisson oranı Çizelge 5.1' de belirtilen suya doymuş killi zeminler için 0.45 olarak hesaplara dahil edilmiştir.

5.1.2 Zemin elastisite modülü

Erol ve Çekinmez (2014), çalışmalarında arazi deneyleri ile zemin elastisite modülü arasındaki ilişkiyi açıklamışlardır. Uzun dönem deformasyon modülü (zemin elastisite modülü olarak kullanılabilir değer) E_s , ve kısa dönem deformasyon modülü E_u olarak 2 tip deformasyon modülü olduğunu belirtmişlerdir. Kısa dönem deformasyon modülü E_u ile standart penetrasyon deney sonuçları (SPT-N) arasındaki ilişkiyi Denklem 5.1 ile açıklamışlardır.

$$E_u/N_{60} = (1-1.2) \text{ (MN/m}^2\text{)} \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte belirtilen N_{60} örtü yükü düzeltmesi yapılmamış %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT-N değerini belirtmektedir. 1-1.2 arasındaki alınacak değer ise plastisite indisine bağlı olarak Şekil 5.3' te belirttikleri abaktan seçileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 5.3 Plastisite İndisi ile E_u/N Arasındaki İlişki (Erol ve Çekinmez, 2014)

Erol ve Çekinmez (2014), N_{60} değeri için Denklem 5.2' deki bağıntıyı önermişlerdir. Söz konusu eşitlikte yer alan delgi çapı düzeltme faktörü (c_B), örnek alıcı tipi düzeltme faktörü (c_S), tij uzunluğu düzeltme faktörü (c_R) ve darbe vuruş hızı düzeltme faktörü (c_{Bf}) değerlerinin Şekil 5.4' e göre 1 olarak alınabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca c_E şahmerdan düzeltme faktörünü, E_R ise enerji oranını temsil etmektedir. Bu değerler kullanılan şahmerdan tipine göre değişmekte olup Çizelge 5.2' de belirtilen uygun şartlara göre belirlenecektir. Ülkemizde genelde “donut” (halka) tipi şahmerdan kullanılmakta olduğunu E_R %45 olarak, c_E ise 0.75 olarak alınabileceğini belirtmişlerdir.

$$N_{60} = N \cdot c_E \cdot c_B \cdot c_S \cdot c_R \cdot c_{Bf} = N \cdot \frac{E_R}{60} \cdot c_B \cdot c_S \cdot c_R \cdot c_{Bf} \quad (5.2)$$

Çizelge 5.2 Şahmerdan Tipi, c_E ve E_R Arasındaki İlişki

Şahmerdan Tipi	c_E ($c_E = E_R/60$)	E_R (%)
Otomatik Tip	1.3	78
Güvenlikli Tip	1.0	60
Donut (Halka) Tipi	0.75	45

Değişkenler	Semboller	Düzeltilme Faktörü			
		Skempton* (1986)	Robertson ve Wride (1997)	McGregor ve Duncan (1998)	Bowles (1996)
Tij	> 30 m	1	< 1.0	1	1
Uzunluğu	10 – 30 m	1	1	1	1
	6 – 10 m	C_R 0.95	0.95	1	0.95
	4 – 6 m	0.85	0.85	1	0.85
	3 – 4 m	0.75	0.75	1	0.75
	0 – 3 m	0.75	-	0.75	0.75
Tüp	Astar olmayan örnek alıcı kullanılmış ise	C_S 1.2	1.1 – 1.3	-	1.0
	Standart tüp (astar olan) örnek alıcı :				
	Gevşek kum	1	1	-	0.9
	Sıkı kum ve kil	1	1	-	0.8
Delgi Çapı	60 – 120 mm	C_B 1	1	-	1
	150 mm	1.05	1.05	-	1.05
	200 mm	1.15	1.15	-	1.15
Darbe	20'den az ve 10-20 darbe/dk	C_{BF} -	-	0.95	-
Vuruş Hızı	20'den fazla ve 10-20 darbe/dk	-	-	1.05	-

* Uygulamada genellikle Skempton (1986) faktörleri kullanılmaktadır.

Şekil 5.4 Düzeltilme Faktörleri (Erol ve Çekinmez, 2014)

Erol ve Çekinmez (2014), uzun dönem deformasyon modülü ile kısa dönem deformasyon modülü arasındaki ilişkinin Denklem 5.3 yardımıyla hesaplanabileceğini söylemişlerdir. Eşitlikte yer alan β' katsayısının zemin cinsine göre değiştiğini açıklamışlardır. Çizelge 5.3' te β' ile zemin cinsi ilişkisini belirtmişlerdir.

$$E_s = \beta' \cdot E_u \quad (5.3)$$

Çizelge 5.3 Farklı Zemin Cinsleri İçin β' Değerleri (Erol ve Çekinmez, 2014)

Zemin Cinsi	β'
Çakıl	0.9
Kum	0.8
Siltli Kil, Silt	0.7
Sert Kil	0.6
Yumuşak Kil	0.4

Belirtilen yöntemler doğrultusunda arazi deneyleri için oluşturulacak sonlu eleman modellerinde yer alan zemin sonlu elemanları için zemin etüdü çalışmalarında açılan 6 adet sondaj kuyusundan ilk 8 metrelik kısımlardaki değerler ile zemin elastisite modülü hesaplanacaktır. Bunun sebebi zemin altında kalan net profil boyunun ortalama 4.5 metre olması ve daha derinlere gittikçe artan SPT-N değerlerinden dolayı etkili bölgede bulunan zemin elastisite modülünün gerçek değerinden uzaklaşacak olmasıdır. RTS Jeoteknik Mühendislik Sondaj Müşavirlik ve İnşaat Hizmetleri (2014) tarafından hazırlanan zemin etüt raporunda yer alan bağıntılar ve önceki kısımda belirtilen formüller doğrultusunda Çizelge 5.4 hazırlanmıştır. Çizelge 5.4’ te zemin etüt raporunda belirtilen 6 adet sondaj kuyusu için ilk 8 metrede elde edilen SPT-N değerleri, bu değerlere bağlı olarak donut tipi şahmerdan kullanıldığı kabulüyle Denklem 5.2 yardımıyla hesaplanan N_{60} değerleri ve ilk 8 metrelik sondaj derinliği için plastisite indisi değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Zemin Etüt Raporu Doğrultusunda İlk 8 Metre Derinlik İçin SPT-N, N_{60} ve Plastisite İndisi Değerleri

Derinlik (m)	SK-1		SK-2		SK-3		SK-4		SK-5		SK-6	
	N	N_{60}	N	N_{60}	N	N_{60}	N	N_{60}	N	N_{60}	N	N_{60}
3.00 - 3.45	3	2.25	4	3	3	2.25	3	2.25	3	2.25	3	2.25
4.50 - 4.95	2	1.5	4	3	2	1.5	4	3	2	1.5	2	1.5
6.00 - 6.45	2	1.5	3	2.25	2	1.5	2	1.5	3	2.25	2	1.5
7.50 - 7.95	3	2.25	3	2.25	2	1.5			2	1.5	2	1.5
Ort. N_{60}	1.875		2.625		1.6875		2.25		1.875		1.6875	
Plastisite İndisi (PI) (%)	31		30		20		37		30		-	

Bulunan plastisite indisi ve N_{60} değerleri ile Şekil 5.1’ de gösterilen abak yardımıyla Denklem 5.1’ de kullanılacak 1-1.2 arasındaki değer belirlenmiştir. Çizelge 5.3’ e göre β' değeri belirlenmiştir. β' zemin tabakalarının ağırlıklı olarak kil olmalarından dolayı 0.5 olarak kabul edilmiştir. Denklem 5.1 ve Denklem 5.3 yardımıyla her bir sondaj kuyusunun ilk 8 metre derinliği için E_u ve E_s değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan E_u ve E_s değerleri Çizelge 5.5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 N_{60} , β' ve Şekil 6.1' deki Abak Yardımıyla Hesaplanan E_u ve E_s Değerleri

Sondaj Kuyusu	Ort. N_{60}	(1-1.2) Değeri	E_u (MN/m ²)	E_u (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)
SK-1	1.875	1.02	1.9125	19.5	9.75
SK-2	2.625	1.08	2.835	28.9	14.45
SK-3	1.6875	1.7	2.86875	29.25	14.625
SK-4	2.25	0.75	1.6875	17.2	8.6
SK-5	1.875	1.08	2.025	20.65	10.325
SK-6	1.6875	1.08	1.8225	20.65	10.325
Ortalama Zemin Elastisite Modülü					11.35

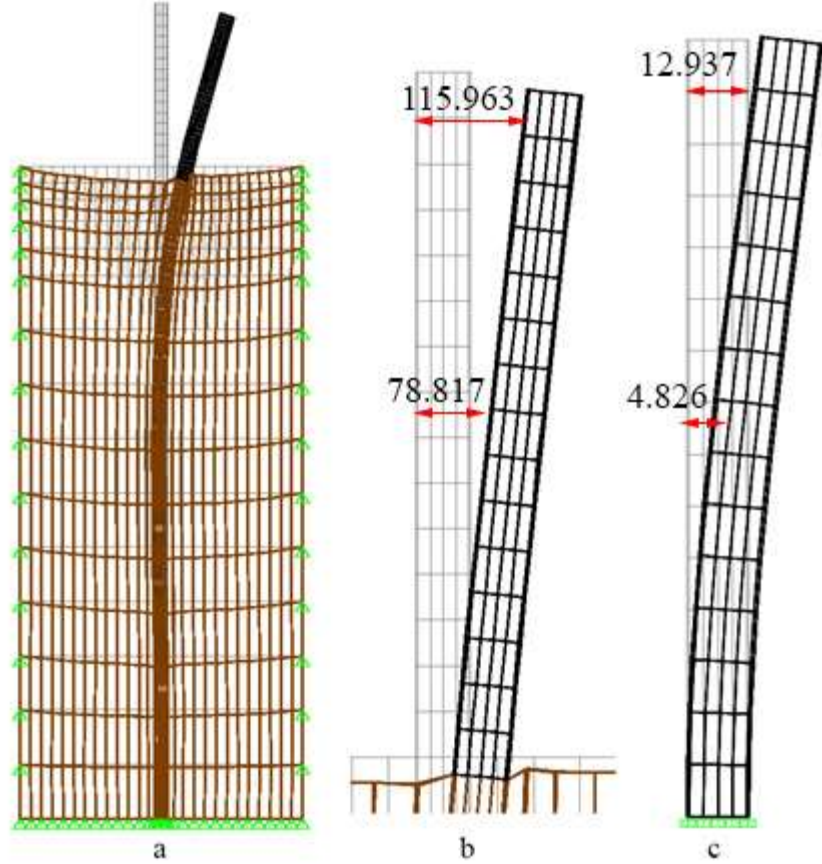
Belirtilen yöntemlerle yapılan hesaplamalar sonucunda zemin elastisite modülü 11.35 kg/cm² bulunmuştur. Sonlu eleman modellerinde zemin parçaları elastisite modülü 12 kg/cm², poisson oranı 0.45 olarak alınarak 3 boyutlu hacimsel (solid) elemanlar yardımı ile modellenmiştir.

5.1.3 Deney elemanı 1

Deney Elemanı 1' e ait teorik analiz sonuçları Çizelge 5.6' da gösterilmiştir. Şekil 5.5' te Deney Elemanı 1 için deforme olmuş modeller gösterilmiştir. Ankastre mesnetli model 10 kat, zemin içeren modeller sırasıyla 5 ve 2 kat ölçekli olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.6 Deney Elemanı 1 İçin Teorik Analiz Sonuçları

Yöntem	Eğim Değişim Yüğü (t)	Alt Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Üst Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Düğüm Noktası Sayısı	Solid Eleman Sayısı
Ankastre Mesnetli	2.4	4.826	12.937	784	540
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli		78.817	115.963	18159	15900



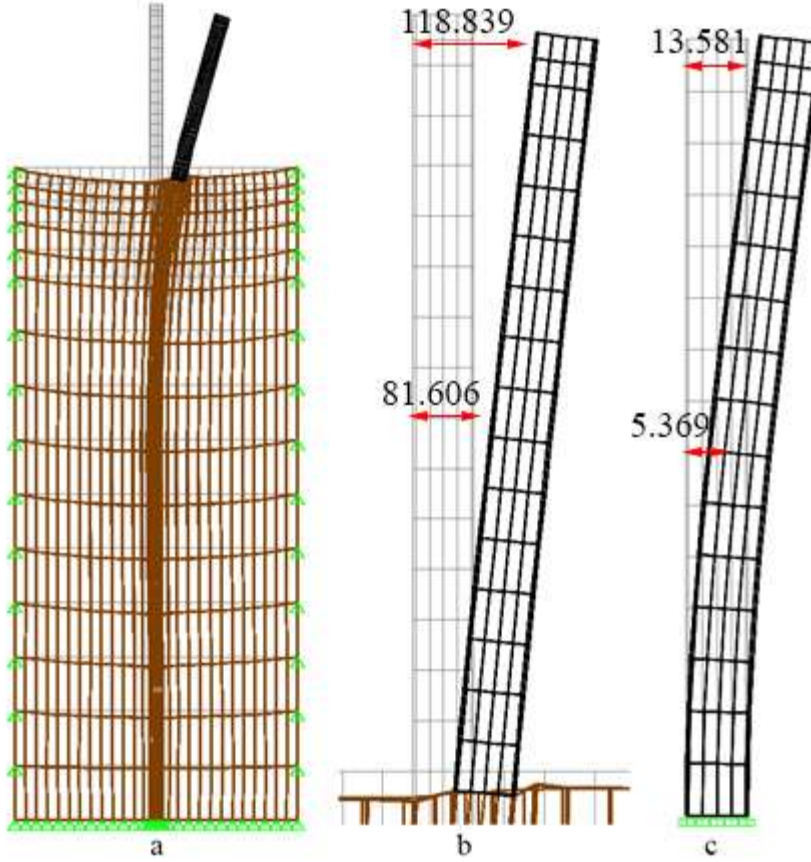
Şekil 5.5 Deney Elemanı 1 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model

5.1.4 Deney elemanı 2

Deney Elemanı 2' ye ait teorik analiz sonuçları Çizelge 5.7' de gösterilmiştir. Şekil 5.6' da Deney Elemanı 2 için deforme olmuş modeller gösterilmiştir. Ankastre mesnetli model 10 kat, zemin içeren modeller sırasıyla 5 ve 2 kat ölçekli olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.7 Deney Elemanı 2 İçin Teorik Analiz Sonuçları

Yöntem	Eğim Değişim Yüğü (t)	Alt Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Üst Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Düğüm Noktası Sayısı	Solid Eleman Sayısı
Ankastre Mesnetli	2.4	5.369	13.581	833	576
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli		81.606	118.839	18208	15936



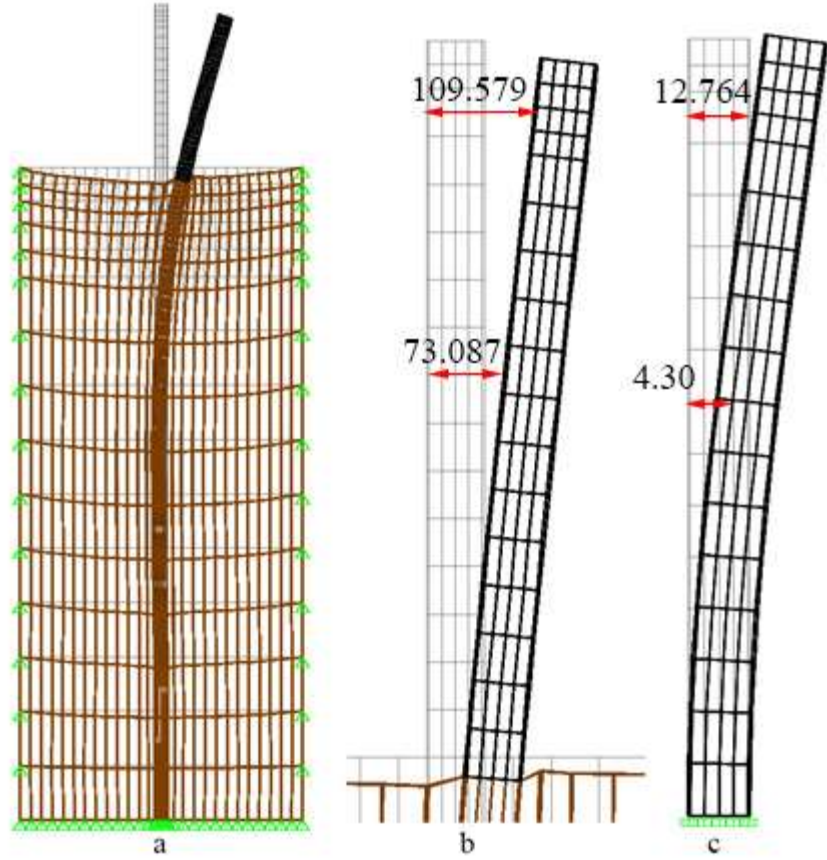
Şekil 5.6 Deney Elemanı 2 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model

5.1.5 Deney elemanı 3

Deney Elemanı 3' e ait teorik analiz sonuçları Çizelge 5.8' de gösterilmiştir. Şekil 5.7' de Deney Elemanı 3 için deforme olmuş modeller gösterilmiştir. Ankastre mesnetli model 10 kat, zemin içeren modeller sırasıyla 5 ve 2 kat ölçekli olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.8 Deney Elemanı 3 İçin Teorik Analiz Sonuçları

Yöntem	Eğim Değişim Yüğü (t)	Alt Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Üst Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Düğüm Noktası Sayısı	Solid Eleman Sayısı
Ankastre Mesnetli	2.2	4.3	12.764	882	612
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli		73.087	109.579	18257	15972



