

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA GRUPLARI ÜZERİNDEKİ YAPI-ZEMİN-YAPI
ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ADA

DOKTORA TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı

Danışman
Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Ocak, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA GRUPLARI ÜZERİNDEKİ YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN
İNCELENMESİ

Mehmet ADA tarafından hazırlanan tez çalışması 15.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yusuf AYVAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Yusuf AYVAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Barış SEVİM, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Abdul HAYIR, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku YAZGAN, Üye
Maltepe Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Yusuf AYVAZ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Bina Grupları Üzerindeki Yapı-Zemin-Yapı Etkileşiminin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet ADA

İmza

Aileme



TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle doktora çalışmam süresince desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Yusuf AYVAZ'a teşekkürlerini sunmayı borç bilirim.

Değerli zamanlarını ayırarak tezi değerlendiren Prof. Dr. Abdul HAYIR'a, Prof. Dr. Barış SEVİM'e, Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU'na ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku YAZGAN'a teşekkürlerimi sunduğumu belirtmek isterim.

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım Serhat ERDOĞAN, Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR başta olmak üzere her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde bulunan çalışma arkadaşlarıma, Dr. Ehsan ETMİNAN'a, Feyzullah GÜLŞEN'e ve Efkan ERMİŞ'e teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde her zaman yanımda olan, desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve ablama sonsuz minnet ve şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Mehmet ADA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiv
ABSTRACT	xxvi
1 Genel Bilgiler	1
1.1 Giriş	1
1.2 Yapı Dinamiğiyle İlgili Temel Kavramlar	2
1.2.1 Hareket Denklemi	2
1.2.2 Hareket Denkleminin Çözüm Yöntemleri	5
1.2.3 Tepki Spektrumu	9
1.2.4 Elastik Tasarım Spektrumu	11
1.3 Zeminlerin Dinamik Özellikleri	15
1.3.1 Yer Tepki Analizleri	18
1.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi	20
1.5 Zemin Sınırlarının Tanımlanması	26
1.6 Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi	33
1.6.1 Yapı-Zemin Etkileşimi Problemi	34
1.6.2 Yapı-Zemin Etkileşim Problemi Çözüm Yöntemleri	38
1.7 Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar	47
1.8 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	57
2 Zemin ve Yapıların Sonlu Elemanlarla Modellenmesi için Yapılan Çalışmalar	58
2.1 Çalışma Kapsamında Göz Önüne Alınan Durumlar	59
2.2 Zemin Ortamının Modellenmesi	64
2.2.1 Sonlu Elemanların Boyutlarının Belirlenmesi	64

2.2.2	Sınır Şartlarının Belirlenmesi	70
2.2.3	Model Genişliğinin Belirlenmesi	74
2.2.4	Sönüm	76
2.3	Yapıların Modellenmesi	77
2.3.1	Sonlu Elemanlar Boyutlarının Belirlenmesi	77
2.3.2	Malzeme Özellikleri ve Sönüm	80
2.4	Kuvvetli Yer Hareketinin Belirlenmesi	82
3	Bulgular ve İrdeleme	87
3.1	Yapı-Zemin Etkileşimine Ait Bulgular ve İrdelemeler	87
3.1.1	Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Modal Özellikleri Üzerindeki Etkisi	87
3.1.2	Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Dinamik Davranışları Üzerindeki Etkisi	89
3.2	Yapı-Zemin-Yapı Etkileşimine Ait Bulgular ve İrdelemeler	97
3.2.1	Aynı Hizada Bulunan Yapılar Arasındaki Etkileşime Ait Bulgular ve İrdelemeler	98
3.2.2	Farklı Hizada Bulunan ve Tek Doğrultuda Uygulanan Deprem Etkisindeki Yapılar Arasındaki Etkileşime Ait Bulgular ve İrdelemeler	134
3.2.3	Farklı Hizada Bulunan ve İki Doğrultuda Uygulanan Deprem Etkisindeki Yapılar Arasındaki Etkileşime Ait Bulgular ve İrdelemeler	155
4	Sonuçlar ve Öneriler	188
	Kaynakça	193
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	202

SİMGE LİSTESİ

A_H	Histeretik döngüsü alanı
c	Sönüm katsayısı
$(c_u)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı (kPa)
$[c]$	Sönüm matrisi
$\{d\}$	Bilinmeyen düğüm noktası serbestlikleri
E	Elastisite modülü
f_D	Sönüm kuvveti
f_I	Atalet kuvveti
f_S	Direnç kuvveti
$\{f\}$	Düğüm noktası kuvvet vektörü
$\{F\}$	Genel kuvvet vektörü
$\{F_I\}$	Atalet kuvveti vektörü
$\{F_S\}$	Rijitlik kuvveti vektörü
$\{F_D\}$	Sönüm kuvveti vektörü
G	Kayma modülü
G_{max}	En büyük kayma modülü
G_{sec}	Ortalama kayma modülü
H	Zemin tabakası yüksekliği
k	Rijitlik
k_s^*	Kompleks dalga sayısı
k_{sb}	Yapı-zemin rijitlik matrisi
k_w	Zemin içerisindeki dalga numarası
$[k]$	Eleman rijitlik matrisi

$[K]$	Genel rijitlik matrisi
L	Ölçeklendirme uzunluğu
m	Kütle
$[m]$	Kütle matrisi
N'_j	Eleman şekil fonksiyonu
$N_{1,60}$	Düzeltilmiş SPT vuruş sayısı
p_{eff}	Etkin kuvvet
$p(t)$	Dış yük (zaman tanım alanında)
$P(t)$	Dış yük (frekans tanım alanında)
q_n	Modal büyüklük
S_1	1 s periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_A	İvme spektrumu
S_{ae}	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri (g)
S_d	Yerdeğiştirme spektrumu
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1 s periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_H	Yatay kayma dalgası
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_v	Hız spektrumu
T_A, T_B	Köşe periyot değerleri (s)
T_n	Doğal titreşim periyodu (s)
t	Zaman (s)
u	Yerdeğiştirme
$u(0)$	Başlangıç yerdeğiştirmesi
u^t	Toplam yerdeğiştirme
u_r	Görelî yerdeğiştirme
u_g	Yerin yerdeğiştirmesi
u_0	Genlik
\dot{u}	Hız

$\dot{u}(0)$	Başlangıç hızı
\dot{u}_n	Normal doğrultudaki parçacık hızı
\dot{u}_r	Görelî hız
\dot{u}_t	Tanjant doğrultusundaki parçacık hızı
\ddot{u}	İvme
\ddot{u}^t	Toplam ivme
v	Etki vektörü
V_s	Kayma dalgası hızı (m/s)
$V_{s,30}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)
W_D	Sönümlenen enerji
W_S	En büyük birim şekildeğiştirme enerjisi
α	Rayleigh katsayısı (kütle)
α_z	Kompleks empedans oranı
β	Rayleigh katsayısı (rijitlik)
β_s	Kayma doğrultusunda sönüm özelliği
β_p	Normal doğrultuda sönüm özelliği
γ	Kayma birim şekildeğiştirmesi
γ, β	Newmark katsayıları
γ_c	Kayma birim şekildeğiştirmesi genliği
ε	Birim şekildeğiştirme
ζ	Sönüm oranı
λ	Lame sabiti
ν	Poisson oranı
(ξ, η)	Yerel koordinatlar
ρ	Birim ağırlık
σ	Gerilme
σ_n	Normal doğrultudaki gerilme
σ_t	Tanjant doğrultusundaki gerilme
τ	Kayma gerilmesi