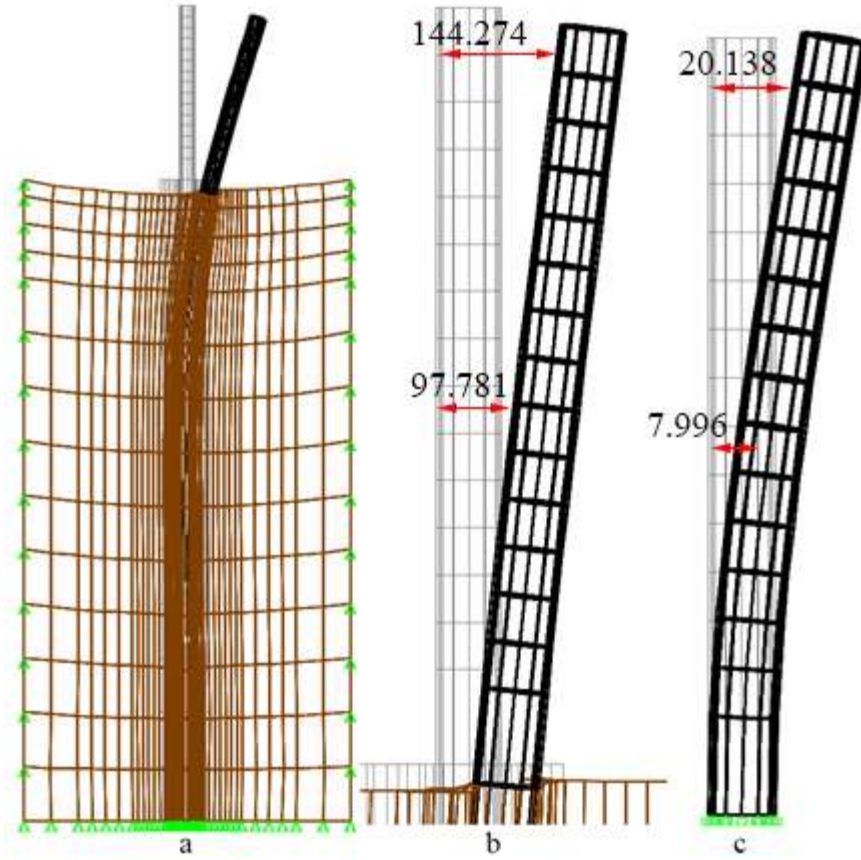
Şekil 5.7 Deney Elemanı 3 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model

5.1.6 Deney elemanı 4

Deney Elemanı 4' e ait teorik analiz sonuçları Çizelge 5.9' da gösterilmiştir. Şekil 5.8' de Deney Elemanı 4 için deforme olmuş modeller gösterilmiştir. Ankastre mesnetli model 10 kat, zemin içeren modeller sırasıyla 5 ve 2 kat ölçekli olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.9 Deney Elemanı 4 İçin Teorik Analiz Sonuçları

Yöntem	Eğim Değişim Yüğü (t)	Alt Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Üst Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Düğüm Noktası Sayısı	Solid Eleman Sayısı
Ankastre Mesnetli	2.4	7.996	20.138	400	360
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli		97.781	144.274	3450	



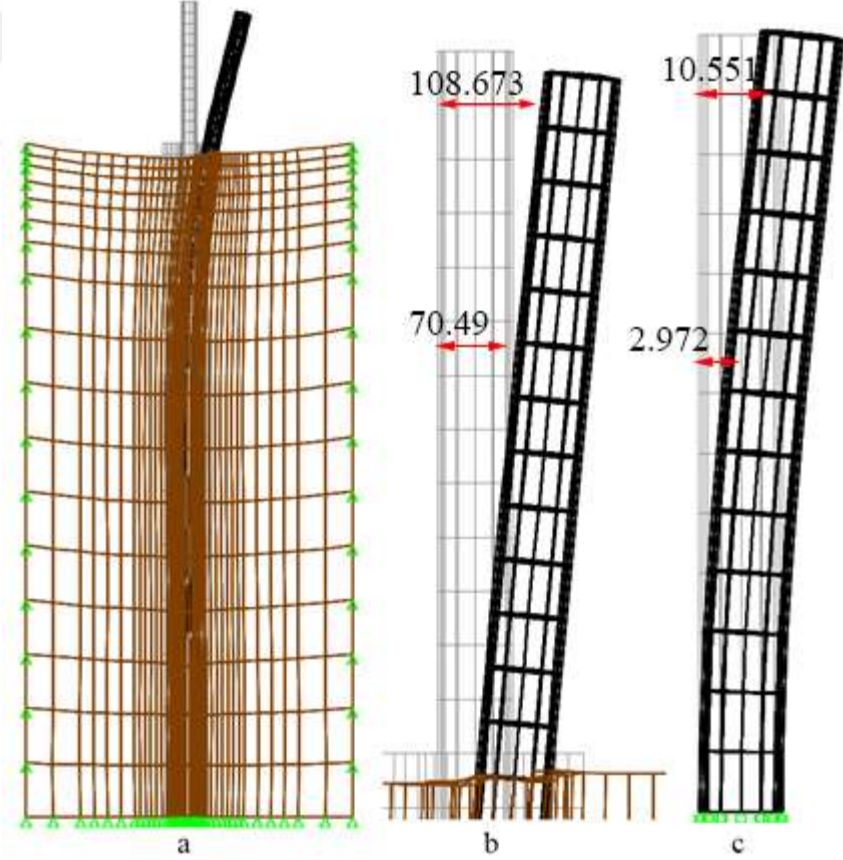
Şekil 5.8 Deney Elemanı 4 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model

5.1.7 Deney elemanı 5

Deney Elemanı 5' e ait teorik analiz sonuçları Çizelge 5.10' da gösterilmiştir. Şekil 5.9' da Deney Elemanı 5 için deforme olmuş modeller gösterilmiştir. Ankastre mesnetli model 10 kat, zemin içeren modeller sırasıyla 5 ve 2 kat ölçekli olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.10 Deney Elemanı 5 İçin Teorik Analiz Sonuçları

Yöntem	Eğim Değişim Yüğü (t)	Alt Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Üst Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Düğüm Noktası Sayısı	Solid Eleman Sayısı
Ankastre Mesnetli	2.5	2.972	10.551	350	312
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli		70.49	108.673	4015	3780



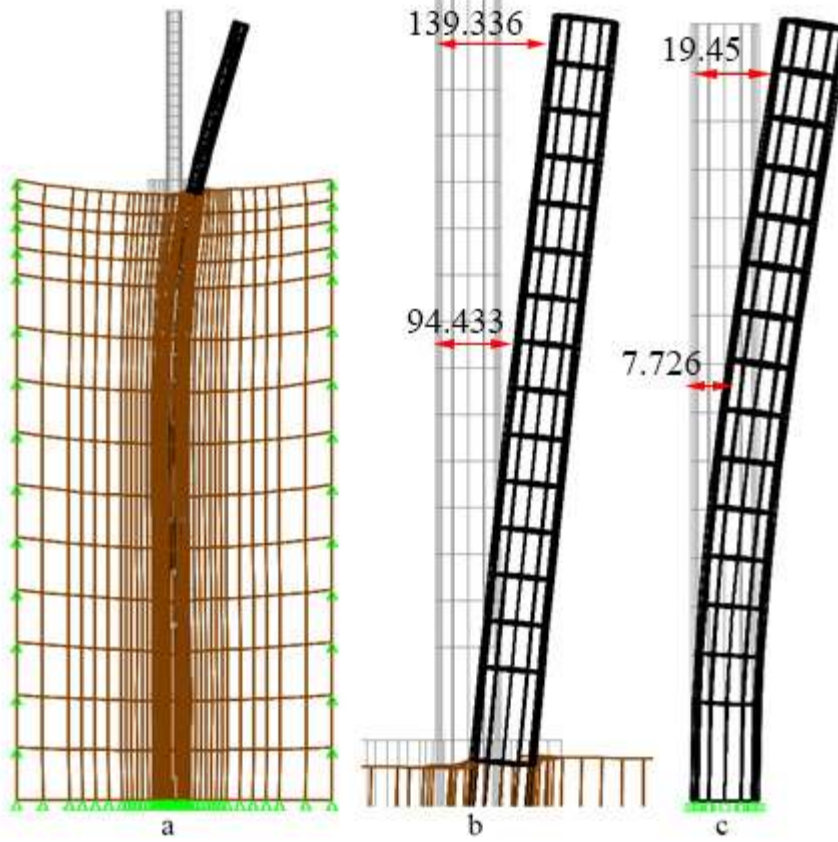
Şekil 5.9 Deney Elemanı 5 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model

5.1.8 Deney elemanı 6

Deney Elemanı 6' ya ait teorik analiz sonuçları Çizelge 5.11' de gösterilmiştir. Şekil 5.10' da Deney Elemanı 6 için deforme olmuş modeller gösterilmiştir. Ankastre mesnetli model 10 kat, zemin içeren modeller sırasıyla 5 ve 2 kat ölçekli olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.11 Deney Elemanı 6 İçin Teorik Analiz Sonuçları

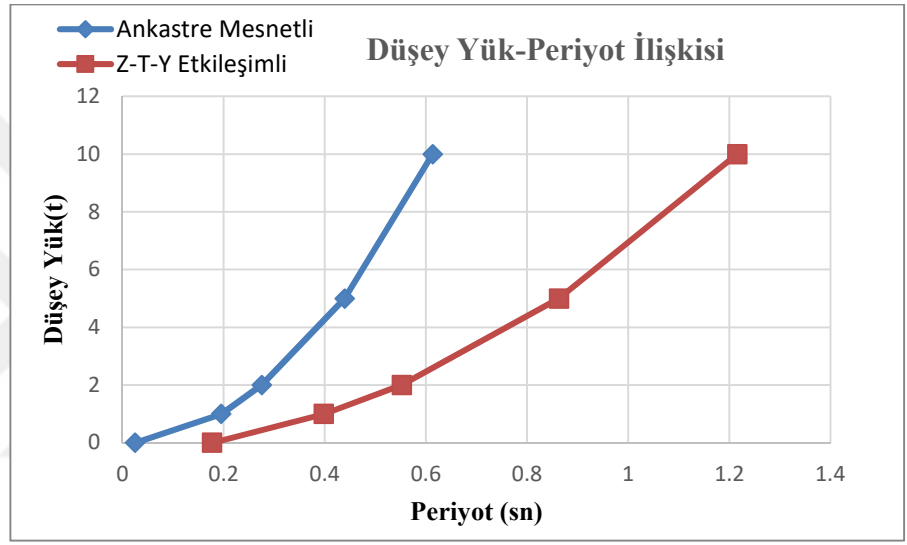
Yöntem	Eğim Değişim Yüklü (t)	Alt Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Üst Deplasman Ölçer Noktasında Yerdeğiştirme (mm)	Düğüm Noktası Sayısı	Solid Eleman Sayısı
Ankastre Mesnetli	2.4	7.726	19.45	400	360
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli		94.433	139.336	3450	



Şekil 5.10 Deney Elemanı 6 Deforme Olmuş Modeller a) Zemin İçeren Model, b) Zemin İçeren Model Yer Üstünde Kalan Kısım c) Ankastre Mesnetli Model

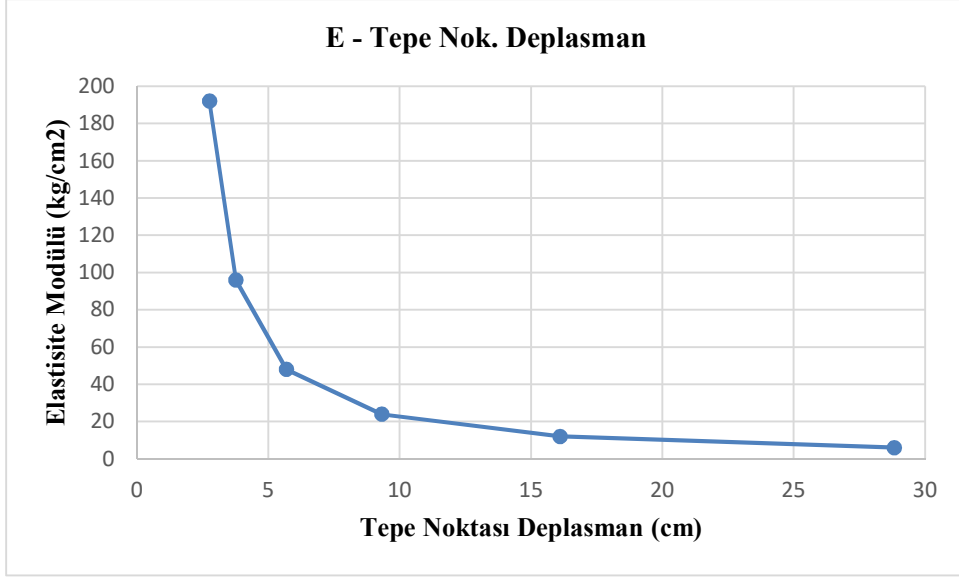
5.1.9 Deney elemanlarının teorik yapısal davranışları

Bütünleşik (global) hesap modelinde zeminin hesaplanan parametreler ile idealize edilmesi esnasında bir takım teorik çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak deney elemanlarının üzerinde belirli bir yük var olduğu kabul edilip, deney elemanının aynı yatay yük ve düşünülen düşey yük altındaki periyotları ankastre mesnetli ve zemin-temel-yapı etkileşimli olarak ayrı ayrı hesaplanarak düşey yük-periyot arasındaki ilişki grafiği çıkarılmıştır (Şekil 5.11). Yapılan analizler sonucunda düşey yükün artması ile beraber sistemin periyodunun da arttığı gözlemlenmiştir.

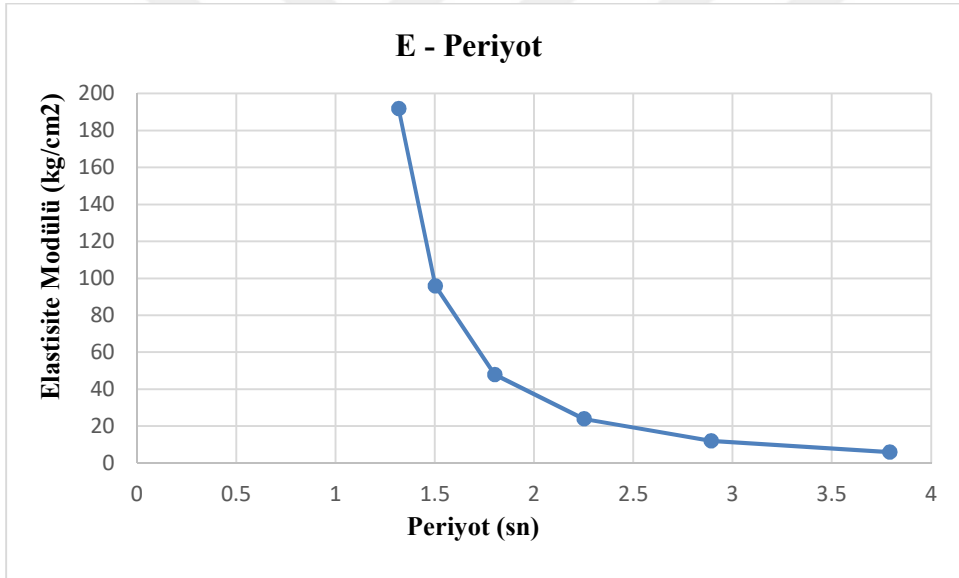


Şekil 5.11 Düşey Yük-Periyot İlişkisi

Bununla birlikte sabit bir bina modelinin X-Z doğrultusunda yapılan analizlerinde değişen zemin elastisite modülü ile aynı yükleme için (G+Q+Ex) bina tepe noktası deplasmanlarındaki ve sistem periyodundaki değişimler incelenmiştir. Söz konusu analizler sonucunda elastisite modülü-deplasman grafiği (Şekil 5.12) ve elastisite modülü-periyot grafiği (Şekil 5.13) elde edilmiştir. Genel olarak elastisite modülü azaldıkça, diğer bir deyişle zemin zayıf oldukça tepe noktasındaki deplasmanların ve sistem periyodunun arttığı gözlemlenmiştir.



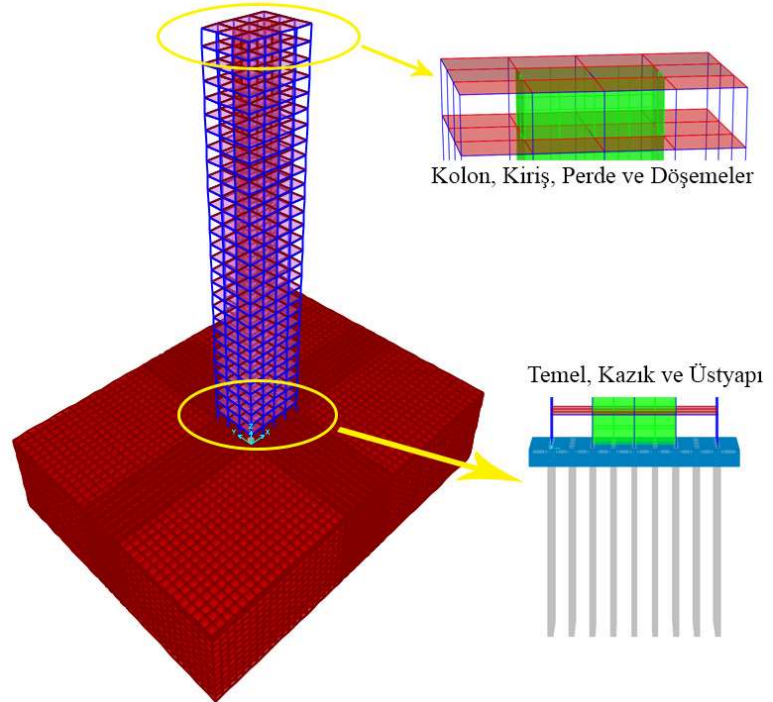
Şekil 5.12 Elastisite Modülü-Tepe Noktası Deplasman İlişkisi



Şekil 5.13 Elastisite Modülü-Periyot İlişkisi

5.2 Model Bina İçin Teorik Analizler

Deneyisel çalışmalarda kullanılmış olan 6 metrelik 120x120x5 mm çelik kutu profil deney elemanlarının zemin seviyesi altında kalan ortalama 4.5 metrelik kısmı derin kazık temel olarak kabul edilmiştir. Bu kabule göre bir adet kazığın taşıyabileceği düşey yük miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan yük miktarı ve kazık sayısı ile bağlantılı olarak ölçekli bir prototip bina modeli oluşturulmuştur. Bina, zemin ve derin temel(kazık + radye) mikro model yaklaşımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile SAP2000 (v.18) programında modellenmiştir. Prototip bina modelinin derin temeli için arazi deneylerinde kullanılan 120x120x5 mm kutu kesitli kazıklar seçilmiştir. Bu seçimin sebepleri deney arazisi çevresinde dörtgen kesitli “baret kazık” olarak anılan uygulamaların genellikle tercih edilmesidir. Zemine ait sonlu elemanlarda önceki bölümde hesaplanan elastisite modülü ($E=12 \text{ kg/cm}^2$) ve poisson oranı ($\mu=0,45$) kullanılmıştır. Bina modeli için döşeme ve kiriş yükleri TS500 ve TS498’ e göre hesaplandıktan sonra sonlu eleman modeline eklenmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modelleri üzerinde eşdeğer deprem yükü ile statik analiz, lineer spektrum analizi ve zaman tanım alanında lineer analizler (time history) yapılmış ve sonuçları kıyaslanmıştır. Şekil 5.14’ te "zemin-temel-yapı etkileşimli kabul" için örnek bir sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Ayrıca teorik analizlerde kullanılacak parametrelerin hesabına ve bina modeli ile ilgili hesaplara bu bölüme ait alt bölümlerde yer verilmiştir.



Şekil 5.14 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi İçin Örnek Sonlu Eleman Modeli

5.2.1 Kazık düşey taşıma gücü hesabı

Bu tez çalışması kapsamında kazık düşey taşıma gücü hesabının standart penetrasyon deneyi sonuçları yardımıyla yapılması uygun görülmüştür ve kazıkların düşey taşıma gücü hesabı ile ilgili olarak çeşitli kavramlar ve hesaplar bu bölümde belirtilmiştir. Bu kavramlar tek kazığın nihai taşıma gücü Q_f , tek kazığın uç taşıma gücü $Q_{uç}$, tek kazığın sürtünme direnci Q_s , kazık uç direnci q_{ult} , kazık çeper sürtünmesi f_s , kazık ucundaki kesit alanı A_p ve kazık sürtünme alanı A_s ' dir. Yüksel Proje (2007), kazık uç direnci (q_{ult}) ve kazık çeper sürtünmesi (f_s) için Denklem 5.4 ve Denklem 5.5' i önermektedir.

$$q_{ult} = 40.N' \cdot \frac{D_b}{B} \leq q_i \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5.4)$$

$$f_s = 2.N_{ort} \text{ (} f_s < 100 \text{ kN/m}^2 \text{ Çakma Kazıklar için) (kN/m}^2\text{)} \quad (5.5)$$

Eşitsizliklerde kazık çapı B , kazık boyu D_b , kazık ucu seviyesinden $4B$ aşağıda $10B$ yukarıda ele edilen SPT değerlerinin ortalamasının düzeltilmiş hali N' , sınır uç direnci q_i , kazık boyunca ortalama standart penetrasyon değeri N_{ort} ile gösterilmiştir. Yüksel Proje (2007), sınır uç direnci (q_i) değerinin kum zeminlerde $400N$, Silt zeminlerde ise $300N$ olarak alınabileceğini belirtmiştir. Ayrıca fore kazıklar için q_{ult} değerinin $1/3$ oranında, f_s değerinin ise $1/2$ oranında azaltılması gerektiğini söylemişlerdir. Bu bilginin yanı sıra N' SPT darbe sayısının düzeltilmesini Denklem 5.6 ile açıklamıştır.

$$N' = N \cdot c_N [c_N = 0.77 \log(2000 / p)] \quad (5.6)$$

Eşitsizlikte düzeltme faktörü c_N , kazık ucundaki efektif zemin gerilmesi ise p (kN/m^2) ile belirtilmiştir. Tek kazığın nihai taşıma gücü Q_f , tek kazığın uç taşıma gücü $Q_{uç}$, tek kazığın sürtünme direnci Q_s değerlerinin hesabı Denklem 5.7, Denklem 5.8 ve Denklem 5.9 ile yapılacaktır.

$$Q_{uç} = q_{ult} \cdot A_p \quad (5.7)$$

$$Q_s = f_s \cdot A_s \quad (5.8)$$

$$Q_f = Q_{uç} + Q_s \quad (5.9)$$

Belirtilmiş olan hesap yöntemleri ve deney arazisi için yapılmış olan zemin etüt raporu sonuçları doğrultusunda kazık düşey taşıma gücü hesaplanmıştır. Kazık alt noktasının yaklaşık olarak zemin seviyesinden 6 metre aşağıda yer aldığı gözlemlenmiştir. RTS Jeoteknik Mühendislik Sondaj Müşavirlik ve İnşaat Hizmetleri (2014) tarafından hazırlanan zemin etüt raporunda bulunan sondaj loglarında yer alan SPT-N değerleri yardımıyla düzeltilmiş SPT değerlerinin yer aldığı Çizelge 5.12 elde edilmiştir. Düzeltme faktörünün hesabı için kazık ucundaki efektif zemin gerilmesi 66 kN/m^2 olarak bulunmuş ve hesaplarda kullanılmıştır.

Laman (2013), çalışmasında standart penetrasyon deney sonuçlarının yer altı suyu düzeltilmesinin yapılabilmesi için zeminin ince taneli siltli kum olması gerektiğini ve SPT değerlerinin 15' ten büyük olması gerektiğini belirtmiştir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında standart penetrasyon deney sonuçlarında yeraltı suyu düzeltilmesi uygulanmamıştır.

Çizelge 5.12 Düzeltilmiş SPT Değerleri ve Düzeltme Katsayısı

Derinlik (m)	SK-1		SK-2		SK-3		SK-4		SK-5		SK-6	
	N	N'	N	N'	N	N'	N	N'	N	N'	N	N'
3.00 - 3.45	3	3.4	4	4.6	3	3.4	3	3.4	3	3.4	3	3.4
4.50 - 4.95	2	2.3	4	4.6	2	2.3	4	4.6	2	2.3	2	2.3
6.00 - 6.45	2	2.3	3	3.4	2	2.3	2	2.3	3	3.4	2	2.3
7.50 - 7.95	3	3.4	3	3.4	2	2.3			2	2.3	2	2.3
Ort. N ve N'	2.5	2.85	3.5	4	2.25	2.58	3	3.43	2.5	2.85	2.25	2.58
Genel Ortalama N ve N'					Ortalama N = 2.67				Ortalama N' = 3.04			
c_N	$0.77 \log(2000/66) = 1.14$											

Elde edilen N ve N' değerleri yardımıyla kazık uç direnci (q_{ult}) 456 t/m^2 , kazık çeper sürtünmesi (f_s) 0.534 t/m^2 olarak bulunmuştur. Düşünülen kazık boyu için zemin tabakalarında kum yer almamaktadır. Bu nedenden dolayı $q_f \leq q_i$ kontrolü yapılmamıştır. Uç taşıma gücü ($Q_{uç}$) ve sürtünme direnci (Q_s) Denklem 5.7 ve Denklem 5.8 yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra tek bir kazığın nihai taşıma gücü (Q_f) Denklem 5.9 yardımıyla elde edilmiştir. Uç taşıma gücü ($Q_{uç}$), sürtünme direnci (Q_s) ve tek bir kazığın nihai taşıma gücü (Q_f) hesap aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

$$Q_{uç} = q_{ult} \cdot A_p = q_{ult} \cdot B \cdot B = 456 \cdot 0.12 \cdot 0.12 = 6.57 \text{ t}$$

$$Q_s = f_s \cdot A_s = f_s \cdot (D_b \cdot 4B) = 0.534 \cdot 4 \cdot 0.12 \cdot 4.50 = 1.15 \text{ t}$$

$$Q_f = Q_{uç} + Q_s = 6.57 + 1.15 = 7.72 \text{ t}$$

Yüksel Proje (2007), belirtilen bu yöntemlerle kazıkların düşey taşıma gücü hesabında güvenlik katsayısının 3 olarak alınabileceğini söylemektedir. Bu bilgi doğrultusunda $Q_f = 2.57 \text{ t}$ ($7.72 / 3$) olarak tekrar hesaplanmıştır.

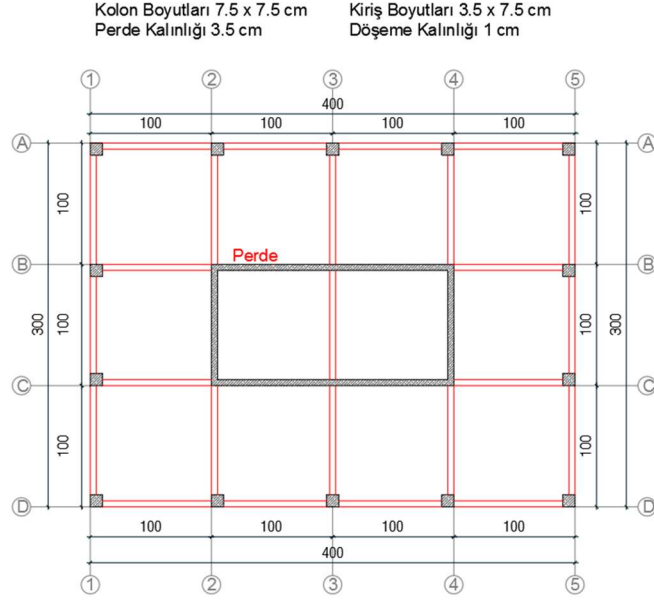
5.2.2 Bina ve temel sisteminin tasarlanması

Bir adet 120x120x5 mm kutu kesitli içi donatısız beton dolu 4.5 metre çelik profil kazığın düşey yük taşıma kapasitesinden yola çıkılarak prototip bina modelinin boyutları belirlenmiştir. Prototip bina modeli perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahiptir. TS498 ve TS500' e göre yapılan değerlendirmeler sonucunda döşeme yükleri 0.15 t/m^2 sabit yük ve 0.2 t/m^2 hareketli yük, kiriş yükleri ise 0.015 t/m sabit duvar yükü olarak hesaplanmıştır. Beton sınıfı C40 olacaktır. Bina X yönünde 4 açıklığa, Y yönünde 3 açıklığa sahip olup aks arası mesafeler 1 metredir. Kolon boyutları $7.5 \times 7.5 \text{ cm}$, kiriş boyutları $3.5 \times 7.5 \text{ cm}$, döşeme kalınlığı 1 cm ve perde kalınlığı 3.5 cm' dir. Perdeler bina merkezinde konumlandırılmıştır. Kat yüksekliği 80 cm olup binada 25 kat bulunmaktadır. Bina temeli ampattanları her yönde 50 cm olup temel boyutları $500 \times 400 \text{ cm}$, temel derinliği ise 40 cm olarak tasarlanmıştır. Temel ağırlığı 20 tondur. Binanın bir kat ağırlığı 3.937 ton, toplam ağırlığı ise 98.425 tondur. Bina altında düşey yük taşıma kapasitesi 2.57 ton olan kazıklardan her iki yönde de 50 cm aralıklı olacak şekilde yatayda 7 sıra, düşeyde 9 sıra olacak şekilde 63 adet bulunmaktadır. 63 adet kazığın toplam düşey yük taşıma kapasitesi Converse-Labarre metodu (Denklem 5.10) ile grup etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Eşitsizlikte düşeydeki kazık sayısını m, yataydaki kazık sayısını n, kazık çapını B, kazık aralığını ise s ile belirtmiştir.

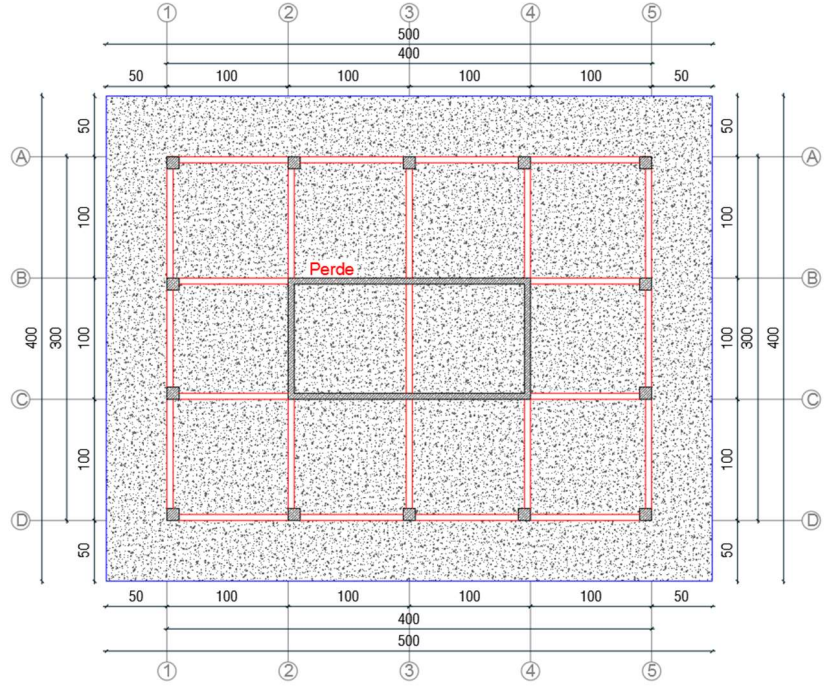
$$E = 1 - \theta \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right], \quad \theta = \arctan(B/s) \quad (5.10)$$

Düzeltilme katsayısı (E), belirtilen denklem yardımıyla 0.738 olarak bulunmuştur. 63 adet kazık için toplam emniyetli düşey yük taşıma kapasitesi 119.5 ton olarak hesaplanmıştır. Bina ve temelin toplam ağırlığı 118.425 tondur. Hesaplanan bu değerlere göre kazıklar bina ve temeli taşıyabilmektedir. Bina

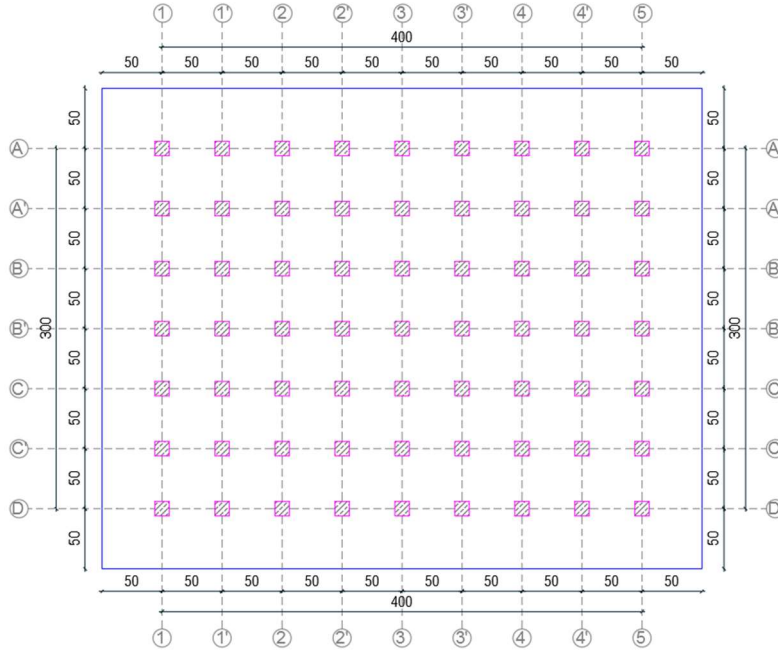
modeline ait kat kalıp planı Şekil 5.15' te, temel aplikasyon planı Şekil 5.16' da, kazık yerleşimi Şekil 5.17' de, bina-temel-kazık içeren 3 boyutlu görünüş ise Şekil 5.18' de gösterilmiştir.



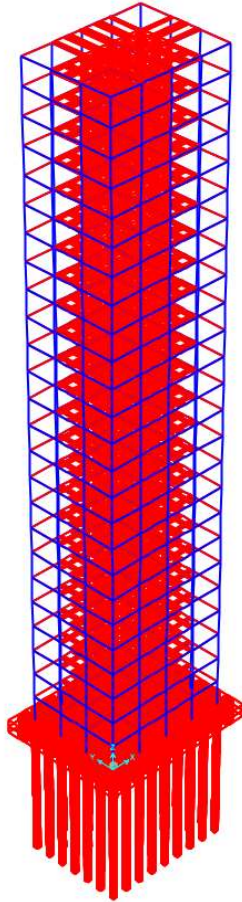
Şekil 5.15 Model Bina Kat Kalıp Planı



Şekil 5.16 Model Bina Temel Aplikasyon Planı



Şekil 5.17 Model Bina Kazık Yerleşim Planı



Şekil 5.18 Model Binanın 3 Boyutlu Görünüşü

5.2.3 Eşdeğer deprem yükü hesabı

Eşdeğer deprem yükü hesabı DBYBHY (2007)' de belirtilen hesap esasları doğrultusunda yapılmıştır. İlk olarak model binanın “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için modal analizleri yapılarak binanın doğal periyodu hesaplanmıştır. “Ankastre mesnetli kabul” için binanın periyodu 1.04087 saniye, “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için sistemin periyodu ise 2.86318 saniye olarak bulunmuştur. Gerekli zemin ve bina bilgileri aşağıda yer almaktadır.