τ_c Kayma gerilmesi genliği
 ω, ω_n Açısal frekans



KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemi)
pga	Peak ground acceleration (en büyük ivme değeri)
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
USCS	Unified Soil Classification System (Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi)
YZE	Yapı-zemin etkileşimi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	(a) Tek serbestlik dereceli yay-kütle-sönümleyici sistemi, (b) kütleyle etkileyen kuvvetler ve (c) eylemsizlik kuvvetinin de bulunduğu serbest cisim diyagramı [2]	3
Şekil 1.2	(a) mesnet hareketi ve (b) kütlelerin serbest cisim diyagramı [1] . . .	4
Şekil 1.3	El Centro depreminin çeşitli sönüm oranları için (a) ivme, (b) hız ve (c) yerdeğiştirme tepki spektrumları [6]	11
Şekil 1.4	Zemin türlerine göre tasarım spektrumunu eğrileri [7]	12
Şekil 1.5	NEHRP ve ASCE 7 yönetmeliklerinde kullanılan elastik tasarım spektrumu [8]	13
Şekil 1.6	Yatay elastik tasarım spektrumu [9]	16
Şekil 1.7	Dinamik problemlerin sınıflandırılması [11]	16
Şekil 1.8	Zeminler için histeretik döngü [6]	17
Şekil 1.9	Deprem dalgalarının zemin içinde yayılımı [12]	19
Şekil 1.10	Aynı zeminin farklı sönüm oranları için transfer fonksiyonunun frekansla değişimi	20
Şekil 1.11	Yaygın olarak kullanılan sonlu eleman türleri [14]	23
Şekil 1.12	Yakın ve uzak bölgeler ve yapay sınırlar [18]	30
Şekil 1.13	Zemin sınırlarının tek sıralı sonlu elemanlarla modellenmesi	33
Şekil 1.14	Kaya ve zemin üzerinde bulunan yapının davranışı (a) zemin durumu, (b) kayanın yeryüzünde bulunması (c) serbest zemin (d) kinematik etkileşim ve (e) ataletsel etkileşim [25]	35
Şekil 1.15	Tek bir yapı için yapı-zemin etkileşimi [31]	39
Şekil 1.16	İki yapı için yapı-zemin-yapı etkileşimi [31]	41
Şekil 1.17	Yapı-zemin etkileşiminin alt sistem yaklaşımı ile çözümü (a) temelin maruz kaldığı yer hareketinin bulunması (b) empedans fonksiyonlarının hesaplanması (c) bulunan yer hareketi altında sistemin çözümü [27]	44
Şekil 1.18	Yapı-zemin etkileşim probleminin doğrudan çözüm yöntemi ile çözümü [18]	45
Şekil 1.19	Yapı-zemin etkileşim probleminin doğrudan çözüm yöntemi ile çözümü [18]	46

Şekil 2.1	Çalışma kapsamında ele alınan yapıların yerleşim durumları (a) zemin üzerinde tek olması durumu, (b) aynı hizada olması ve (c) farklı hizada olması durumu (tek doğrultuda deprem etkisi) (d) farklı hizada olması durumu (iki doğrultuda deprem etkisi)	60
Şekil 2.2	Göz önüne alınan durumlar (a) yapıların aynı hizada olduğu durum, (b) yapıların farklı hizada olduğu durum (tek doğrultuda deprem etkisi) ve (c) yapıların farklı hizada olduğu durum (iki doğrultuda deprem etkisi)	61
Şekil 2.3	Çalışma kapsamındaki yapıların kat kalıp planı	62
Şekil 2.4	İstanbul Avrupa Yakası Güney Bölgesi'nin $V_{s,30}$ profili [108]	63
Şekil 2.5	SOLID185 elemanının geometrisi ve alabileceği şekillerden bazıları .	66
Şekil 2.6	Ormsby dalgacığının (a) zamanla değişimi, (b) Fourier genliği ve süpürme sinüs dalgasının (c) zamanla değişimi ve (d) Fourier genliği	68
Şekil 2.7	Ormsby dalgacığı etkisindeki modelin üst orta noktasından (a) 16 m ve (b) 24 m ve süpürme sinüs dalgacığı etkisindeki modelin üst orta noktasından (c) 16 m ve (d) 24 m uzaklıktaki düğüm noktalarındaki tepkilerin Fourier genliklerinin eleman boyutuyla değişimi (tip 1 zemini)	70
Şekil 2.8	Ormsby dalgacığı etkisindeki modelin üst orta noktasından (a) 16 m ve (b) 24 m ve süpürme sinüs dalgası etkisindeki modelin üst orta noktasından (c) 16 m ve (d) 24 m uzaklıktaki düğüm noktalarındaki tepkilerin Fourier genliklerinin eleman boyutuyla değişimi (tip 2 zemini)	70
Şekil 2.9	Zemin üst orta noktasında ve 24 m mesafe bulunan (a) 3 katlı ve (b) 6 katlı yapıların tip 1 zemini, (c) 3 katlı ve (d) 6 katlı yapıların tip 2 zemini için elde edilen ivme değerlerinin kıyaslanması	72
Şekil 2.10	3 katlı yapının zemin üst orta noktasında ve 24 m mesafede bulunması durumlarında (a) tip 1 ve (b) tip 2 zeminleri için zemin sınırının davranışının kıyaslanması	72
Şekil 2.11	(a) Zemine uygulanan sınır şartları ve (b) 3 ve 6 katlı yapıların görünümü	72
Şekil 2.12	(a) 1 depremi ve (b) 2 depreminin yüzeydeki ve taşınma işlemi sonucunda yüzeydeki ivme değerinin kıyaslanması	74
Şekil 2.13	6 katlı yapının en büyük (a) ivme ve (b) yerdeğiştirme değerlerinin sonlu eleman sayısına bağlı değişimi	75
Şekil 2.14	Yapıların sonlu elemanlarla modellenmesinde kullanılan (a) BEAM188 ve (b) SHELL181 elemanları	78

Şekil 2.15	(a) 3 katlı yapının doğal titreşim periyodunun toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve (b) farklı boyutta olan sonlu elemanlarla modellenmiş olan 3 katlı yapının davranışlarının karşılaştırılması	79
Şekil 2.16	(a) 6 katlı yapının doğal titreşim periyodunun toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve (b) farklı boyutta olan sonlu elemanlarla modellenmiş olan 6 katlı yapının davranışlarının karşılaştırılması	80
Şekil 2.17	(a) 12 katlı yapının doğal titreşim periyodunun toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve (b) farklı boyutta olan sonlu elemanlarla modellenmiş olan 12 katlı yapının davranışlarının karşılaştırılması	80
Şekil 2.18	Tasarım spektrumuna göre deprem kaydı üretilmesi [122]	84
Şekil 2.19	Üretilen 1 ve 2 yapay depremlerinin (a) ve (b) spektrum değerlerinin hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması, (c) ve (d) ivme ve (e) ve (f) yerdeğiştirme değerlerinin zamanla, (g) ve (h) Fourier genliklerinin frekansla değişimleri	85
Şekil 2.20	(a) Sistemin düşey yerdeğiştirme değerlerinin farklı yer çekimi uygulama süreleriyle değişimi ve (b) bazı durumlar için yerdeğiştirme değerlerinin 5 s sonrasındaki değişimi	86
Şekil 3.1	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının (a) 1.mod, (b) 3.mod ve (c) 4.mod, 6 katlı yapının (d) 1.mod, (e) 3.mod ve (f) 4.mod , 12 katlı yapının (g) 1.mod, (h) 3.mod ve (i) 4. modlarına ait şekil değiştirmeler	89
Şekil 3.2	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi	91
Şekil 3.3	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi	92
Şekil 3.4	Tip 1 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda yerdeğiştirme değerlerinin zamanla değişimi	93
Şekil 3.5	Tip 1 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda zemin kat ötelenme değerlerinin zamanla değişimi	94