- Bina İşlevi: Konut
- Zemin Sınıfı: Z4 ($T_A=0.20$ ve $T_B=0.90$)
- Deprem Bölgesi: 1. Derece ($A_o= 0.40$)
- Yapı Sistemi ve Taşıyıcı Sistem Katsayısı: Betonarme Perde Çerçeve, $R= 7$
- Bina Önem Katsayısı: $I= 1$

Spektral ivme katsayısı DBYBHY (2007)' ye göre $A(T) = A_o \times I \times S(T)$ formülü ile hesaplanmaktadır. $S(T)$ spektrum katsayısı için DBYBHY (2007)' de 3 şart belirtilmiştir. Bina doğal periyodu ve zemin sınıfına göre belirtilen spektrum karakteristik periyotları arasındaki ilişkiye uygun şarta göre hesap yapılacaktır. Bu şartlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1) $S(T) = 1 + 1.5 T / T_A$ ($0 \leq T \leq T_A$)
- 2) $S(T) = 2.5$ ($T_A < T \leq T_B$)
- 3) $S(T) = 2.5 \cdot (T_B / T)^{0.8}$ ($T > T_B$)

DBYBHY (2007)' ye göre toplam taban kesme kuvvetinin hesabı Denklem 5.11' de gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{W \cdot A(T)}{R} \geq 0.1 \cdot A_o \cdot I \cdot W \quad (5.11)$$

Ankastre mesnetli kabul için spektrum katsayısı hesabında 3. Şart sağlanmaktadır. Spektrum katsayısı 2.23 olarak hesaplanmıştır. Spektral ivme katsayısı ise 0.892 olarak bulunmuştur. Denklem 5.11 yardımıyla taban kesme kuvveti hesaplanmıştır.

$$V_t = \frac{98.425 \cdot 0.892}{7} \geq 3.94$$

$V_t = 12.54 \text{ t} > 3.94 \text{ t}$ olduğundan $V_t = 12.54 \text{ ton}$ olarak alınmıştır.

Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul için spektrum katsayısı hesabında 3. Şart sağlanmaktadır. Spektrum katsayısı 0.99 olarak hesaplanmıştır. Spektral ivme katsayısı ise $A(T) = A_o \times I \times S(T)$ formülünden 0.396 olarak bulunmuştur. Denklem 5.11 yardımıyla taban kesme kuvveti hesaplanmıştır.

$$V_t = \frac{98.425 \cdot 0.396}{7} \geq 3.94$$

$V_t = 5.57 \text{ t} > 3.94 \text{ t}$ olduğundan $V_t = 5.57$ ton olarak alınmıştır.

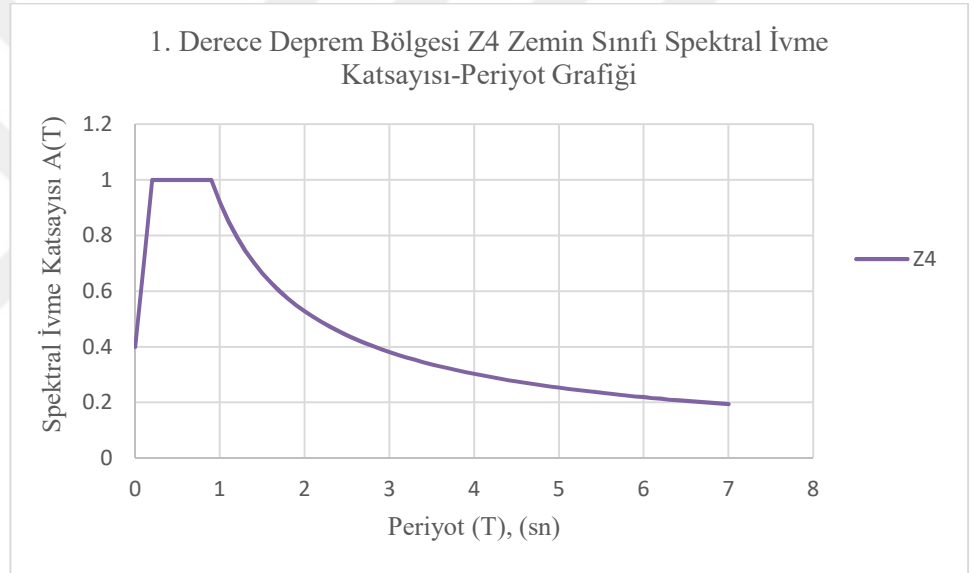
“Ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için hesaplanan her bir kata gelen deprem yükleri Çizelge 5.13’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 Hesaplanan Eşdeğer Deprem Yükleri

Kat	Yükseklik (m)	Ankastre Mesnetli Kabul Deprem Yükü (kg)	Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul Deprem Yükü (kg)
Zemin Kat	0.8	39	17
1. Kat	1.6	78	34
2. Kat	2.4	116	51
3. Kat	3.2	155	69
4. Kat	4	194	86
5. Kat	4.8	233	103
6. Kat	5.6	271	120
7. Kat	6.4	310	137
8. Kat	7.2	349	154
9. Kat	8	388	171
10. Kat	8.8	426	189
11. Kat	9.6	465	206
12. Kat	10.4	504	223
13. Kat	11.2	543	240
14. Kat	12	582	257
15. Kat	12.8	620	274
16. Kat	13.6	659	291
17. Kat	14.4	698	308
18. Kat	15.2	737	326
19. Kat	16	775	343
20. Kat	16.8	814	360
21. Kat	17.6	853	377
22. Kat	18.4	892	394
23. Kat	19.2	930	411
24. Kat	20	969	428
Toplam		12600	5570

5.2.4 Davranış spektrum analizi

Davranış spektrumu analizi lineer dinamik bir analiz yöntemidir. Belirlenen tepki spektrumuna göre yapının her bir titreşim modundaki tepkisini bulmaktadır. Oluşturulan bina modelinin “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile oluşturulan sonlu eleman modelleri üzerinde davranış spektrumu analizleri yapılmıştır. Davranış spektrumu analizi için taşıyıcı sistem katsayısı (R) 7 olarak hesaba katılmıştır. Spektrum eğrisi olarak DBYBHY (2007)’ ye göre 1. Derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfı için oluşturulan elastik spektral ivme-periyot eğrisi kullanılmıştır. Şekil 5.19’ da 1. Derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfı için spektral ivme katsayısı-periyot grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.19 1. Derece Deprem Bölgesi Z4 Zemin Sınıfı Spektral İvme Katsayısı-Periyot Grafiği

5.2.5 Zaman tanım alanında analiz

DBYBHY (2007)' de yapıların zaman tanım alanında lineer ya da nonlineer analizleri için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında kaydedilmiş depremler yardımıyla bina modelinin “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için zaman tanım alanında lineer analizleri yapılacaktır. Seçilen 3 adet deprem ile yapılacak olan zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarından en yükseği seçilecektir. DBYBHY (2007)' de kaydedilmiş depremlerin kullanılması durumunda 3 şartın sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Bu şartlar DBYBHY (2007)' de aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_o g'$ den daha küçük olmayacaktır.

c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyod T_1' e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, 2.4' te tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri DBYBHY (2007)' de yer alan Denklem 2.13 ile hesaplanacaktır.”

Tez çalışması kapsamında zaman tanım alanında yapılacak analizler için şiddeti 7.5 olan Kocaeli Depremi, şiddeti 7.3 olan Landers Depremi ve şiddeti 6.7 olan Northridge Depremi seçilmiştir. Deprem kayıtları Pacific Earthquake Research Center' a ait olan PEER Ground Motion Database üzerinden temin edilmiştir. Seçilen deprem kayıtları zemin sınıfı ve deprem bölgesi göz önünde bulundurularak ölçeklendirilmiştir.

Fahjan (2008), deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi konusunda yapmış olduğu çalışmada pratik bir yöntem ortaya koymuştur. Kaydedilmiş yer hareketlerinin aynı miktarda yukarı ve aşağı yönde ölçeklenerek istenilen periyot aralığında uygun eşleştirmenin yapılabileceğini belirtmiştir. Çalışmasında DBYBHY (2007)' de tanımlanan spektral ivme katsayısı $A(T)$ ' nin en önemli

özelliğinin, etkin yer ivmesi katsayısı A_o , bina önem katsayısı I ve spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin lineer çarpımı ile elde edilmesi olduğunu söylemektedir. Bu özelliği kullanarak spektrum katsayısına göre kayıtları seçmiş ve ölçekleme yapmıştır. Ölçekleme işlemi sonucunda α_{ST} olarak belirttiği ölçekleme katsayısını bulmuştur. Spektral ivme katsayısı $A(T)$ ' ye ait ölçekleme katsayısı α_{AT} ile α_{ST} arasındaki ilişkiyi ise Denklem 5.12 ile açıklamıştır. Ölçekleme işlemi yapılırken kullanılacak katsayının α_{AT} olduğunu belirtmiştir. Çalışmaları sonucunda farklı zemin koşullarında kullanılacak deprem kayıtları ve ölçekleme katsayılarını sunmuştur.

$$\alpha_{AT} = A_o \cdot I \cdot \alpha_{ST} \quad (5.12)$$

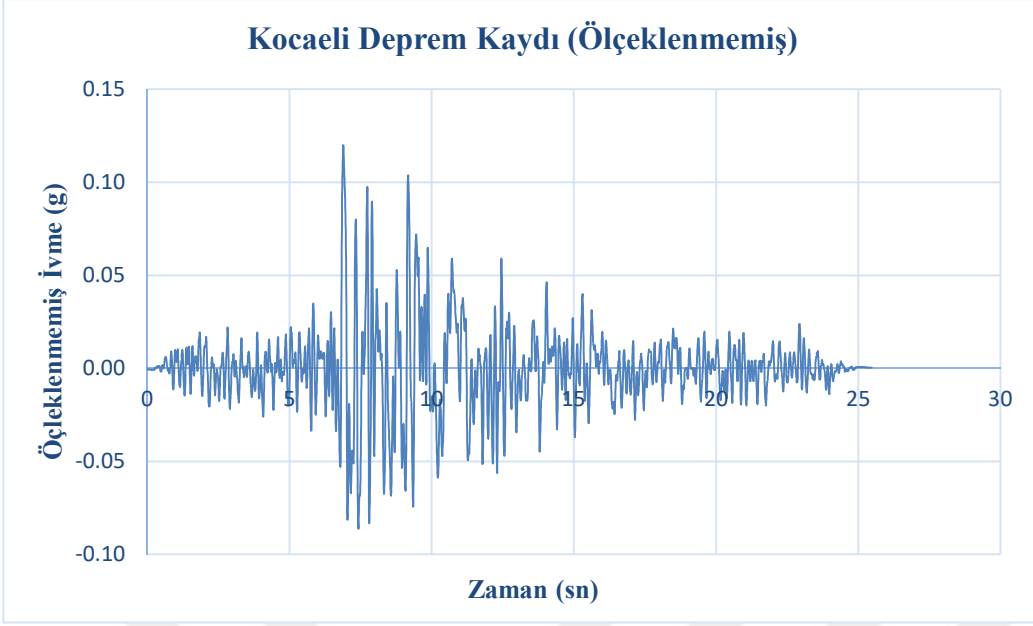
Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi konusunda kullanılacak katsayıların seçiminde kaydın kullanılacağı problemin türünün önemli olduğunu söylemektedir. Yapıların doğrusal elastik analizlerinde üst limit olarak 4'ün kabul edilebileceğini fakat doğrusal elastik olmayan analizlerde ölçekleme katsayısının 0.5 ile 2 arasında sınırlandırılması gerektiğini, sıvılaşma için ise 2'den büyük ölçekleme katsayısı gerektiğini belirtmiştir (Fahjan, 2008).

Tez çalışması kapsamında seçilen 3 adet deprem kaydının bilgileri ve bu deprem kayıtları ölçekleme katsayıları Çizelge 5.14' te gösterilmiştir.

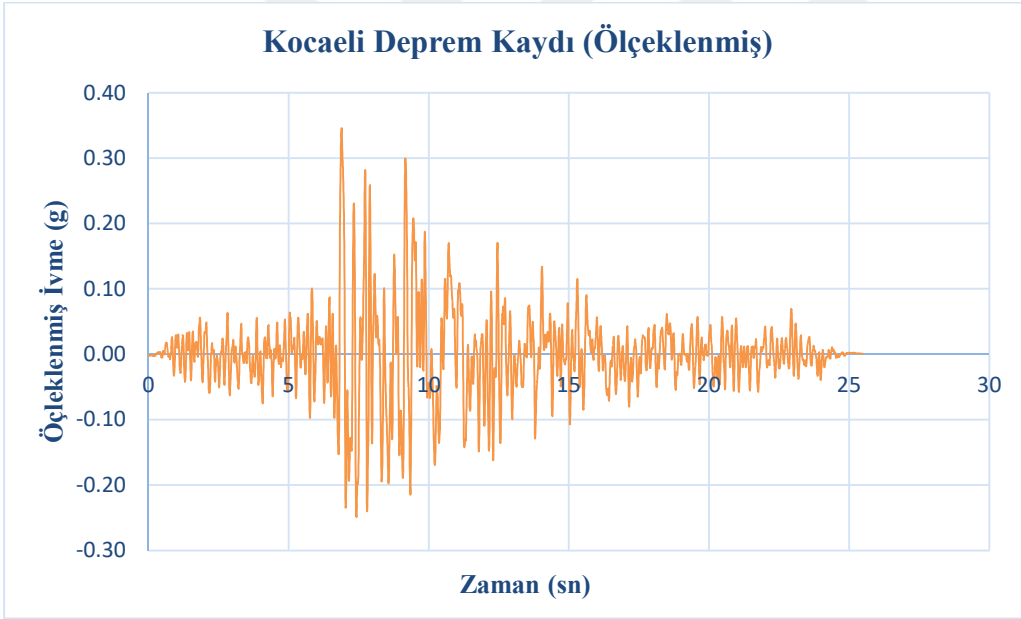
Çizelge 5.14 Seçilen Deprem Kayıtları ve α_{ST} Ölçekleme Katsayıları (Fahjan, 2008)

Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına En Yakın Mesafe (km)	Kayıt Süresi (sn)	Anlamlı Süre (sn)	Zarf Süre	Ölçekleme Katsayısı α_{ST}
P1100	Kocaeli	17.8.1999	Goynuk	GYN090	35.5	25.5	10.4	20.8	7.21
P0856	Landers	28.6.1992	Amboy	ABY090	69.2	50	25.2	32.8	5.08
P0969	Northridge	17.1.1994	Temple & Hope	TEM090	32.3	40	14.6	20.5	6.46

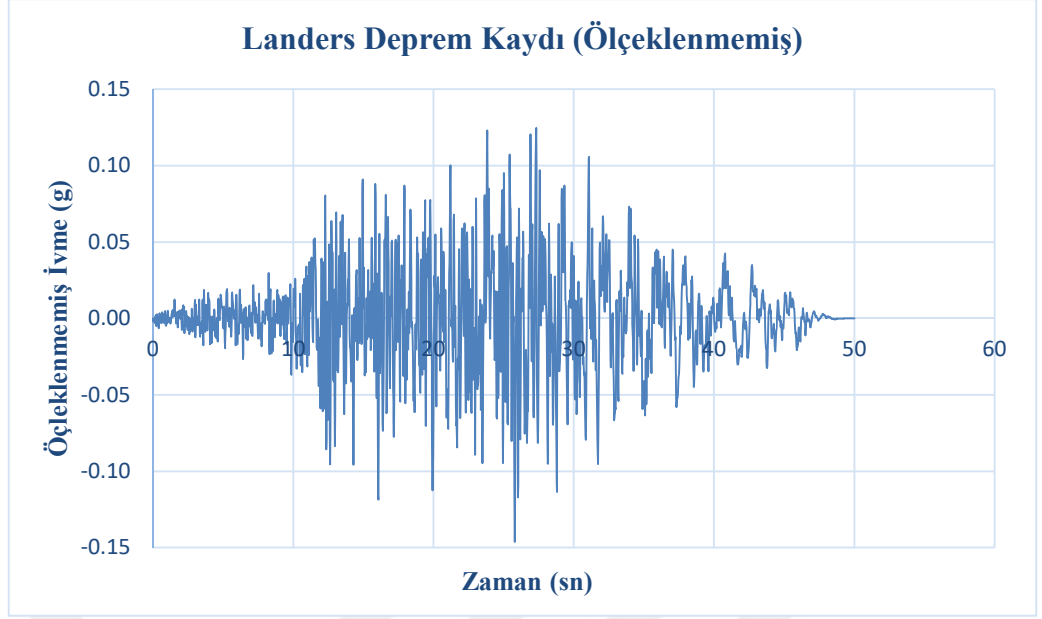
Deprem kayıtları ölçeklendirilirken Denklem 5.12 kullanılmıştır. A_o etkin yer ivmesi katsayısı 0.40, I bina önem katsayısı 1 ve α_{ST} değerleri Çizelge 5.14' ten alınacaktır. Ölçeklendirmede kullanılacak α_{AT} katsayısı Kocaeli Depremi için 2.884, Landers Depremi için 2.032 ve Northridge Depremi için 2.584 olarak bulunmuştur. Deprem kayıtlarının ölçeksiz ve ölçekli grafikleri Şekil 5.20 Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25' te gösterilmiştir.



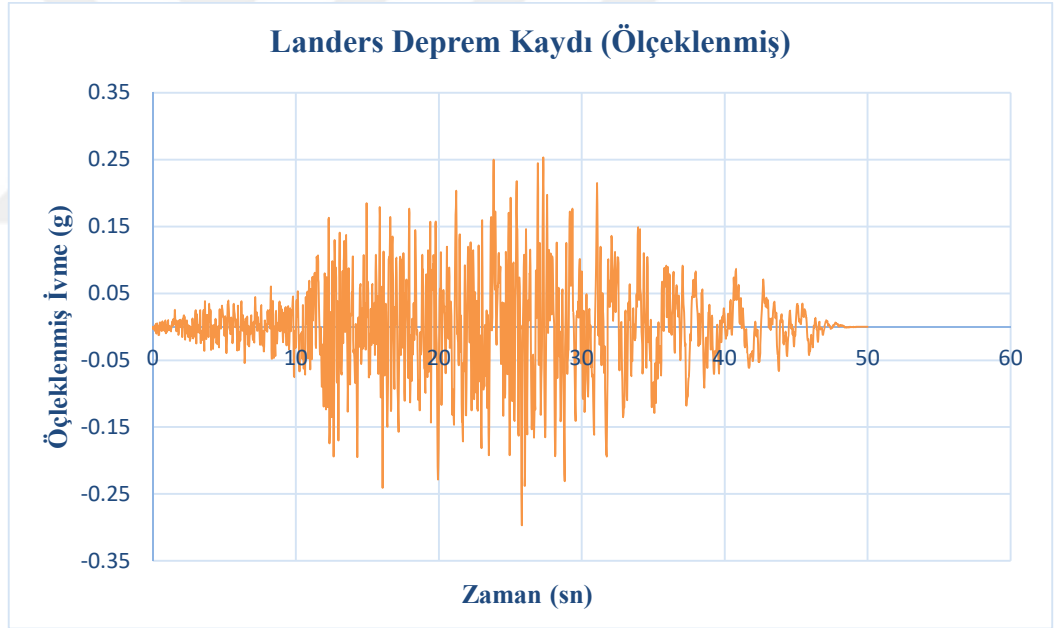
Şekil 5.20 Kocaeli Deprem Kaydı (Ölçeklenmemiş)



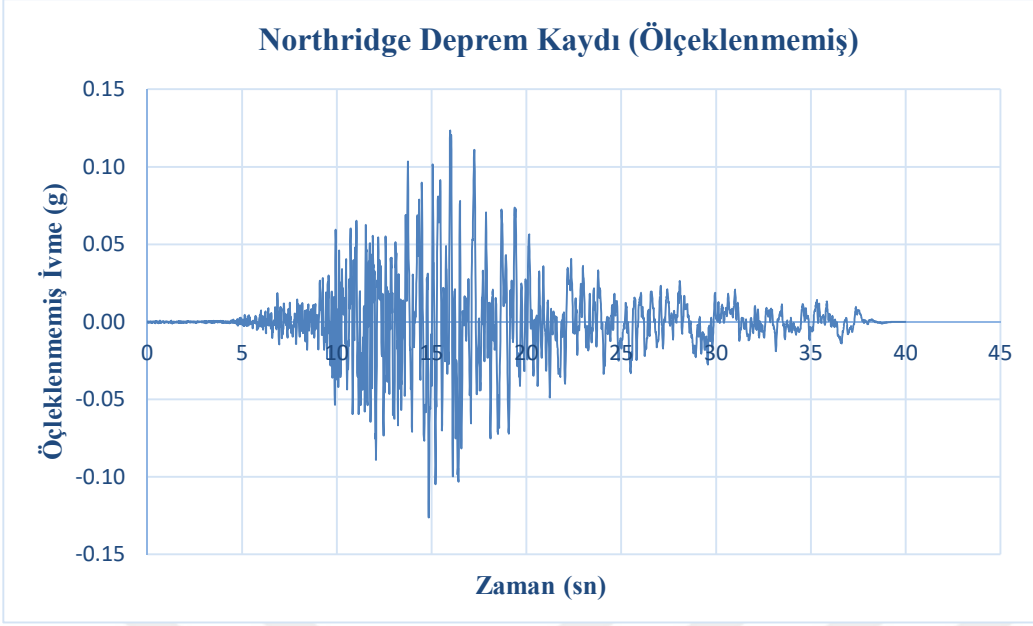
Şekil 5.21 Kocaeli Deprem Kaydı (Ölçeklenmiş)



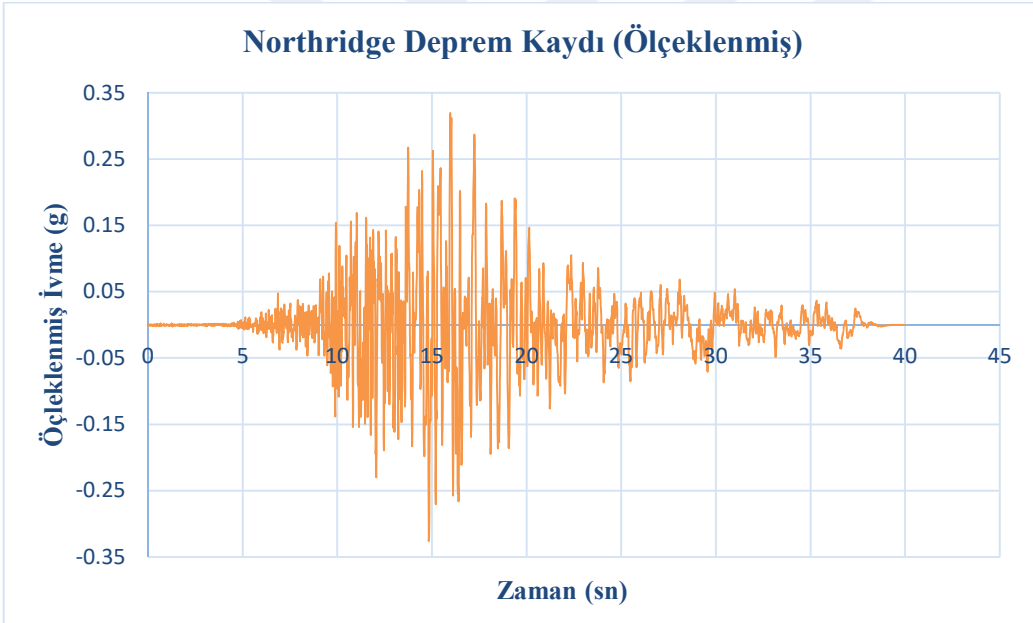
Şekil 5.22 Landers Deprem Kaydı (Ölçeklenmemiş)



Şekil 5.23 Landers Deprem Kaydı (Ölçeklenmiş)



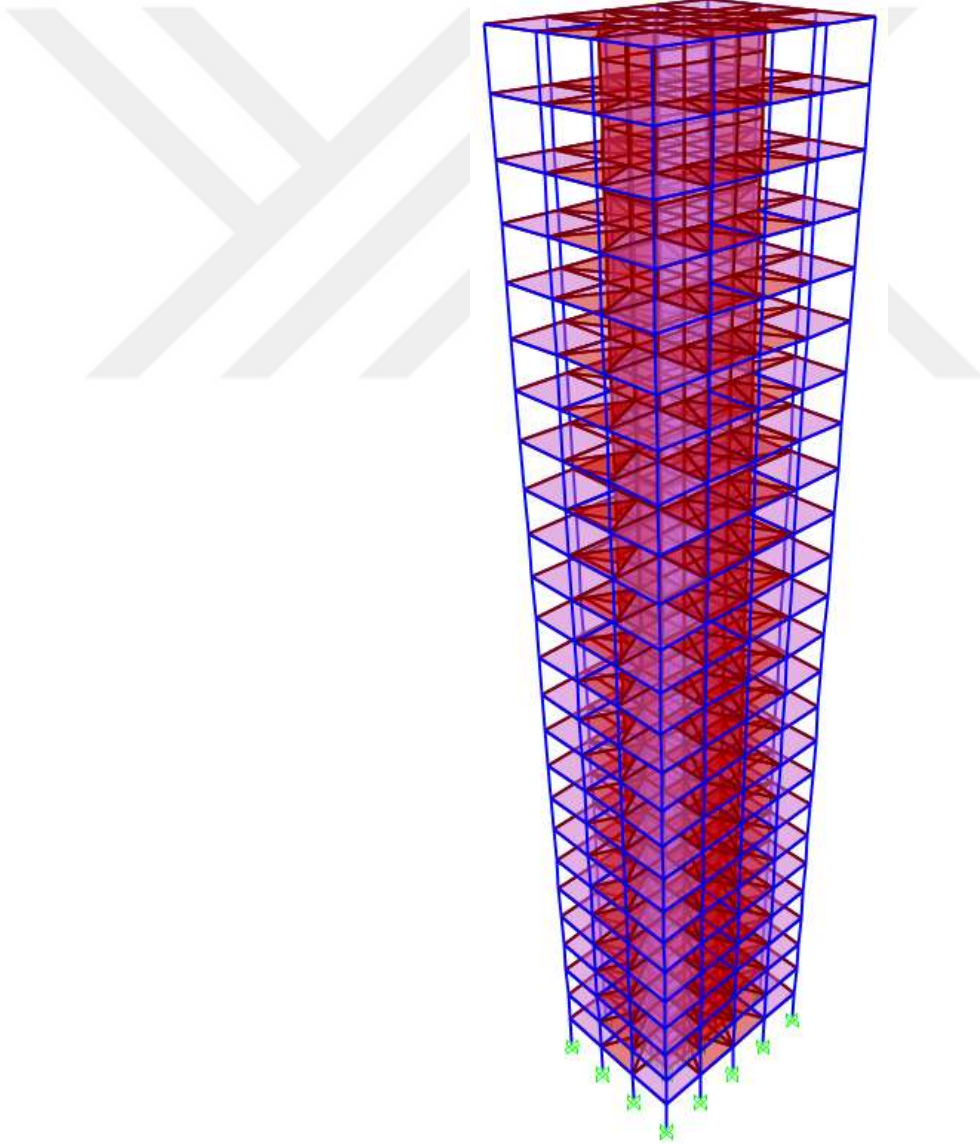
Şekil 5.24 Northridge Deprem Kaydı (Ölçeklenmemiş)



Şekil 5.25 Northridge Deprem Kaydı (Ölçeklenmiş)

5.2.6 Model binanın ankastre mesnetli analizleri

Önceki kısımlarda belirtilen kabuller ve yapılan hesaplar doğrultusunda bina modelinin “ankastre mesnetli kabul” için oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 5.26’ da gösterilmiştir. Oluşturulan hesap modelinde 1051 düğüm noktası, 1000 çubuk (frame) eleman, 1350 kabuk (area) eleman bulunmaktadır. Sonlu eleman modeli üzerinde eşdeğer deprem yükü analizi, lineer spektrum analizi ve zaman tanım alanında lineer analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre binanın doğal periyodu 1.04087 saniyedir. Binanın farklı yüklemeler altında $Z=0$ kotunda ve $Z=20$ metre kotundaki deplasman değerleri ve taban kesme kuvvetleri Çizelge 5.15’ te gösterilmiştir.



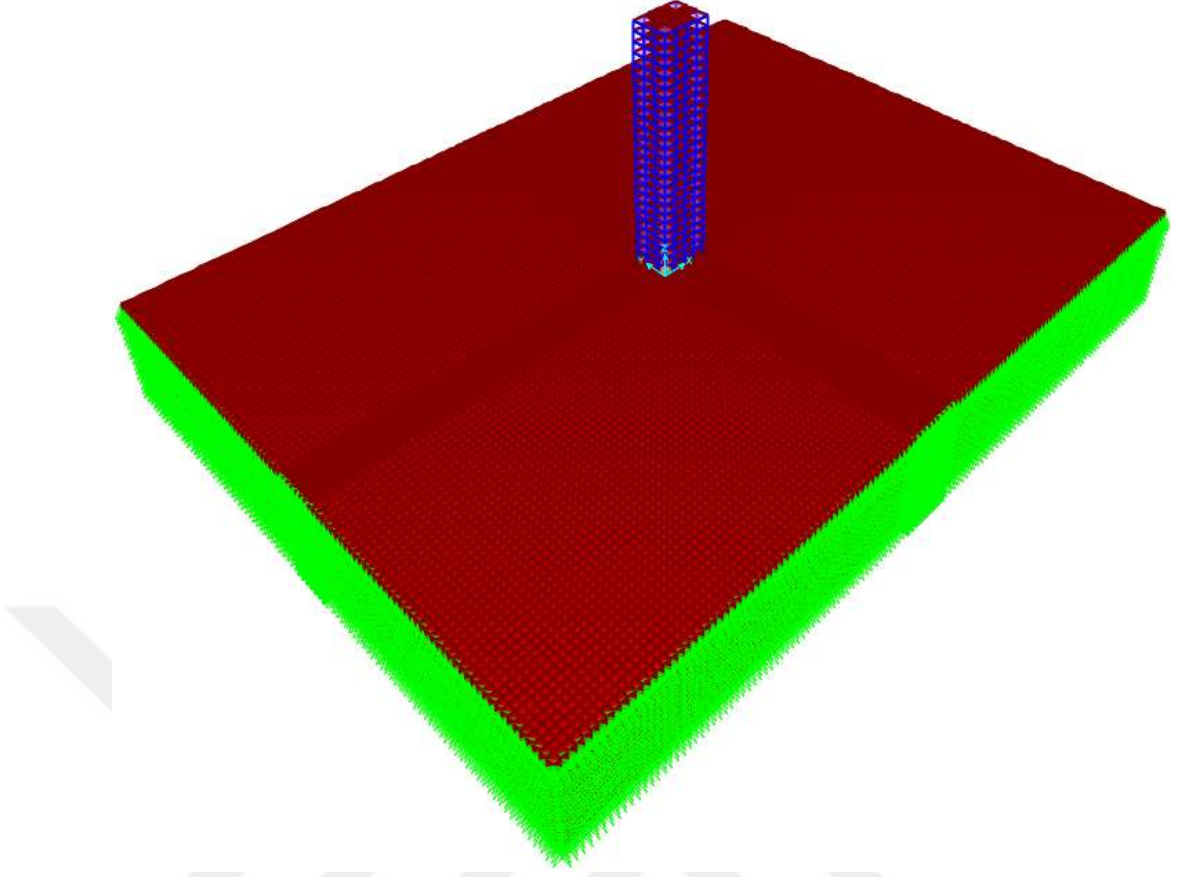
Şekil 5.26 Model Binanın Ankastre Mesnetli Kabul İçin Sonlu Eleman Modeli

Çizelge 5.15 Model Binanın Ankastre Mesnetli Analiz Sonuçları

Yükleme	Max-Min Taban Kesme Kuvveti (ton)	İlgili Yöndeki En Büyük	
		Z=0 Deplasman (cm)	Z=20 Deplasman (cm)
G+Q+Ex	12.6	0	3.32
G+Q+Ey	12.6	0	7.27
Spektrum - X	9.7	0	2.62
Spektrum - Y	8.62	0	5.14
Kocaeli - X (Lineer)	29.26 / -30.23	0	6.97
Kocaeli - Y (Lineer)	25.24 / -31.43	0	15.3
Landers - X (Lineer)	39.85 / -36.11	0	-8.76
Landers - Y (Lineer)	30.45 / -31.20	0	18.04
Northridge - X (Lineer)	39.14 / -49.97	0	10.05
Northridge - Y (Lineer)	18.97 / -21.34	0	-10.86

5.2.7 Model binanın zemin-temel-yapı etkileşimli analizleri

Önceki kısımlarda belirtilen kabuller ve yapılan hesaplar doğrultusunda bina modelinin “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 5.27’ de gösterilmiştir. Zemin modellemesi yapılırken temelin her iki yanından temel genişliğinin 6-7 katı kadar büyüklükte ve temel genişliğinin 6-7 katı kadar derinlikte zemin tabakası tanımlanmıştır. Zemin elastisite modülü 12 kg/cm^2 ve poisson oranı 0,45 kullanılmıştır. Oluşturulan hesap modelinde 597882 düğüm noktası, 3950 çubuk (frame) eleman, 14800 kabuk (area) eleman ve 547200 hacimsel (solid) eleman bulunmaktadır. Hesap modeli üzerinde eşdeğer deprem yükü analizi, lineer spektrum analizi ve zaman tanım alanında lineer analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre sistemin doğal periyodu 2.86318 saniyedir. Binanın farklı yüklemeler altında Z=0 kotunda ve Z=20 metre kotundaki deplasman değerleri ve taban kesme kuvvetleri Çizelge 5.16’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.27 Model Binanın Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul İçin Sonlu Eleman Modeli

Çizelge 5.16 Model Binanın Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Analiz Sonuçları

Yükleme	Max-Min Taban Kesme Kuvveti (ton)	İlgili Yöndeki En Büyük	
		Z=0 Deplasman (cm)	Z=20 Deplasman (cm)
G+Q+Ex	5.57	1.31	15.89
G+Q+Ey	5.57	1.48	20.76
Spektrum - X	23.34	10.84	63.58
Spektrum - Y	12.53	9.49	43.75
Kocaeli - X (Lineer)	28.05 / -28.17	18.98	69.9
Kocaeli - Y (Lineer)	13.45 / -14.65	-17.51	-49.1
Landers - X (Lineer)	87.33 / -88.25	-33.55	-236.9
Landers - Y (Lineer)	35.77 / -39.17	-23.28	-132.1
Northridge - X (Lineer)	42.13 / -42.64	30.48	116.09
Northridge - Y (Lineer)	25.34 / -24.20	-26.62	-84.01

6. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

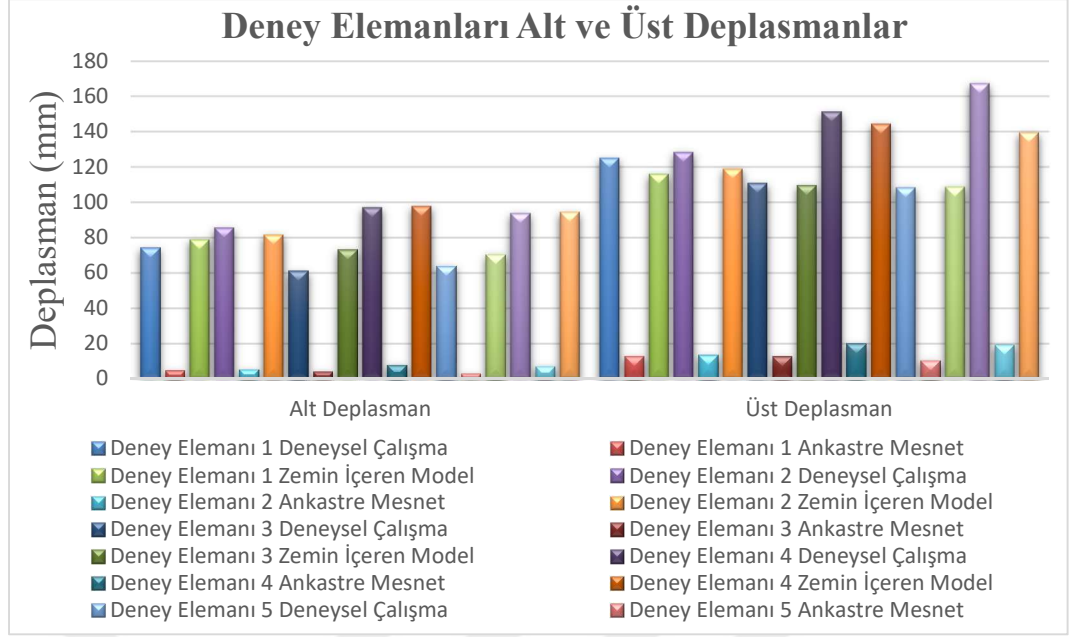
Tez çalışması kapsamında ilk olarak zemin parametreleri önceden belirlenmiş arazi üzerinde kazık eleman olarak kullanılacak çelik profillerin yatay statik yükler altındaki davranışını belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar 3 adet 6 metre boyunda 120x120x5 mm kutu profil ve 3 adet 6 metre boyunda 139x5 mm boru profilin zemine çakılmasından sonra zemin seviyesinin üstünde kalan yaklaşık 1.5 metrelik kısımlarına tepe noktasına yakın bölgeden etkiletilen yüklemeler ile yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile her bir deney elemanının SAP2000 (v.18) programında Çizelge 4.2 ve Şekil 4.8’ deki bilgiler doğrultusunda oluşturulan sonlu eleman modelleri üzerinde yapılan teorik analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Ayrıca yaklaşık 1.5 metrelik üstte kalan kısımların ankastre mesnetli kabul ile yapacağı şekil değiştirmeler teorik olarak hesaplanarak deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar yük-deplasman eğrilerindeki belirgin eğim değişiminin gözlemlendiği yük değerleri için yapılmıştır. Çizelge 6.1’ de deneysel çalışmalara ait sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Deneysel Çalışmalara Ait Sonuçlar

Deney Elemanı	Deneysel Çalışma		Zemin İçeren Sonlu Eleman Modeli		Ankastre Mesnetli Kabul	
	Alt Deplasman (mm)	Üst Deplasman (mm)	Alt Deplasman (mm)	Üst Deplasman (mm)	Alt Deplasman (mm)	Üst Deplasman (mm)
1	74.2	125	78.8	116	4.83	12.9
2	85.5	128	81.6	119	5.37	13.6
3	61.1	111	73.1	110	4.3	12.8
4	97	151	97.8	144	8	20.1
5	64	108	70.5	109	2.97	10.6
6	93.8	167	94.4	139	7.23	19.5

Arazi deneylerinden elde edilen sonuçlar ile deney elemanlarının zemin seviyesi üstünde kalan kısımlarının ankastre mesnetli kabul ile yapılan analizinden elde edilen değerler arasında alt deplasmanlarda ortalama %93.26 fark, üst deplasmanlarda ortalama %88.80 fark gözlemlenmiştir.

Şekil 6.1’ de deney elemanlarına ait sonuçların grafiği gösterilmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlardan yola çıkarak, sonlu eleman modellerinin gerçeğe yakın davranış sergilediği ve benzer modelleme teknikleri ile çok katlı yapıların modellenebileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.1 Deneysel Çalışmalara Ait Sonuçların Grafiği

Çalışmanın sonraki aşamasında deneysel çalışmalarda kazık eleman olarak kullanılan çelik profiller için kazık düşey taşıma gücü hesaplanmıştır. Bir kazık için hesaplanan düşey taşıma gücü değeri ve kazık gruplarının taşıma gücüne göre toplamda 63 adet kazığa sahip X yönünde 4, Y yönünde 3 açıklıklı, aks aralıkları 1' er metre olan, temel ampatmanları her iki yönden eşit 50 cm, temel boyutları 500x400 cm, temel kalınlığı 40 cm, kat yüksekliği 80 cm olan 25 katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip ölçekli bir prototip bina modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan model binanın ilk olarak “ankastre mesnetli kabul” ile eşdeğer deprem, spektrum ve zaman tanım alanında lineer analizleri yapılmıştır. Daha sonra model binanın “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile deney elemanlarında kullanılan modelleme yöntemleri kullanılarak eşdeğer deprem, spektrum ve zaman tanım alanında lineer analizleri yapılmıştır. İki farklı yöntem ile yapılan analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Çizelge 6.2’ de “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için elde edilen teorik analiz sonuçlarının maksimumlarının mutlak değerleri gösterilmiştir.

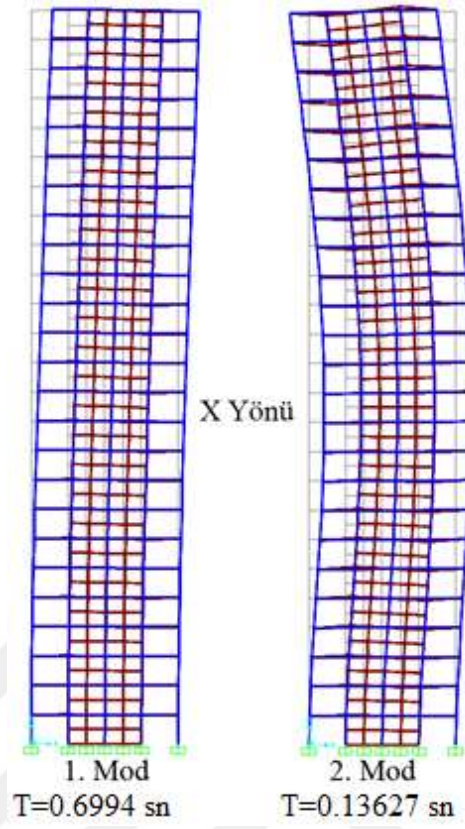
Çizelge 6.2 Teorik Analiz Sonuçları

Yükleme	Ankastre Mesnetli Kabul			Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul		
	Mutlak Değerce En Büyük Taban Kesme Kuvveti (ton)	İlgili Yöndeki Max. Deplasman Mutlak Değeri (cm)		Mutlak Değerce En Büyük Taban Kesme Kuvveti (ton)	İlgili Yöndeki Max. Deplasman Mutlak Değeri (cm)	
		Z=0	Z=20 m		Z=0	Z=20 m
G+Q+Ex	12.6	0	3.32	5.57	1.31	15.89
G+Q+Ey	12.6	0	7.27	5.57	1.48	20.76
Spektrum - X	9.7	0	2.62	23.34	10.84	63.58
Spektrum - Y	8.62	0	5.14	12.53	9.49	43.75
Kocaeli - X (Lineer)	30.23	0	6.97	28.17	18.98	69.9
Kocaeli - Y (Lineer)	31.43	0	15.3	14.65	17.51	49.1
Landers - X (Lineer)	39.85	0	8.76	88.25	33.55	236.9
Landers - Y (Lineer)	31.2	0	18.04	39.17	23.28	132.1
Northridge - X (Lineer)	49.97	0	10.05	42.64	30.48	116.09
Northridge - Y (Lineer)	21.34	0	10.86	25.34	26.62	84.01

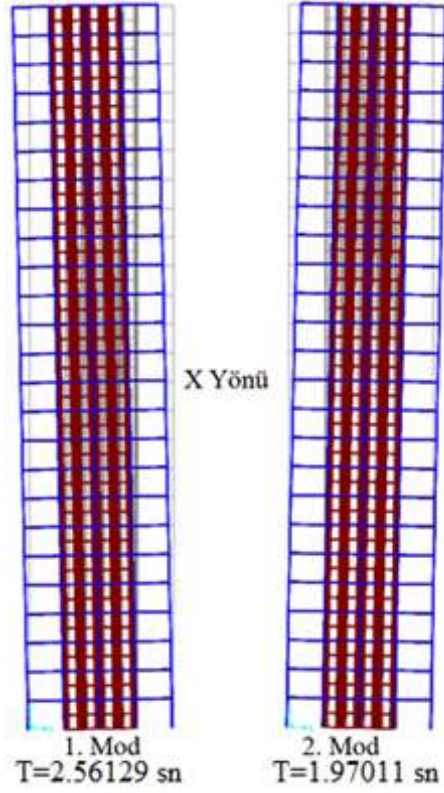
Zemin-temel-yapı etkileşimi yapı doğal periyodu ya da sistem periyodunu arttırıcı yönde etki yapmaktadır. Yapı doğal periyodu “ankastre mesnetli kabul” ile yapılan analizler sonucunda 1.04087 sn olarak bulunmuştur. “Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile yapılan analizler sonucunda ise sistem periyodu 2.86318 sn olarak bulunmuştur. “Ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için X yönü ilk iki 2 mod Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’ te, Y yönü ilk 2 Mod Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’ te, Z yönü ilk 2 mod ise Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’ de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 6.3’ te “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı- etkileşimli kabul” için ilk 7 moda ait periyot değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 İlk 7 Mod İçin Periyotlar

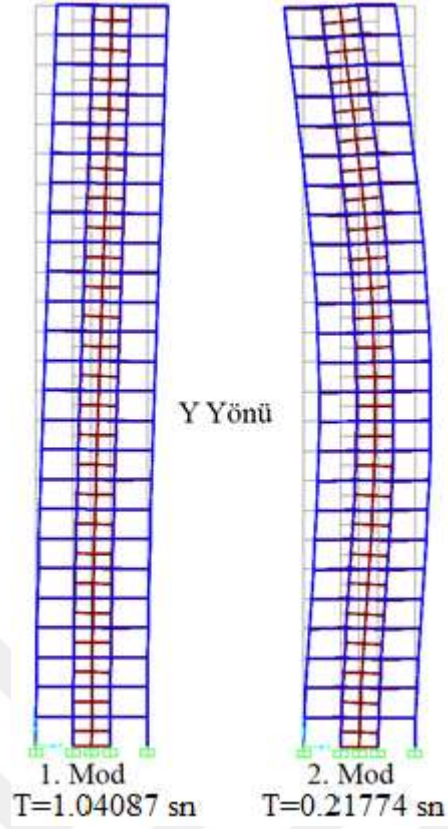
Mod / Periyot	Ankastre Mesnetli Kabul	Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli
1. Mod	1.04087 sn	2.86318 sn
2. Mod	0.69940 sn	2.56129 sn
3. Mod	0.23713 sn	1.97011 sn
4. Mod	0.21774 sn	1.90514 sn
5. Mod	0.13627 sn	1.89696 sn
6. Mod	0.08901 sn	1.73575 sn
7. Mod	0.07906 sn	1.71847 sn



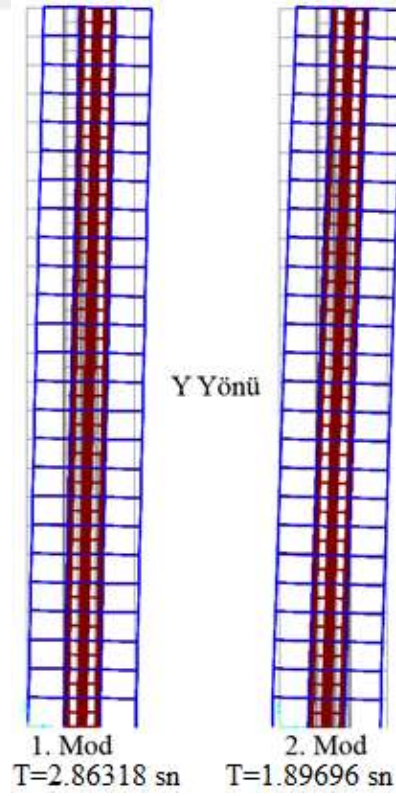
Şekil 6.2 Ankastre Mesnetli Kabul X Yönü İlk 2 Mod



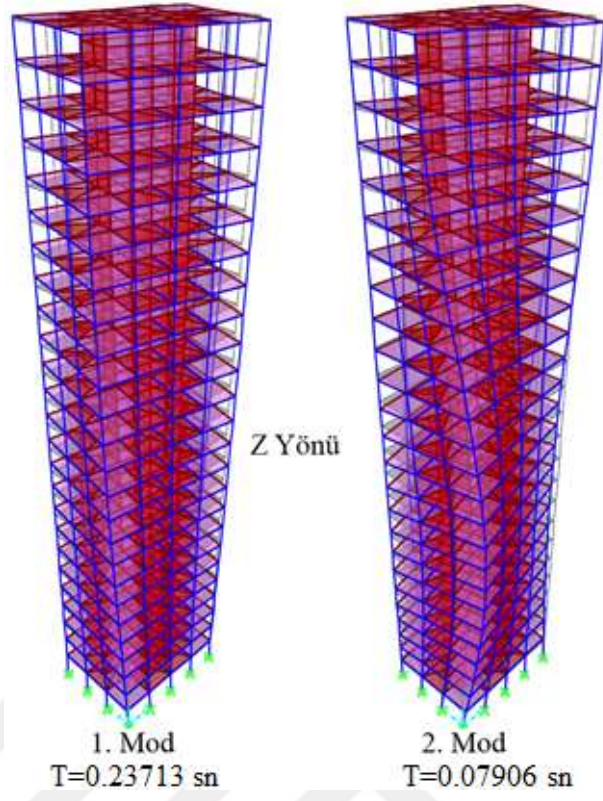
Şekil 6.3 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul X Yönü İlk 2 Mod



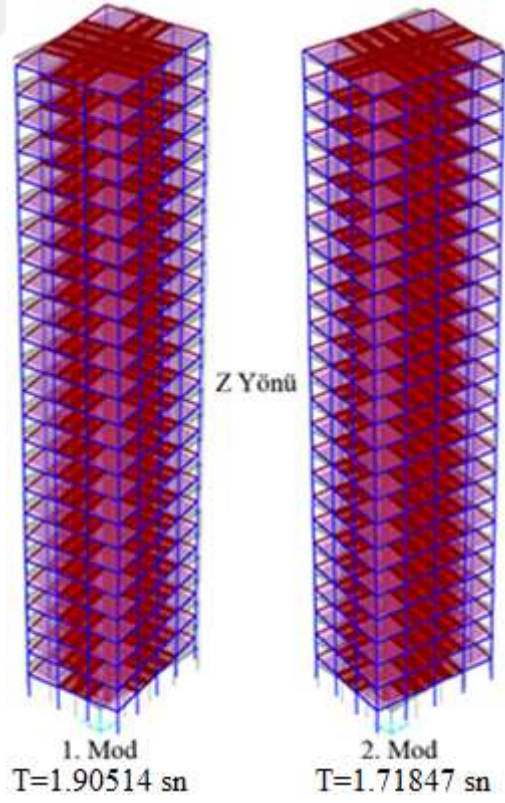
Şekil 6.4 Ankastre Mesnetli Kabul Y Yönü İlk 2 Mod



Şekil 6.5 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul Y Yönü İlk 2 Mod