Şekil 3.6	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi	95
Şekil 3.7	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi	96
Şekil 3.8	Tip 2 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda yerdeğiştirme değerlerinin zamanla değişimi	97
Şekil 3.9	Tip 2 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimi	98
Şekil 3.10	(a) Zemin üzerinde yan yana aynı hizada bulunan 3 ve 6 katlı yapılar ve bu yapıların (b) 11.s, (c) 20.s ve (d) 25.s'deki zemin yüzeyi eşyerdeğiştirme eğrileri	99
Şekil 3.11	(a) Zemin üzerinde yan yana farklı hizada bulunan 3 ve 12 katlı yapılar ve bu yapıların (b) 11.s, (c) 20.s ve (d) 25.s'deki zemin yüzeyi eşyerdeğiştirme eğrileri	99
Şekil 3.12	(a) Zemin üzerinde yan yana farklı hizada bulunan 3 ve 6 katlı yapılar ve bu yapıların (b) 11.s, (c) 20.s ve (d) 25.s'deki zemin yüzeyi eşyerdeğiştirme eğrileri	100
Şekil 3.13	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	103
Şekil 3.14	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	104

Şekil 3.15 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	109
Şekil 3.16 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	110
Şekil 3.17 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	115
Şekil 3.18 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	116
Şekil 3.19 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	120
Şekil 3.20 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	121
Şekil 3.21 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	126

Şekil 3.22 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	127
Şekil 3.23 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	129
Şekil 3.24 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	132
Şekil 3.25 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	136
Şekil 3.26 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	137
Şekil 3.27 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	140
Şekil 3.28 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	143
Şekil 3.29 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	144

Şekil 3.30 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	145
Şekil 3.31 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	148
Şekil 3.32 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	151
Şekil 3.33 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	153
Şekil 3.34 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	159
Şekil 3.35 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	160
Şekil 3.36 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	164
Şekil 3.37 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	165

Şekil 3.38 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	170
Şekil 3.39 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	171
Şekil 3.40 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	172
Şekil 3.41 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	176
Şekil 3.42 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	177
Şekil 3.43 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması	180
Şekil 3.44 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi	185

Şekil 3.45 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması 186



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Yerel zemin sınıfları [9]	15
Tablo 2.1	Zemin türleri için temsili Poison oranları [109]	63
Tablo 2.2	Zemin genişliğine ve eleman sayısına bağlı olarak 6 katlı yapının en büyük ivme değerlerinin değişimi	76
Tablo 2.3	Çeşitli yapı türlerine göre sönüm oranları [121]	81
Tablo 3.1	Yapıların doğal titreşim periyotları	88
Tablo 3.2	Tip 1 zemini üzerinde bulunan yapılara ait bazı bulgular	90
Tablo 3.3	Tip 2 zemini üzerinde bulunan yapılara ait bazı bulgular	95
Tablo 3.4	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	101
Tablo 3.5	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	102
Tablo 3.6	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	106
Tablo 3.7	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	107
Tablo 3.8	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	112
Tablo 3.9	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	113
Tablo 3.10	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	118
Tablo 3.11	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	119

Tablo 3.12	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	123
Tablo 3.13	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	124
Tablo 3.14	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	130
Tablo 3.15	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular	131
Tablo 3.16	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular	135
Tablo 3.17	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular	139
Tablo 3.18	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular	142
Tablo 3.19	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular	146
Tablo 3.20	Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular	149
Tablo 3.21	Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular	152
Tablo 3.22	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular	156
Tablo 3.23	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular	157
Tablo 3.24	Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular	162

Tablo 3.25	Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular	163
Tablo 3.26	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular	167
Tablo 3.27	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular	168
Tablo 3.28	Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular	173
Tablo 3.29	Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular	174
Tablo 3.30	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular	178
Tablo 3.31	Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular	179
Tablo 3.32	Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular	183
Tablo 3.33	Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular	184

Bina Grupları Üzerindeki Yapı-Zemin-Yapı Etkileşiminin İncelenmesi

Mehmet ADA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Birbirine yakın konumda bulunan yapıların arasında meydana gelen yapı-zemin-yapı etkileşimi, yapı-zemin etkileşimine kıyasla daha çok ihmal edilmektedir. Yapı-zemin etkileşimi problemlerinde yapıların altında bulunan zemin sebebiyle yapıların davranışlarında meydana gelebilecek değişimler dikkate alınırken, yapı-zemin-yapı etkileşimi problemlerinde ise hem yapıların altındaki zeminin hem de yapıların yanında bulunan diğer yapılar dolayısıyla yapı davranışlarında meydana gelebilecek etkiler dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, birbirine yakın konumda bulunan yapıların arasında deprem etkisi altında oluşan yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında meydana gelen değişimlerin mertebelerinin ve yapı-zemin-yapı etkileşimine etki eden faktörlerin elde edilmesidir. Bu doğrultuda, Türkiye yapı stoğunda bulunan yapıların genel özelliklerine göre belirlenmiş olan simetrik planlı 3, 6 ve 12 katlı yapılar üzerindeki yapı-zemin etkileşimi etkileri incelenmiştir. Yapı-zemin etkileşiminin yapıların davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek için elde edilen sonuçlar yapıların zemine tam bağlı olduğu durumlara ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, yapı-zemin-yapı etkileşiminin etkilerini incelemek amacıyla, iki yapının yan yana bulunduğu durumlar, farklı kat sayıları, yapılar arasındaki mesafeler, zeminin rijitlikleri, yerleşim şekilleri ve deprem etkilerinin olduğu 432 farklı durum göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu değerlendirmelerde, yapıların göreceli ivme ve yerdeğiştirme değerleri, ivme değerlerinin Fourier dönüşümü ile elde edilen Fourier genlikleri ve yapıların zemin katlarının ötelenme oranlarında meydana gelen

değişimler göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (2018) göre elde edilmiş olan tasarım spektrumu eğrisine göre iki farklı yapay deprem kaydı üretilmiştir. Üretilen bu kayıtlar hem yapı-zemin etkileşimi hem de yapı-zemin-yapı etkileşimi problemlerinde sismik yük olarak zemin ortamının tabanından uygulanmıştır. Hem yapı-zemin etkileşimi problemlerinin hem de yapı-zemin-yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde zemin ve yapı sistemlerinin birlikte analiz edildiği doğrudan çözüm yöntemi kullanılmış olup, bu sistemlerin analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapıların davranışlarını önemli ölçüde değiştirdiği görülmektedir. Bu durum özellikle, yapıların yumuşak zeminlerin üzerinde bulunduğu durumlarda daha belirgin olmaktadır. Bu sebeple, yapıların tasarım aşamasında ya da mevcut yapıların değerlendirilmesinde yapıların yanında bulunan diğer yapılar sebebiyle meydana gelebilecek etkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik analiz, Yapı-zemin etkileşimi, Yapı-zemin-yapı etkileşimi, Sismik tepki, Sonlu elemanlar yöntemi

Investigation of the Structure-Soil-Structure Interaction on the Response of the Group of Structures

Mehmet ADA

Department of Civil Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

The structure-soil-structure interaction phenomenon between the neighbouring structures has been ignored if it is compared to the soil-structure interaction. Although the soil-structure interaction problems consider the effects of the underlying soil on the response of the structures, the structure-soil-structure interaction problems take into account both of the effects of the underlying soil and the neighbouring structures.

The purpose of this study is to investigate the level of variation in the response of the structures and the parameters which dominantly controls the structure-soil-structure interaction effects for nearby located structures. For this purpose, the 3-, 6-, and 12-storey structures which are symmetric in plan and which properties are assigned considering the structure stock of Turkey. In order to compare the effects of soil-structure interaction on the response of the structures, the results are compared with the fixed base cases. Then, the response variations of nearby located two structures are evaluated for different storey numbers, the clear distance between the structures, the stiffness of the underlying soil, the layout of the structures, and the ground motions to investigate the effects of structure-soil-structure interaction on the response of the structures for 432 different cases. In this evaluation, the relative acceleration, relative displacement, Fourier amplitudes of the accelerations and the ground storey drift ratios are considered in order to assess the structure-soil-structure interaction effects on the neighbouring structures. For this purpose, two artificial ground motions are produced based on the design spectrum curves of Turkish Building Earthquake Specifications (2018) and these earthquakes are applied from the bottom

of the soil medium as seismic loads. Finite element method is utilised to analyse the soil and the structures subjected to seismic excitation with the direct method.

It is concluded that the response of the neighbouring structure can change because of the structure-soil-structure interaction effects, especially for the cases of the underlying soft soil. It is also concluded that the consideration of the neighbouring structures could change the responses of the structures based on the dynamic characteristics of the case. Therefore, the effects of the neighbouring structure should be considered in the design of the new structures and the evaluation of the existing structures in the neighbourhood of other structures.

Keywords: Dynamic analysis; Soil-structure interaction; Structure-soil-structure interaction; Seismic response; Finite element method



1.1 Giriş

Günümüzde artan nüfus yoğunluğuyla birlikte, özellikle yoğun yerleşimlerin olduğu bölgelerde insanların ihtiyaçlarını karşılanması amacıyla inşa edilen yapıların yoğunluklarında kaçınılmaz bir artış olmaktadır. Bunun sonucunda, kısıtlı alanlar sebebiyle yapıların birbirlerine yakın mesafelerde hatta bitişik olarak inşa edilmesi kaçınılmazdır. Diğer taraftan, genellikle yapıların tasarım aşamasında ya da risklerinin değerlendirilmesi için gerçekleştirilen analizlerde yapıların altındaki zemin ve etrafında bulunan diğer yapılar sebebiyle oluşacak olan etkiler göz ardı edilmektedir.

Yapıların altında ve bazı durumlarda çevresinde bulunan zemin ortamı, yapıların dinamik özelliklerini değiştirebildiği gibi deprem dalgalarının içeriklerinde de bazı değişikliklere sebep olabilmektedir. Yapıların dinamik özelliklerindeki değişim özellikle zemin rijitliğinin düşük olduğu yumuşak zemin koşullarında çok daha önemli seviyelerde olabilmektedir. Tüm bu etkiler sonucunda, yapıların sadece yüzey hareketi etkisinde zemine tam bağlı olarak analiz edildiği durumlarla, yapının altında bulunan zeminin etkilerinin göz önüne alınmasıyla edilen sonuçlar birbirinden çok farklı olabilmektedir. Bununla birlikte, yapıların zeminle birlikte dikkate alınması zeminin davranışının da serbest yüzey durumundan farklı olmasına sebep olmaktadır. Hem zeminin hem de yapıların karşılıklı olarak davranışlarda değişikliklerin meydana geldiği bu durum yapı-zemin etkileşimi olarak adlandırılmaktadır. Oluşan bu etki sonucunda bir bileşende meydana gelen değişimin diğer bileşeni değiştirmesi ve daha sonra bu değişimin tekrar diğer bileşenin davranışını değiştirmesi sebebiyle bu olay etkileşim olarak nitelendirilmektedir. Bazı durumlarda, yapılar arasındaki etkileşimi incelemek için yapıların sadece temelleri dikkate alınabilmektedir, böylesi durumlarda üst yapılar olmadan sadece temellerin arasında etkileşim meydana gelir ve bu olay temel-zemin etkileşimi olarak adlandırılmaktadır.

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümünde sadece analizi gerçekleştirilen yapı ile zemin ortamı dikkate alınmaktadır. Fakat, söz konusu yapıya yakın mesafede

diğer bir yapı bulunması durumunda, dinamik etki altında yapıların davranışları yapıların tek başına bulunması durumuna göre farklı olabilmektedir. Bu farklılığın temel sebebi, dinamik etki altındaki yapılarda oluşan titreşimlerin zemin aracılığı ile diğer yapılara iletilmesi ve bu yapıların davranışlarında değişikliklere yol açmasıdır. Bu değişimler sadece tek taraflı olmayıp her iki yapı da birbirinin davranışını etkilemektedir. Birbirlerine yakın mesafelerde bulunan yapıların arasındaki etkileşim sonucunda yapıların davranışlarının değişmesi yapı-zemin-yapı etkileşimi olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca literatürde bu olay dinamik çapraz etki, zemin yoluyla etkileşim olarak da adlandırılmaktadır. Yapıların sadece temellerinin dikkate alınması halinde ise temel-zemin-temel etkileşimi olarak adlandırılmaktadır.

1.2 Yapı Dinamiğiyle İlgili Temel Kavramlar

Yapı sistemlerin analizleri temel olarak statik ve dinamik analiz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik analizler uygulanan yüklerin zamanla değişmediği durumlarda kullanılmaktadır. Dinamik analizlerde ise sistemlere etkileyen yükler zamana bağlı olarak değişmektedir. Zamana bağlı olarak yüklemenin sonucunda, sistemin iç kuvvetleri ve durumu zamanla birlikte değişmektedir. Statik analizlerle zamandan bağımsız sadece tek bir çözüm elde edilirken, dinamik analizlerde ise dikkate alınan her bir zaman adımı için ayrı bir çözüm elde edilmektedir [1]. Bu nedenle aşağıda ilk önce hareket denklemi, hareket denkleminin çözüm yöntemleri hakkında kısaca bilgiler verilmektedir.

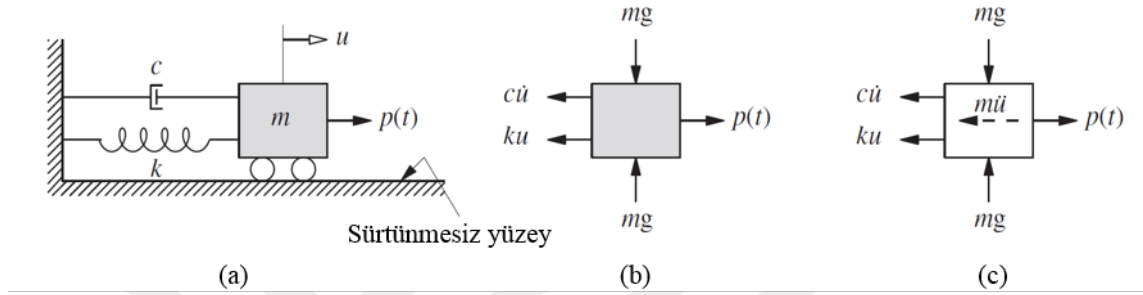
1.2.1 Hareket Denklemi

Statik sistemlerde denge denklemleri iç ve dış kuvvetlerin dengesi olarak ifade edilirken, dinamik sistemlerin dengesi hareket denklemleriyle birlikte ifade edilebilmektedir. Atalet kuvvetleri yerdeğiştirme değerlerinin zamana göre ikinci türevine bağlı olarak değiştiği ve sönüm terimi de yerdeğiştirme değerlerinin zamana göre birinci türevine göre değiştiği için hareket denklemleri, sabit terimlerin de bulunduğu ikinci dereceden diferansiyel bir denklemdir. Hareket denklemleri bir kütleyle etkileyen tüm kuvvetlerin dengesini ifade eden bir denklemdir [1].