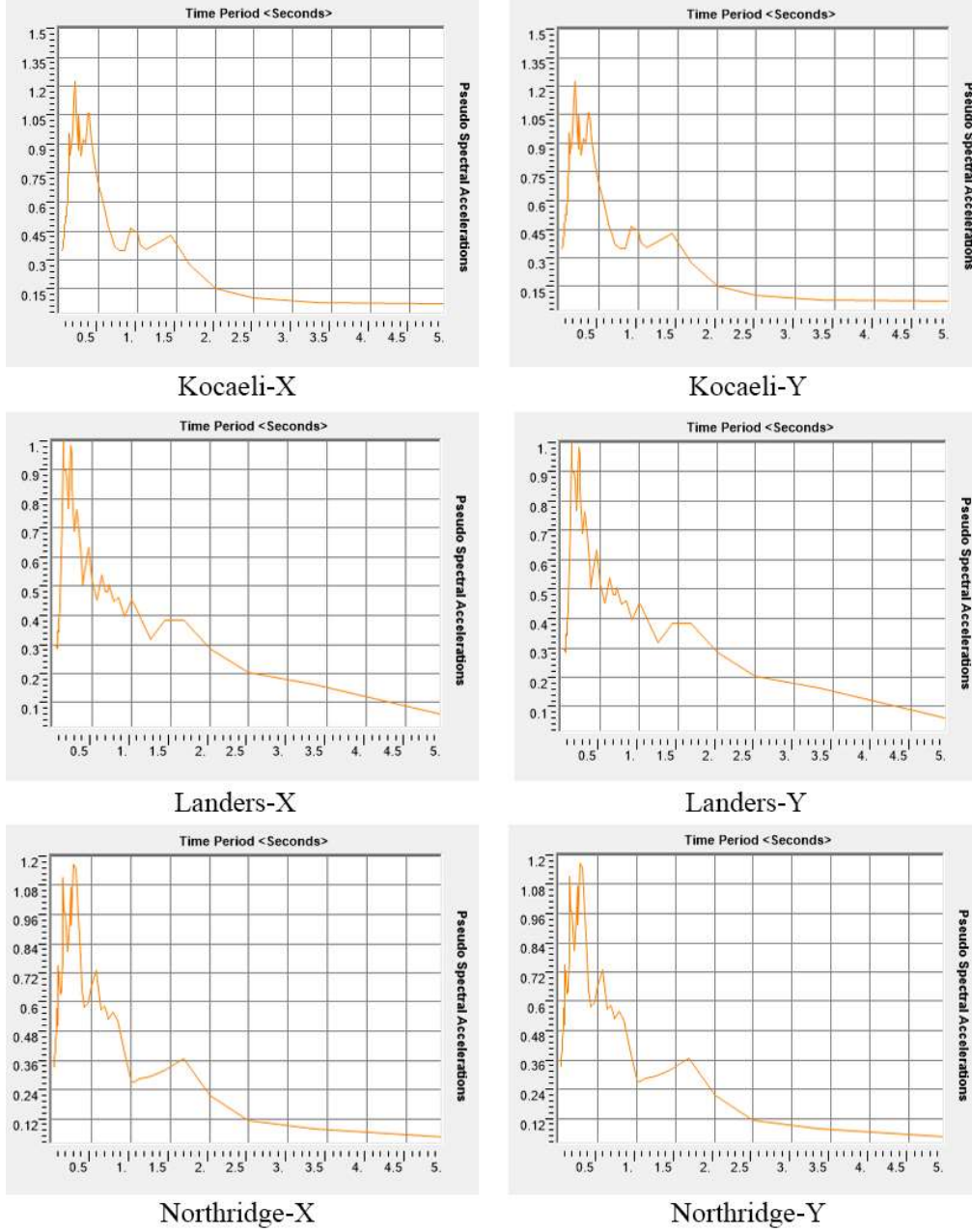


Şekil 6.6 Ankastre Mesnetli Kabul Z Yönü İlk 2 Mod

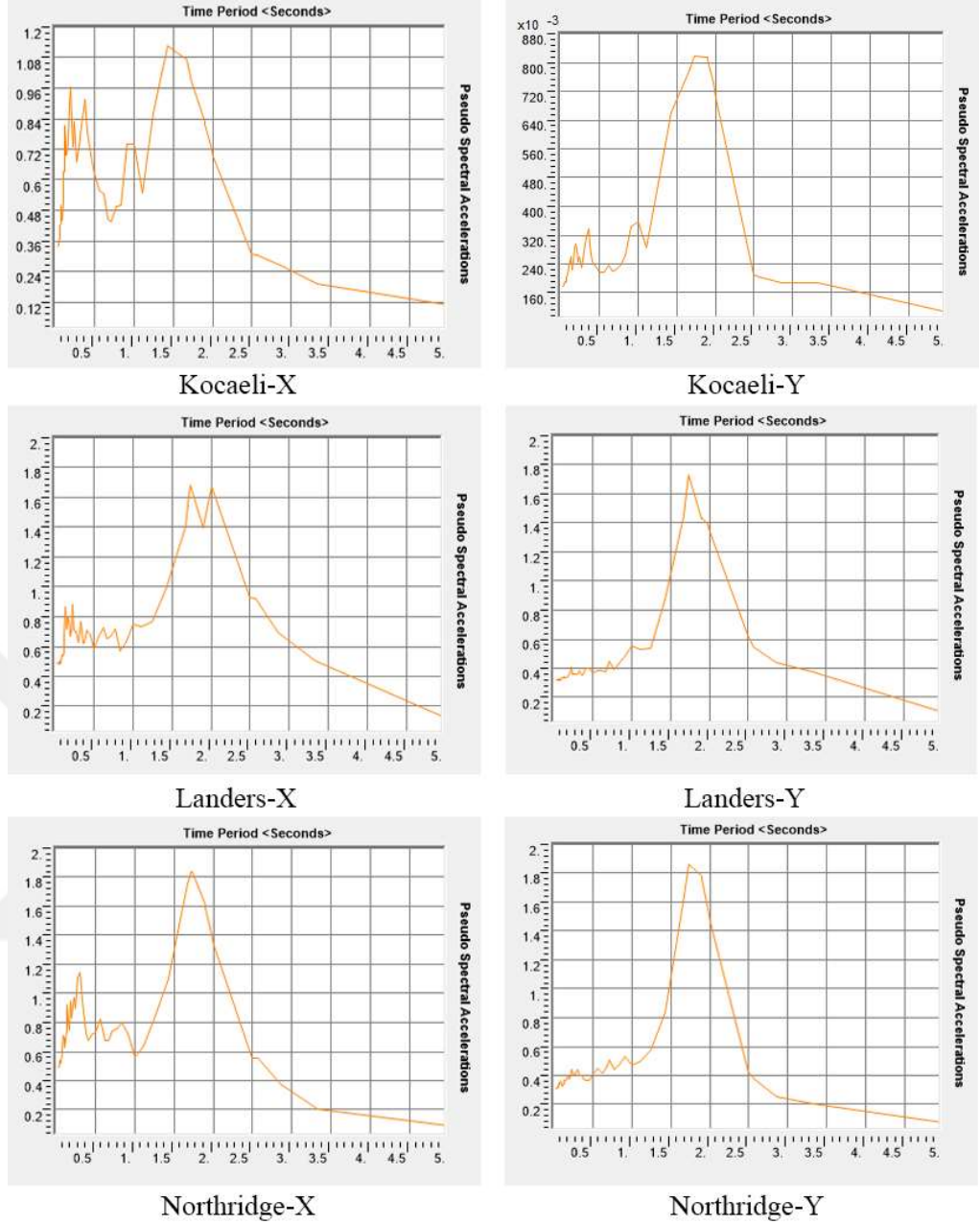


Şekil 6.7 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul Z Yönü İlk 2 Mod

Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarına ait $Z=0$ kotunda SAP2000 programında elde edilen spektrum eğrileri “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’ da gösterilmiştir.



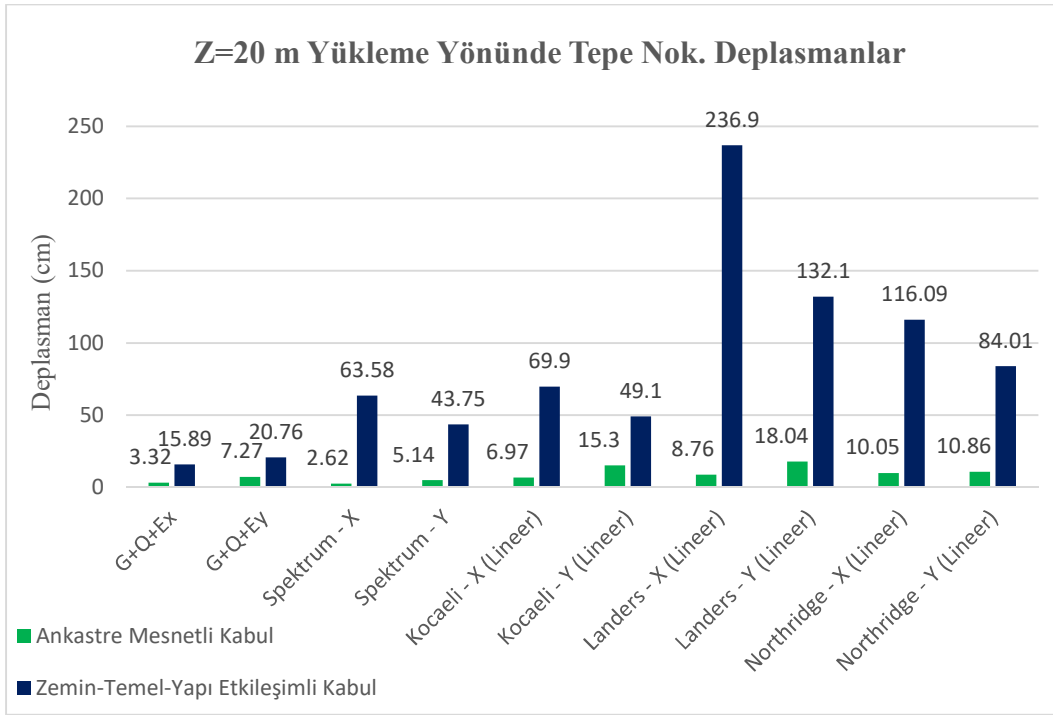
Şekil 6.8 Ankastre Mesnetli Kabul $Z=0$ Kotu Spektrum Eğrileri



Şekil 6.9 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimli Kabul $Z=0$ Kotu Spektrum Eğrileri

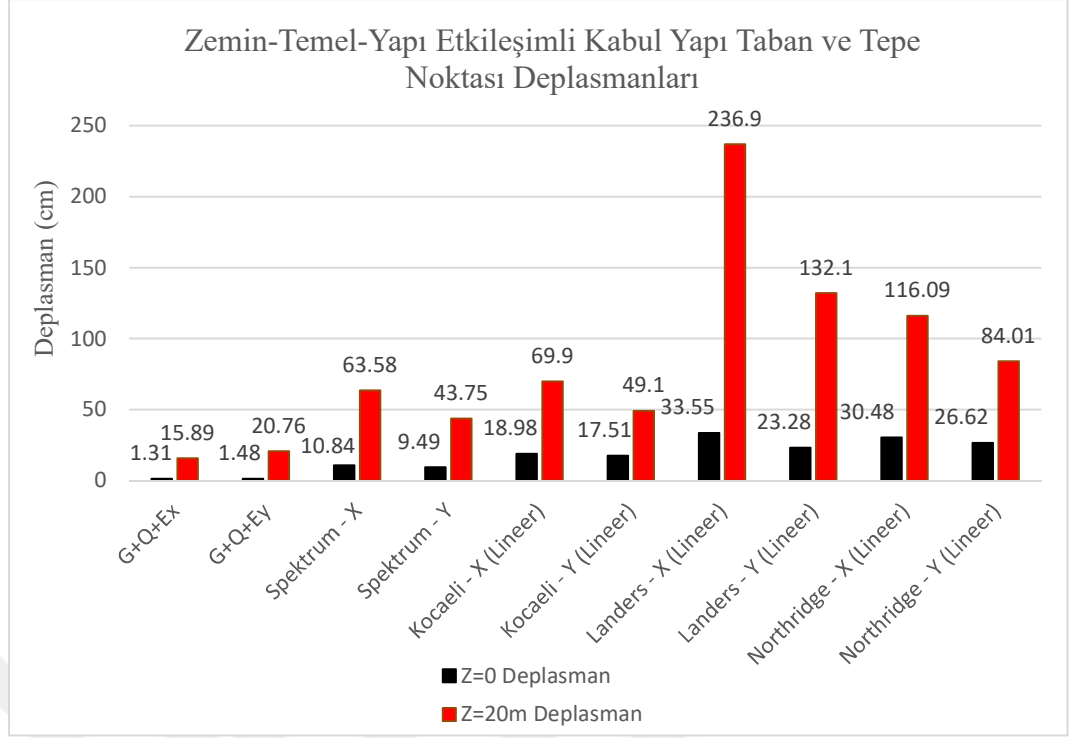
“Ankastre mesnetli kabul” ile yapılan analiz sonuçlarının incelenmesinde bina alt kotu (temel bağlantı noktaları) dönme ve deplasman yapmaz kabulü olduğundan dolayı $Z=0$ kotunda deplasmanlar gözlemlenmemiştir. “Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile yapılan analizlerin sonuçlarında ise kazık ve temelin yaptığı dönme ve deplasmanlardan dolayı bina alt kotunda yükün geldiği doğrultuda yerdeğiştirmeler gözlemlenmiştir. Statik yüklerde bu yerdeğiştirmeler 1.31-1.48 cm arasında, dinamik yüklerde ise 9.49-33.55 cm arasında gözlemlenmiştir.

Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile bina tepe noktasındaki deplasmanlarda artışlar gözlemlenmiştir. Ankastre mesnetli kabulde $Z=20$ m' deki deplasmanlar statik yükler için 3.32-7.27 cm arasında, dinamik yükler için 2.62-18.04 cm arasında gözlemlenmiştir. Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılan analizler sonucunda $Z=20$ m' deki deplasmanlar statik yükler için 15.89-20.76 cm arasında, dinamik yükler için 43.75-236.9 cm arasında tespit edilmiştir. Zemin-temel-yapı etkileşimli kabulde tepe noktasındaki deplasmanlarda mutlak değerce ortalama %84.81 artış tespit edilmiştir. Şekil 6.10' da tepe noktasındaki deplasmanların hesap yöntemi ve yüklemeye göre değerlerinin grafiği gösterilmiştir.



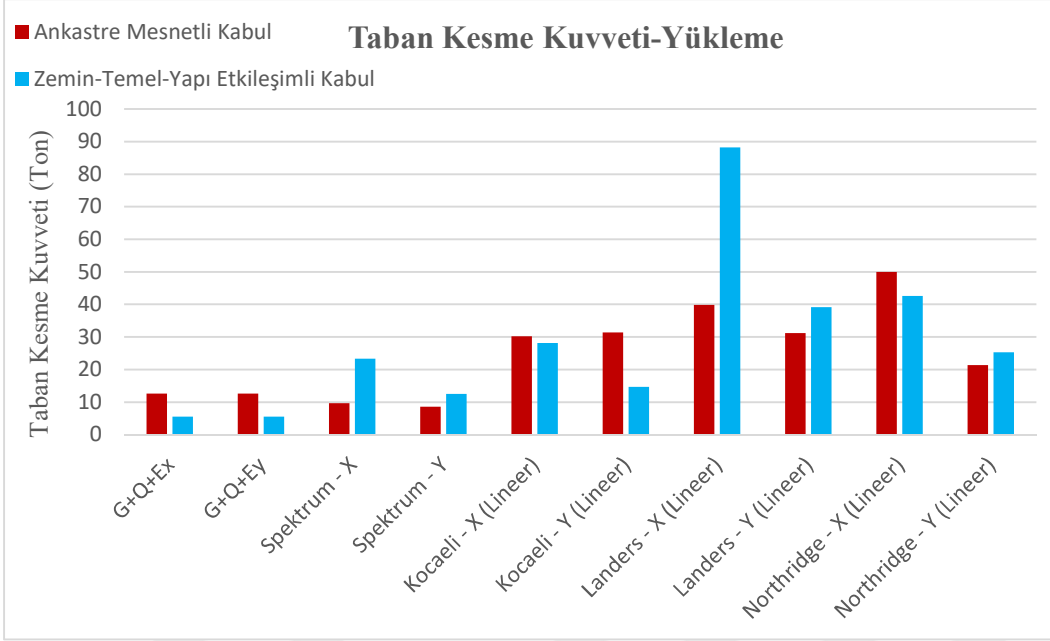
Şekil 6.10 Tepe Noktası Deplasmanları

Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılan analizlerde artan yapı tepe noktası deplasmanlarından dolayı yapı taban ve tepe noktası deplasman farklarının incelenmesi uygun görülmüştür. Yapı taban ve tepe noktası deplasmanları arasında ilgili yüklemeye göre “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için en az 14.58 cm, en çok 203.35 cm fark tespit edilmiştir. Bu değerler “ankastre mesnetli kabul” için en az 2.62 cm ve en çok 18.04 cm olarak gözlemlenmiştir. Şekil 6.11’ de zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılan analizlerde yapı taban ve tepe noktasındaki deplasmanların grafiği gösterilmiştir.



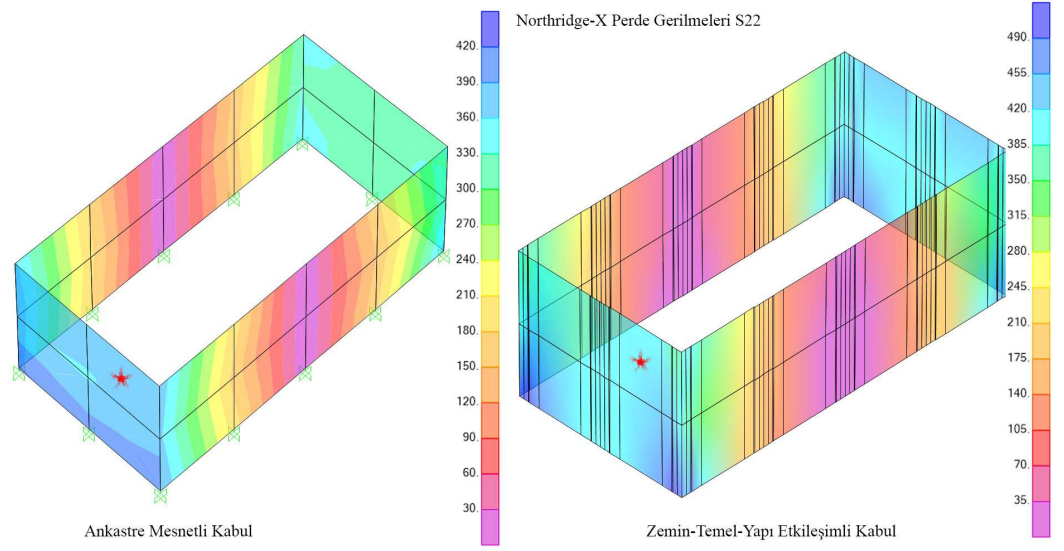
Şekil 6.11 Yapı Taban ve Tepe Noktası Deplasmanları

Taban kesme kuvvetlerinde “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile yapılan analizlerde, “ankastre mesnetli kabul” ile yapılan analizlere göre bazı yüklemelerde azalmalar, bazı yüklemelerde ise artışlar meydana gelmiştir. Statik yükler altında taban maksimum kesme kuvvetlerinde mutlak değerce %55.79 azalmalar, dinamik yükler altında %6.81-%53.39 arasında azalmalar, %15.79-%58.44 arasında artışlar gözlemlenmiştir. Şekil 6.12’ de taban kesme kuvvetlerinin yüklemeye göre değişimi grafiği gösterilmiştir.