$$f_I + f_D + f_S = p(t) \quad (1.1)$$

Bu denklemde $p(t)$ dış kuvveti, $f_I (= m\ddot{u})$ atalet kuvvetini, $f_D (= c\dot{u})$ sönüm kuvvetini, $f_S (= ku)$ ise direnç kuvveti olmak üzere, dinamik dış kuvvet $p(t)$ etkisinde olan doğrusal elastik davranışa sahip olduğu kabul edilen bir sistemin yerdeğiştirmesi olan

$u(t)$ değişkenini yöneten bir denklemdir. Şekil 1.1’de tek serbestlik dereceli bir sisteme etkiyen kuvvetler ve D’Alembert ilkesine göre eylemsizlik kuvvetinin de bulunduğu serbest cisim diyagramı gösterilmektedir. D’Alembert ilkesi, yani bir kütle ivmesiyle orantılı ve hareket yönüne ters yönde olan atalet kuvvetinin meydana gelmesi, göz önüne alındığında, bu etkiden dolayı meydana gelen eylemsizlik kuvvetinin hesaba katılmasıyla birlikte sistem her an dengede olacaktır. Bu sayede, hareket halindeki bir kütle için serbest cisim diyagramı kullanılarak statik ilkelerle birlikte hareket denklemi yazılabilmektedir.



Şekil 1.1 (a) Tek serbestlik dereceli yay-kütle-sönümleyici sistemi, (b) kütleyle etkiyen kuvvetler ve (c) eylemsizlik kuvvetinin de bulunduğu serbest cisim diyagramı [2]

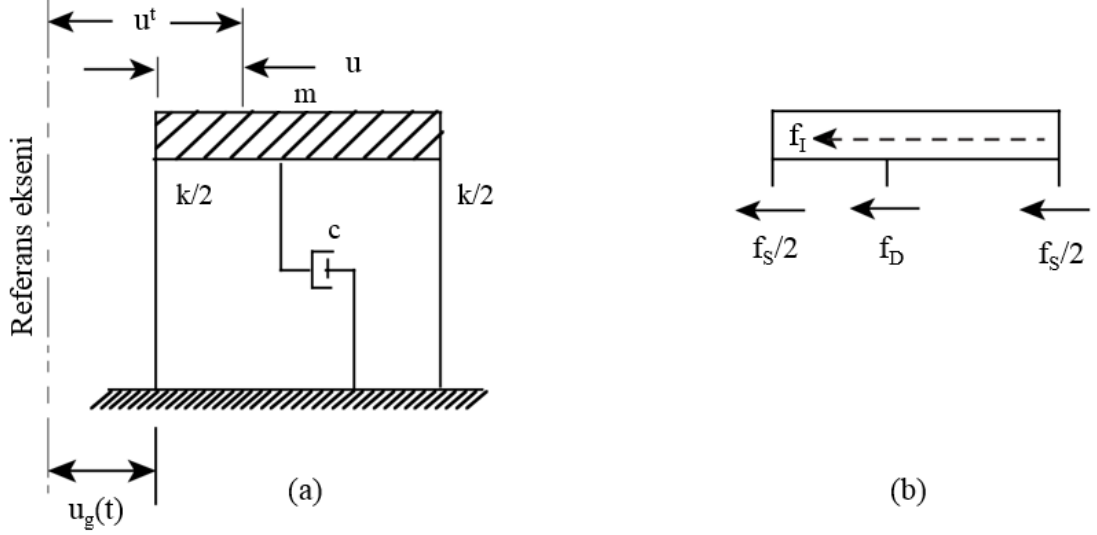
Tüm sisteme $p(t)$ kuvvetinin uygulanması halinde, bu kuvvetin Şekil 1.1’de gösterildiği gibi üç bileşene ayrılacağı düşünülürse, $p(t)$ kuvveti etkisinde bulunan tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (1.2)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denkleme göre, dış kuvvet $p(t)$ etkisinde olan sistemin t anındaki durumu aynı andaki yerdeğiştirme ($u(t)$), hız ($\dot{u}(t)$) ve ivme ($\ddot{u}(t)$) değerleri kullanılarak elde edilebilmektedir.

Yapı mühendisliğinde en çok karşılaşılan yapı dinamiği problemi, deprem etkisindeki sistemlerin davranışlarıdır. Mesnet hareketi olan bu durumda Denklem (1.2), (u_g) sabit bir noktaya göre olan toplam yatay hareket olmak üzere, atalet kuvveti etkisi toplam harekete bağlı olarak oluşacaktır (Şekil 1.2). Bu durumdaki atalet kuvveti

$$f_I = m\ddot{u}^t \quad (1.3)$$



Şekil 1.2 (a) mesnet hareketi ve (b) kütle için serbest cisim diyagramı [1]

bağıntısıyla belirlenmektedir. Bu bağıntıdaki \ddot{u}^t toplam ivmeyi göstermektedir. Toplam yerdeğiştirme, yer hareketi ile sistemin yere göre göreceli hareketinin (u_r) toplamı olmaktadır (Denklem (1.4)).

$$u^t = u + u_g \quad (1.4)$$

Sistemin sönümü ve direnç kuvveti kütle için yere göre olan rölatif hareketine bağlı olmaktadır. Tüm kuvvet bileşenleri düzenlenip Denklem (1.2)'nin mesnet hareketi durumundaki hareket denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$m\ddot{u}^t + c\dot{u} + ku = 0 \quad (1.5)$$

Denklem 1.5, sol tarafındaki bileşenlerin rölatif değişimleri dikkate alınıp tekrar düzenlenirse

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \equiv p_{eff}(t) \quad (1.6)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemdeki $p_{eff}(t)$ sisteme etkiyen deprem kuvvetini göstermektedir. Denklem (1.2) ile Denklem (1.6)'nın karşılaştırılmasından, yer ivmesi $\ddot{u}_g(t)$ sebebiyle sistemde meydana gelecek göreceli ötelenme ($u(t)$) ile sistemin temel için tam bağlı olduğu durumda $-m\ddot{u}_g(t)$ dış kuvveti etkisinde olduğu durumda elde edilecek olan $u(t)$ ötelenmesi değerleri aynıdır. Bu sebeple, sistemlerin yer

hareketi altındaki analizlerini gerçekleştirirken, yer hareketi yerine etkin deprem yükü $p_{eff}(t)$ kullanılabilir. $p_{eff}(t)$ kuvvetinin değeri yer ivmesi ile kütleli çarpımına eşit olmakla birlikte yönü ivmeye ters yöndedir. Ayrıca, Denklem (1.6)'daki $\ddot{u}_g(t)$ teriminin yer ivmesi olduğu düşünüldüğünde, bu denklem deprem etkisi altında tek kütleli bir sistemin hareket denklemini ifade etmektedir ve denklemin sağ tarafında bulunan $-m\ddot{u}_g(t)$ terimi deprem nedeniyle oluşan atalet kuvveti olmaktadır. Denklem yazıldığı zeminin uzayda sabit olduğu kabul edildiğinde, denklemde uygulanan d'Alembert ilkesi gereğince atalet kuvveti, sönüm kuvveti ve direnç kuvvetinin denge olduğu için, söz konusu problemi dinamik durumdan statik duruma dönüştürmektedir [3].

Hareket denkleminin çözümü için sistemin kütlesi, rijitlik matrisi, sönüm katsayısı ve dinamik etkinin bilinmesi yeterli olmaktadır. Hareket denkleminin çözümü için, diğer bir deyişle $u(t)$ yerdeğiştirme değerlerinin belirlenmesi için, çeşitli analitik ya da sayısal yöntemler kullanılabilir. Uygun çözüm yöntemi gözönüne alınan sisteme ve uygulanan yüke bağlı olarak değişebilir. Çözüm yönteminin belirlenmesinde göz önüne alınan bazı durumlar aşağıda verilmiştir,

- Problemin doğrusal ya da doğrusal olmayan davranış göstermesi: Genellikle doğrusal olmayan problemlerde denklemin çözümü için sayısal yöntemler kullanılmaktadır.
- Yüklemin tipi: Deprem hareketi gibi zamana bağlı yüklemelerin analitik olarak çözümü pratiklik açısından uygun olmayabilmektedir.
- Çözümde beklenen doğruluk mertebesi: Analitik yöntemler kullanılarak bulunan sonuçlar kapalı formda çözümlerle ya da sonsuz serilerin çözümleriyle elde edilmektedir. Bu nedenle istenilen doğruluk derecesine serideki terim sayısını artırarak ulaşılabilir. Diğer taraftan sayısal yöntemlerle elde edilen sonuçlar yaklaşık olmakla birlikte genellikle kabul edilebilir doğrulukta olmaktadır [1].

1.2.2 Hareket Denkleminin Çözüm Yöntemleri

Sistemin hareketini tanımlayan hareket denklemini farklı yöntemlerle çözülebilmektedir. Bu yöntemler kullanılırken bazı başlangıç koşullarını dikkate alarak hareket denkleminin çözümü elde edilebilir. Özellikle analiz başlangıcında sistemin hareketsiz olması, yani hız ve yerdeğiştirme değerlerinin başlangıçta sıfır olması dikkate alınan en önemli durumlardan birisidir [2]. Aşağıda hareket denkleminin çözümünde kullanılan 4 farklı çözüm yönteminden kısaca bahsedilmektedir.

Klasik Çözüm: Serbest titreşim ve matematiksel olarak tanımlanabilen yükleme etkisinin bulunduğu denklemlerin çözümünde kullanılabilen en temel yöntemdir. Doğrusal diferansiyel denklemlerin tam çözümü türdeş çözüm $u_c(t)$ ile özel çözüm $u_p(t)$ değerlerinin toplanması ile elde edilmektedir ve

$$u(t) = u_c(t) + u_p(t) \quad (1.7)$$

denklemleri ile verilmektedir.

Duhamel Integrali ile Çözüm: Tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri gibi doğrusal diferansiyel denklemlerin çözümünde sisteme uygulanan yükün sonsuz kısa süreli itki dizisi olarak düşünülmesine dayanan yöntemdir. Sistemin t anında uygulanan $p(t)$ yük etkisindeki tepkisi o ana kadar uygulanmış olan tüm yüklere karşı olan tepkilerinin toplanmasıyla bulunabilir. Yükleme etkisinde olan sistemde $t = \tau$ anında $d\tau$ süresince oluşan tepki

$$du(t) = \frac{p(\tau)d\tau}{m\omega} \sin\omega(t - \tau) \quad (1.8)$$

denklemleri ile belirlenebilir. Bu denklemde ω sistemin açısal frekansıdır ve $t \geq \tau$ olmalıdır. Bu denklem kullanılarak, t zamanına kadar ki tüm sistem etkileri toplanırsa, toplam sistem tepkisi elde edilebilmektedir [4]. Bu denklemde $t \rightarrow 0$ olduğu düşünülürse, sönümsüz tek serbestlik dereceli sistem için, $u(t)$ ifadesi

$$u(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \sin\omega(t - \tau) d\tau \quad (1.9)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklem $t=0$ anında sistemin hareketsiz durumda olduğu başlangıç koşullarını da içermektedir. Bu çözüm yöntemi, sisteme uygulanan $p(t)$ yüklemesinin bir fonksiyonla tanımlandığı durumlar için de kullanılabilir.

Frekans Tanım Alanında Çözüm: Doğrusal sistemlerin çözümünde kullanılacak diğer bir çözüm yöntemi de analizlerin frekans tanım alanında yapılmasıdır. Bu çözüm yönteminde, öncelikle yükün harmonik bileşenlerinin genliklerinin $p(\omega)$ belirlenmesini sağlayan Fourier ya da Laplace dönüşümleri kullanılır. Fourier spektrumu zamana bağlı olarak elde edilmiş bir verinin içerdiği frekansları ortaya çıkartmakla birlikte zaman ortamının frekans ortamına dönüşümünün yapılmasını da

sağlamaktadır. Temel olarak Fourier dönüşümünde ele alınan verinin sinüs ve cosinüs dalgalarının üst üste yığılması sonucunda oluştuğu kabul edilir ve bir seri işlem sonucunda bu verileri oluşturan alt bileşenlerin elde edilmesi işlemleridir. Fourier dönüşümü sonrasında frekans bileşenlerinin ortaya çıkartılmasıyla birlikte, deprem dalgasının yapılar üzerindeki etkisi ön görülebilir. Eğer Fourier genliklerinden bir ya da bir kaç tanesi diğer genliklere kıyasla daha büyük olduğu durumlarda bu değerlere karşılık gelen frekans değeri o verinin hakim frekansı ya da frekansları olarak tanımlanmaktadır [3]. $p(t)$ yükünün Fourier dönüşümü Denklem (1.10) ile yazılabilmektedir.

$$P(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1.10)$$

Fourier dönüşümü ile etkileyen yükün frekans içeriğine ve bileşenlerin genlikleri tanımlanarak bu yük etkisinde olan sisteminde nasıl bir davranışa sebep olabileceği tahmin edilebilmektedir [3]. Denklem (1.10) ile frekans ortamına dönüştürülen yük altında sistemin verdiği tepki Denklem (1.11) ile belirlenebilmektedir.

$$U(\omega) = H(\omega)P(\omega) \quad (1.11)$$

Hareket denkleminin çözümü olan $u(t)$ 'nin Fourier dönüşümü olan $U(\omega)$ elde edilmektedir. Bu denklemde $H(\omega)$ karmaşık değerli olup sistemin frekans alanındaki harmonik yüklemeye olan tepkisini tanımlamaktadır. Hareket denkleminin çözümü olan $u(t)$, $U(\omega)$ ters Fourier dönüşümü ile Denklem (1.12) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)P(\omega)e^{i\omega t} d\omega \quad (1.12)$$

Sayısal Çözüm Yöntemleri: Dikkate alınan sistemin deprem hareketi gibi çeşitli denklemlerle ifade edilemeyen bir yüklemeye altında olması durumunda, hareket denkleminin çözümü için sayısal yöntemler tercih edilebilmektedir. Ayrıca, doğrusal olmayan sistemlerin davranışları da bu çözüm yöntemiyle birlikte çözümde dikkate alınabilir. Çeşitli sayısal analiz yöntemleri mevcut olup bunlardan başlıcaları aşağıda kısaca açıklanacaktır.