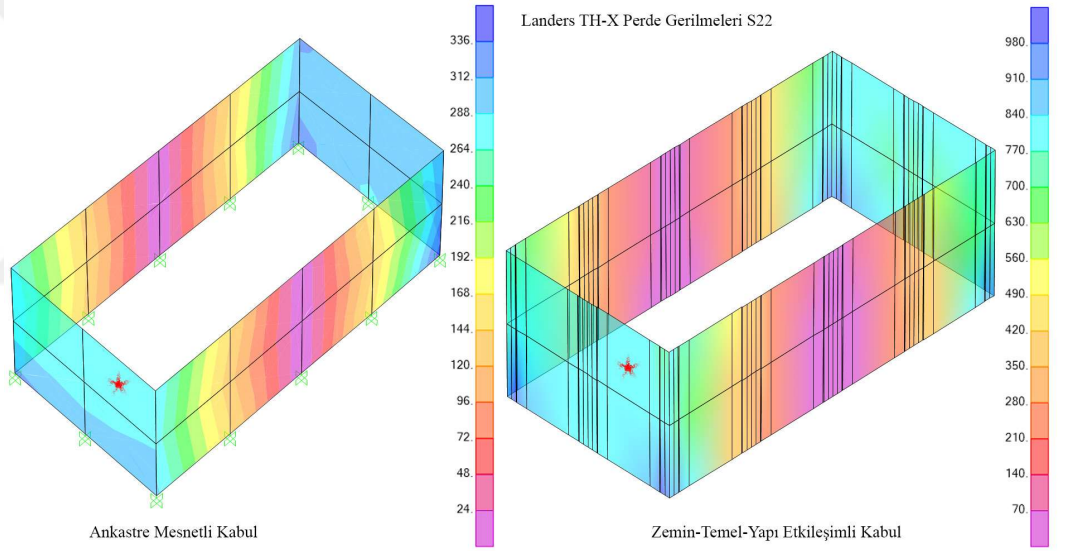


Şekil 6.12 Taban Kesme Kuvvetleri

Perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılarda kesme kuvvetinin büyük bir bölümünün perdeler tarafından karşılanacağı bilinmektedir. Yapılan çalışma kapsamında zemin katta bulunan perdelerde maksimum taban kesme kuvvetlerinin gözlemlendiği yüklemeler için sabit bir noktada elde edilen perde gerilmeleri ve perde gerilme dağılımları kıyaslanmıştır. “Ankastre mesnetli kabul” ile yapılan analizlerde elde edilen en büyük taban kesme kuvveti değeri zaman tanım alanında yapılan Northridge deprem kaydı X yönü yüklemesinde elde edilmiştir. “Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile yapılan analizlerde ise elde edilen en büyük taban kesme kuvveti değeri zaman tanım alanında yapılan Landers deprem kaydı X yönü yüklemesinde elde edilmiştir. Şekil 6.13’ te zaman tanım alanında Northridge deprem kaydı X yönü yüklemesi için “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için perde gerilme dağılımları (S22) gösterilmiştir. Şekil 6.14’ te ise zaman tanım alanında Landers deprem kaydı X yönü yüklemesi için “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için perde gerilme dağılımları (S22) gösterilmiştir. Northridge-X yüklemesi için Şekil 6.13’ te zemin kat perdeleri üzerinde işaretli noktada elde edilen gerilme değeri “ankastre mesnetli kabul” için 369.18 kg/cm^2 , “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için 413.16 kg/cm^2 olarak tespit edilmiştir. Landers-X yüklemesi için Şekil 6.14’ te zemin kat perdeleri üzerinde işaretli noktada elde edilen gerilme değeri “ankastre mesnetli kabul” için 279.39 kg/cm^2 , “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için 798.66 kg/cm^2 olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 6.13 Northridge TH-X Perde Gerilme Dağılımı (S22)



Şekil 6.14 Landers TH-X Perde Gerilme Dağılımı (S22)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde zemin-temel-yapı etkileşimi ya da zemin-yapı etkileşimi konularında farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda zemin-temel-yapı etkileşimli analiz sonuçlarında yapı doğal periyodunda artış, sönümde artış, taban kesme kuvvetinde değişimler, yapı mod şekillerinde değişiklikler, yapı taban ve tepe noktası deplasmanlarında artışlar gözlemlenmiştir. Hemen hemen her çalışmada zayıf zemin şartları altında zemin-temel-yapı etkileşiminin yapısal davranışı değiştirdiği ve olumsuz zemin koşulları için zemin-temel-yapı etkileşiminin göz önünde bulundurulması gerektiği hususunda açıklamalar yer almıştır.

Zemin-temel-yapı etkileşimi konusunda mevcut deprem yönetmeliğimiz olan DBYBHY (2007)' de "C ve D grubu zeminlere oturan kolon ve özellikle perde temellerindeki dönmelerin taşıyıcı sistem hesabına etkileri, uygun idealleştirme yöntemleri ile göz önüne alınmalıdır" maddesi yer almaktadır. Bu doğrultuda C ve D sınıfı zeminlerde etkileşimli çözüm yapılabilir. Taslağı yayınlanan yeni deprem yönetmeliği TBDY (2016)' da zeminin ZD sınıfından daha zayıf olduğu durumlarda 3 boyutlu dinamik yapı-zemin etkileşim hesaplarının yapılması ve sonuçların bina hesaplarında kullanılması gerektiği ayrı bir maddede taslakta yer almıştır. Bununla birlikte zemin-temel-yapı etkileşimli analizler için deprem tasarım sınıfı, bina yükseklik sınıfı ve yerel zemin sınıfına uygun olarak önerilen 3 yöntemden yönetmelikçe uygun olanının kullanılması söylenmektedir. ASCE 7-10 (2010)' da zemin-yapı etkileşimli analizlerde statik çözümlerinde taban kesme kuvvetlerinin en fazla %30 oranında azaltılabileceği ve modal analizlerde taban kesme kuvvetinde her bir mod için ayrı ayrı azaltma yapılacağı belirtilmiştir. EN 1998-1 (2004) ve EN 1998-5 (2004)' te S1 tipi zeminler gibi zayıf zeminlerde zemin-yapı etkileşiminin etkilerinin ortaya çıkabileceği, zemin-yapı etkileşiminin yararlı etkileri olsa bile yapısal davranışın değişmesinden dolayı mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir. FEMA 356 (2000)' de zemin-yapı etkileşiminin yapı doğal periyodunun arttığı binalarda hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasında zemin-temel-yapı etkileşiminin deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kazıkların yatay yük altındaki deplasman davranışlarının gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda zemine çakılmış olan, içi beton dolu çelik profil elemanların üst noktalarına yakın bölgelerinden etki edilen yatay yükler altında deplasman

davranışı elde edilmiştir. Buradan elde edilen davranış parametreleri yardımıyla deney elemanlarının mikro model yaklaşımı ile sonlu elemanlar yöntemi ile teorik analizleri yapılmıştır. Daha sonra deneysel çalışmalarda kullanılan kazık elemanların düşey yük taşıma kapasitesine göre prototip bir bina modeli tasarlanmıştır. Dizayn edilen bina modelinin sonlu eleman modeli üzerinde “ankastre mesnetli kabul” ve “zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” ile eşdeğer deprem, lineer davranış spektrumu ve zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmalar ve ankastre mesnetli kabul ile yapılan teorik analizlerin sonuçları arasında alt deplasmanlarda ortalama %93.26 fark, üst deplasmanlarda ortalama %88.80 fark gözlemlenmiştir. Arazi deneylerinin sonuçları ile deney elemanlarının sonlu eleman modellerinin analiz sonuçları arasında alt deplasmanlarda mutlak değerce ortalama %6.99, üst deplasmanlarda mutlak değerce ortalama %6.19 fark vardır. Bu farklardan yola çıkarak oluşturulan sonlu eleman modellerinin gerçeğe yakın davranış sergilediği ve benzer modelleme teknikleri ile çok katlı yapıların modellenebileceği düşünülmüştür.

“Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul” için sistem periyodu ile “ankastre mesnetli kabul” için bina periyodu arasında 2.75 kat civarında fark tespit edilmiştir. Zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılan analizler sonucunda bina tepe noktası deplasmanlarında artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca yapı taban ve tepe noktasındaki deplasmanların farklarının mutlak değerce ortalaması 65.854 cm olarak bulunmuştur. Bu değer “ankastre mesnetli kabul” için ortalama 8.833 cm’ dir. Bu farkın sebeplerinden birisinin temelde meydana gelen dönme ve öteleme deplasmanlar olduğu ve bu durumun üstyapı davranışını değiştirme durumu olduğu için göz önünde bulundurulması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca zemin-temel-yapı etkileşimli kabul ile yapılan analizlerde taban kesme kuvvetlerinde ve perdelerde oluşan gerilme değerlerinde değişimler gözlemlenmiştir.

Zemin parametreleri belirli olan arazide yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, tasarlanan model bina ile yapılan teorik analizler sonucunda zemin-temel-yapı etkileşiminin deney arazisi zemini gibi zayıf zeminlerde göz önüne alınmasının yapı taban ve tepe noktası deplasmanlarında artışlar, taban kesme kuvvetindeki değişimler ve yapı periyodu ya da sistem periyodundaki artışlardan dolayı gerekli olduğu düşünülmektedir. Zeminin yaylar ile temsil edilmesi ve boşluk suyu basıncının göz önünde bulundurulması ile oluşturulabilecek zemin-

kazık modellerinde yapılacak analizlere ait sonuçların deneysel çalışmalar ile kıyaslanmasının faydalı olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca yapı taşıyıcı sistem seçiminin, bina ağırlığının kazık boy ve kesit seçiminin ve zemin parametrelerinin zemin-temel-yapı etkileşiminin incelenmesinde önemli birer parametre olduğu düşünülmektedir.

Arazi deneyleri ve arazi deneylerinin sonlu eleman modelleri için eksik ya da düşündürücü yönleri dinamik etkiler karşısında sistemin nasıl tepki vereceği ve deneysel çalışmada kullanılan eleman boyutlarının kk olmasıdır. Ekonomik şartlar ve arazi şartlarının zorluğundan dolayı büyük boyutlu elemanlar ile alışılamamış, deneysel çalışmalar kapsamında dinamik yüklemeler gerçekleştirilememiştir. Yapılabilecek daha büyük boyutlu veya dinamik yükleme içeren deneysel çalışmalar, teorik analizleri yapılan model bina için yapılabilecek deneysel çalışmalar ile zemin-temel-yapı etkileşimi konusunun daha kapsamlı inceleyebilmek mümkündür. Ayrıca taban kesme kuvveti ve perde gerilmelerindeki değişimlerin daha iyi gözlemlenebilmesi için farklı üstyapı modelleri ile analizler yapmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- AlHamaydeh, M. and Hussain, S.**, Optimized frequency-based foundation design for wind turbine towers utilizing soil–structure interaction, *Journal of the Franklin Institute*, 348:1470-1487p.
- Alkan, R.B.**, 2011, Farklı Zemin Koşulları Etkisinde Sismik Davranışın Doğrusal Olmayan Dinamik Çözümleme ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 127s (yayımlanmamış).
- ASCE 7-10**, 2010, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, 658p.
- Aydınöğlü, M.N.**, 2011, "Zayıf Zeminlerde Yapılan Binalarda Dinamik Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi İçin Uygulamaya Yönelik Bir Hesap Yöntemi, 15s (yayımlanmamış).
- Aydınöğlü, M.N.**, 2012, "Zayıf Zeminlerde Yapılan Binalarda Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi", http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ea2700a19e67cc2_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16 (Erişim tarihi: 20 Eylül 2016)
- Cai, Y.X, Gould, P.L. and Desai, C.S.**, 2000, Nonlinear analysis of 3D seismic interaction of soil–pile–structure systems and application, *Engineering Structures*, 22:191–199p.
- Carbonari, S., Dezi, F. and Leoni, G.**, 2011, Linear soil–structure interaction of coupled wall–frame structures on pile foundations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31:1296–1309p.
- DBYBHY**, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 160s.
- Durmuş A. And Livaoglu, R.**, 2015, A simplified 3 D.O.F. model of A FEM model for seismic analysis of a silo containing elastic material accounting for soil–structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77:1-14p.
- EN 1998-1**, 2004, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 231p.
- EN 1998-5**, 2004, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, European Committee for Standardization, Brussels, 47p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erdemir, N.S.**, 2010, Sismik Yükler Altında Kazıkların Grup Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 144s (yayımlanmamış).
- Erol, A.O. ve Çekinmez, Z.**, 2014, Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, Yüksel Proje, Ankara, 298s.
- Fahjan, Y.M.**, 2008, Türkiye deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 19(3):4423-4444s.
- FEMA 356**, 2000, PreStandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 519p.
- FEMA 440**, 2005, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 392p.
- Finn, W.D.L. and Fujita, N.**, 2002, Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22:731-742p.
- Garðarsson, H.**, 2012, Effects of Soil-Structure Interaction on the Excitation and Response of a Medium-Rise Reinforced Concrete Building, MSc Thesis, Reykjavik University, 113p (unpublished).
- Girgin, S.C., Mısır, S., Özden, G. ve Kahraman, S.**, 2008, Yapı-zemin etkileşiminin yapısal tasarımdaki rolü, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10:27-37s.
- Grondin, M.**, 2004, Advance Simulation Tools Soil-Structure Interaction, University of Illinois at Urbana-Champaign, 12p (unpublished).
- Gürsoy, Ş.**, 2006, Betonarme İstinat Duvarlarının, Zemin Etkileşimini de Dikkate Almak Suretiyle, Deprem Yüklerine Göre Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 269s (yayımlanmamış).
- Harte, M., Basu, B. and Nielsen, S.R.K.**, 2012, Dynamic analysis of wind turbines including soil-structure interaction, *Engineering Structures*, 45:509–518p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hokmabadi, A.S., Fatahi, B. and Samali, B.,** 2014, Assessment of soil–pile–structure interaction influencing seismic response of mid-rise buildings sitting on floating pile foundations, *Computers and Geotechnics*, 55:172–186p.
- Kausel, E.,** 2010, Early history of soil–structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30:822–832p.
- Kianoush, M.R. and Ghaemmaghami, A.R.,** 2011, The effect of earthquake frequency content on the seismic behavior of concrete rectangular liquid tanks using the finite element method incorporating soil–structure interaction, *Engineering Structures*, 33:2186–2200p.
- Korkmaz, K.A. ve Demir, F.,** 2012, Yapı-zemin etkilesiminin yapıların deprem davranışına etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3:12-17s.
- Laman, M.,** 2012, “Zemin Etüdleri ve Arazi Deneyleleri”, http://imb.cu.edu.tr/Temel_insaati.pdf (Erişim tarihi: 5 Kasım 2016)
- Li, M., Lu, X., Lu, X. and Ye, L.,** 2014, Influence of soil-structure interaction on seismic collapse resistance of super-tall buildings, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6:477-485p.
- Limkatanyu, S., Kuntiyawichai, B. and Spacone, E.,** 2009, Response of reinforced concrete piles including soil-pile interaction effects, *Engineering Structures*, 31:1976-1986p.
- Livaoglu, R. and Dogangun A.,** 2006, Simplified seismic analysis procedures for elevated tanks considering fluid–structure–soil interaction, *Journal of Fluids and Structures*, 22:421–439p.
- Livaoglu, R. and Dogangun A.,** 2007, Effect of foundation embedment on seismic behavior of elevated tanks considering fluid–structure-soil interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27:855–863p.
- Maheshwari, B.K., Truman, K.Z., El Naggar, M.H. and Gould, P.L.,** 2004, Three-dimensional nonlinear analysis for seismic soil–pile-structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24:343–356p.
- Menglin, L., Huaifeng, W., Xi, C. and Yongmei, Z.,** 2011, Structure–soil–structure interaction: Literature review, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31:1724–1731p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Önalp, A. ve Sert, S.**, 2006, Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 375s.
- Renzi, S., Madiati, C. and Vannucchi G.**, 2013, A simplified empirical method for assessing seismic soil-structure interaction effects on ordinary shear-type buildings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 55:100–107p.
- RTS Jeoteknik Mühendislik Sondaj Müşavirlik ve İnşaat Hizmetleri**, 2014, İzmir İli, Konak İlçesi, Salhane Mahallesi, 26R-4 Pafta, 9984 Ada, 1 Parsel Alanı İçin Zemin ve Temel Etüt Raporu, İzmir, 408s (yayımlanmamış).
- Tabatabaiefar, H.R. and Massumi, A.**, 2010, A simplified method to determine seismic responses of reinforced concrete moment resisting building frames under influence of soil-structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30:1259–1267p.
- Tabatabaiefar, H.R. and Fatahi, B.**, 2014, Idealisation of soil–structure system to determine inelastic seismic response of mid-rise building frames, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66:339–351p.
- TBDY**, 2016, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, <http://www.deprem.gov.tr/belgeler2016/tbdy.pdf> (Erişim Tarihi 20 Eylül 2016)
- Torabi, H. and Rayhani, M.T.**, 2014, Three dimensional Finite Element modeling of seismic soil–structure interaction in soft soil, *Computers and Geotechnics*, 60:9–19p.
- TS 498**, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 24s.
- TS 500**, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 75s.
- Venanzi, I., Salciarini, D. and Tamagnini, C.**, 2014, The effect of soil–foundation–structure interaction on the wind-induced response of tall buildings, *Engineering Structures*, 79:117–130p.
- Viladkar, M.N., Karisiddappa., Bhargava, P. and Godbole, P.N.**, 2006, Static soil–structure interaction response of hyperbolic cooling towers to symmetrical wind loads, *Engineering Structures*, 28:1236–1251p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yüksel Proje, 2007, “T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Geoteknik Tasarım Esasları”, http://www.yildiz.edu.tr/~wwwhid/TR/files/dnzprj/DLH_Geoteknik_Tasarim_Esaslari.pdf (Erişim Tarihi: 31 Ekim 2016)