- **Zaman Adımlama Yöntemi:** Başlangıç koşullarının ve sisteme uygulanan dış yükün her andaki (t_i) değerinin bilinmesi durumunda, sistemin bir önceki andaki davranışının (t_{i-1}) başlangıç koşulu olarak kullanılmasıyla elde edilebilmektedir. Bu yöntemle hareket denkleminin çözümü yapılırken bir önceki zamandaki koşullar kullanıldığı için elde edilen sonuçların doğruluğu zaman adımları arasındaki farka (Δt) bağlı olmaktadır.
- **Yüklemenin Aradeğerlemesine Göre Çözüm Yöntemi:** Bu yöntemde yükleme değeri çözülen zaman adımının başındaki ve sonundaki yük değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra, dikkate alınan sistem çeşitli kesin yöntemlerle analiz edilmektedir. Bu yöntemde yüklemenin idealleştirilmesi yapılırken yükleme fonksiyonunun yeterli derecede doğru olarak dikkate alınması ve yüklemenin pik değerlerin kaçırılmaması sonuçların doğruluğu için önemli olmaktadır.
- **Merkezi Farklar Yöntemi:** Bu yöntem hız ve ivme değerlerinin sonlu farklar kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanmasına dayanmaktadır. Sistemin $i + 1$ anındaki tepkisi (u_{i+1}), i anındaki denge koşulları kullanılarak hesaplanmaktadır. Merkezi farklar yönteminin kullanılabilmesi için çözümde kullanılan zaman adımlarının (Δt) yeterince küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde bulunan sonuçlar doğru olmayacaktır. Sistemlerin belirli bir zamandaki tepkilerinin hesaplanması için sadece önceki zaman adımında elde edilmiş olan değerlerin kullanıldığı bu tür yöntemler belirtik (explicit) yöntemler olarak tanımlanmaktadır.
- **Newmark Yöntemi:** Yaygın olarak kullanılan zaman adımlama yaklaşımlarından birisidir. Bu yaklaşım esas olarak

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (1.13)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0,5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (1.14)$$

denklemlerine bağlı olmaktadır. Bu denklemlerde bulunan γ ve β katsayıları, ivmenin bir zaman adımı içerisindeki değişimini tanımlamaktadır ve bu katsayılar bu yöntemin doğruluğunu ve kararlılığını önemli derece etkilemektedir. Genellikle, $\gamma = 0,5$ ve $\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$ olması halinde sonuçlar bakımından tatmin edici sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Hareket denklemi ve Denklem (1.13) ve (1.14) kullanılarak, t_{i+1} anındaki sistemin yerdeğiştirilmesi, u_{i+1} , hızı \dot{u}_{i+1} ve ivmesi \ddot{u}_{i+1} iterasyon yapılarak elde edilebilmektedir. Ortalama ivme ve doğrusal ivme yöntemleri en yaygın

olarak kullanılan Newmark yöntemleridir. Ortalama ivme yönteminde, t_i ve t_{i+1} zamanları arasında ivme değişmez iken, doğrusal ivme yönteminde ise t_i ve t_{i+1} zamanları arasında ivme doğrusal olarak değişmektedir. Sabit ortalama ivme yönteminde γ ve β katsayılarının 0,5 ve 0,25 olurken, doğrusal ivme yönteminde ise bu katsayılar 0,5 ve $\frac{1}{6}$ olmaktadır [2]. Newmark yöntemiyle t_{i+1} zamanı için çözüm yaparken, t_i anındaki değerler kullanılarak denge denklemleri yazılır. Çözümü yapılan sistemlerin denge denklemlerinin hesaplanması için sadece hesabın yapıldığı zaman adımındaki değerlerin kullanıldığı bu yöntemler örtük (implicit) yöntemler olarak bilinmektedir.

1.2.3 Tepki Spektrumu

Belirli bir yer hareketi altında, aynı sönüm oranına fakat farklı periyot değerlerine sahip olan tek serbestlik dereceli sistemlerde oluşacak en büyük tepkilerin bir araya getirilip çizilmesiyle oluşturulan eğriler tepki spektrumu olarak adlandırılmaktadır.

Temel olarak üç farklı tepki spektrumu çeşidi vardır,

- Yerdeğiştirme tepki spektrumu (S_d),
- Sözde hız tepki spektrumu (S_v)
- Sözde ivme tepki spektrumu (S_a)

Her bir tepki spektrumu farklı amaçlarla kullanılabilir: Sözde ivme spektrumu yapıların temel seviyesinde oluşan kesme kuvvetlerinin elde edilmesinde, sözde hız spektrumu deprem sebebiyle yapılarda oluşacak olan enerjinin bulunmasında, yerdeğiştirme tepki spektrumu ise yapı elemanlarında oluşacak gerilmelerin bulunmasında kullanılabilir. Tepki spektrumu değerlerine "sözde" denilmesinin sebebi, sözde ivme değerinin (S_a) görece ivme değerine (\ddot{u}_r), sözde hız değerinin (S_v) ise görece hız değerine (\dot{u}_r) eşit olmamasıdır. Kısa periyotlu sistemlerde görece hız değeri ile sözde hız değerleri birbirlerine yakın olurken, uzun periyotlu sistemlerde bu iki değer arasındaki fark artmaktadır. Ayrıca, sönümün az olduğu sistemlerde bu iki hız arasındaki fark az olmakla beraber, sistemlerde sönüm olmaması halinde bile iki hız arasındaki fark hiç bir zaman sıfır olmamaktadır. Diğer yandan, sönümsüz sistemlerde görece ivme değeri ile sözde ivme değerleri aynı olmaktadır. Eğer sistemde sönüm varsa, periyodu uzun sistemler haricinde bu ivme değerleri birbirlerine yakın olmaktadır [2]. Yerdeğiştirme, sözde hız ve sözde ivme spektrumları arasındaki ilişki

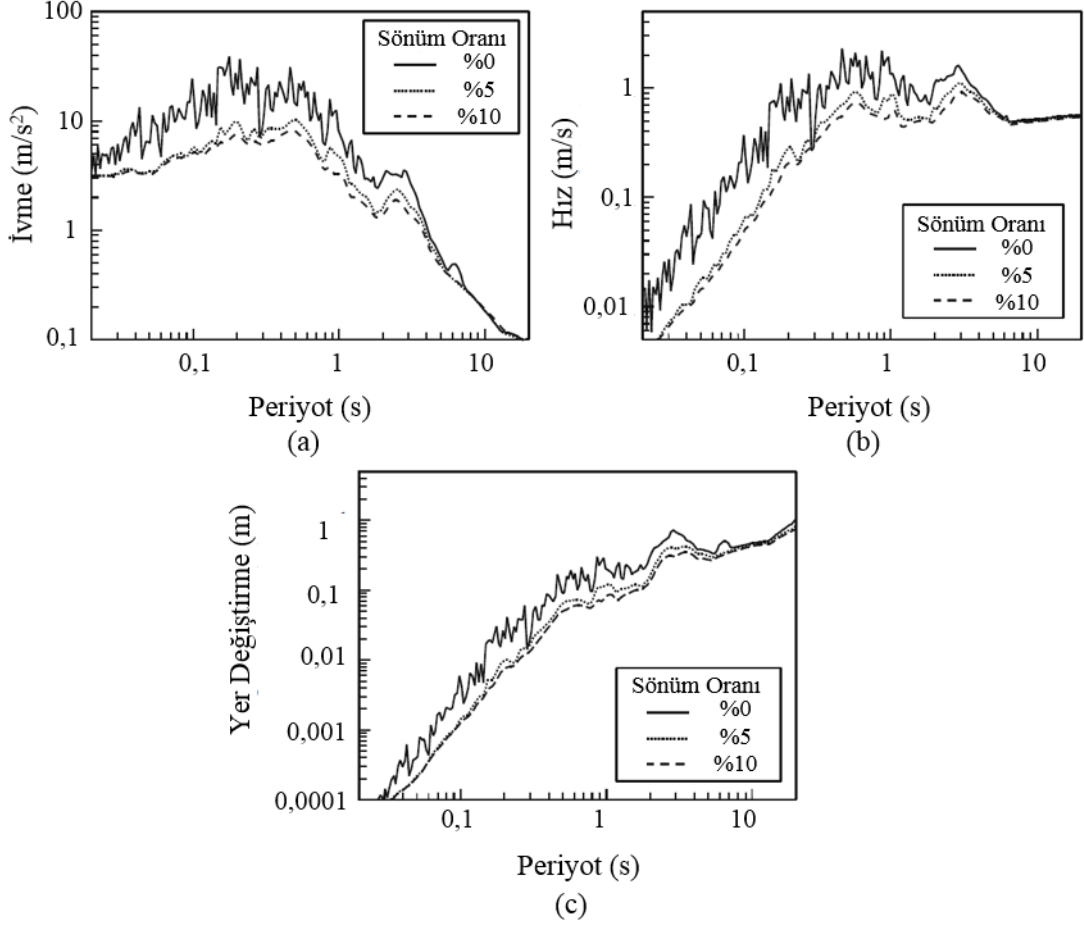
$$S_a = \omega S_v = \omega^2 S_d \quad (1.15)$$

denklemleri ile verilmektedir. Bu denklemlerde ω tek serbestlik dereceli sistemin açılma frekansıdır (rad/s). Herhangi bir davranış spektrumunun elde edilmesi için takip edilmesi gereken işlem adımları aşağıda verilmiştir [2],

- Hesaplarda kullanılacak olan yer hareketinin $\ddot{u}_g(t)$ belirlenmesi,
- Tek serbestlikli sistemin doğal titreşim periyodunun ve sönüm oranının belirlenmesi,
- Sisteme uygulanan yer hareketi altında, sistemde meydana gelecek olan yerdeğiştirmelerin $u(t)$ belirlenmesi,
- En büyük sistem tepkisini (u_0) belirlenmesi,
- Denklem (1.15) ile sözde hız ve sözde ivme değerlerinin hesaplanması,
- İstenilen tüm periyot değerleri için bu adımdan önceki 4 adımın tekrarlanması,
- Elde edilen sonuçların spektrum eğrisi formatında çizilmesi.

Tepki spektrumu küçük periyotlu (diğer bir deyişle rijit) yapılarda sözde ivmenin değeri yer hareketinin ivme değerine yaklaşır ve bu durumda yerdeğiştirme çok küçük olarak hesaplanır. Bunun sebebi, rijit yapıların yer hareketi altında çok az şekildeğiştireceği ve yapının neredeyse zemin ile aynı davranışı göstermesidir. Diğer taraftan uzun periyotlu yapılar için ise ivme spektrumu değerinin çok küçük kaldığı, fakat yerdeğiştirme değerlerinin yerin en büyük yerdeğiştirme (u_{g0}) değerine yaklaştığı görülmektedir. Bu durum, çok esnek sistemlerin yer hareketinden neredeyse etkilenmeyeceği ve hareketsizmiş gibi olması durumuyla açıklanabilmektedir [2].

Şekil 1.3'te El Centro depremine farklı sönüm oranlarına ait olan ivme, hız ve yerdeğiştirme tepki spektrumları verilmiştir. Bu eğriler, sadece deprem dalgasına bakarak öngörülemeyen fakat depremin tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde oluşturacağı etkiyi göstermektedir. Tepki spektrumu değerleri değişimi genellikle çok keskin olmaktadır ve bu davranışları değişik depremler için tamamen farklı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle, birden çok deprem kullanılarak tepki spektrumlarının şekli düzleştirilebilir, fakat düzleştirme yapılırken en büyük değerlerdeki azalmaların çok olmamasına ve tepkilerin olduğundan az olarak elde edilme durumu göz ardı edilmemesine dikkat edilmelidir [5].

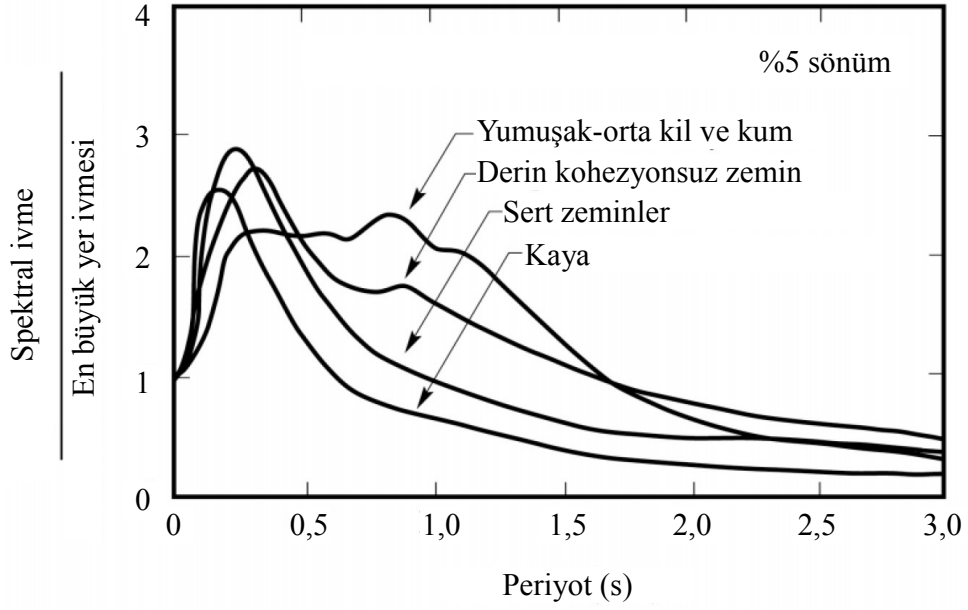


Şekil 1.3 El Centro depreminin çeşitli sönüm oranları için (a) ivme, (b) hız ve (c) yerdeğiştirme tepki spektrumları [6]

1.2.4 Elastik Tasarım Spektrumu

Yapıların maruz kalma ihtimallerinin olduğu depremlere karşı güvenli olması beklenmektedir. Bu amaçla, yapının yapılacağı bölgenin yerel zemin sınıfı, sismik yoğunluğu ve aktif faylara uzaklıkları gibi temel parametreler dikkate alınarak yapıların tasarımında ya da değerlendirilmesinde kullanılmak üzere tasarım spektrumları oluşturulmaktadır. Yapının meydana gelecek bir depreme dayanabilmesi için, geçmişte meydana gelmiş olan tek bir depreme göre oluşturulmuş ola tepki spektrumu baz alınarak tasarlanması güvenli olmamaktadır. Bunun sebebi depremlerin rastgele içerikli olmaları ve bugüne kadar meydana gelmiş olan herhangi bir depremin tekrar meydana gelmemiş olmasıdır. Bir tasarım spektrumu, o bölgede meydana gelmiş olan depremlerin genelini temsil etmelidir. Bölgede yeterli sayıda deprem verisi olmaması halinde yeterli sayıda depremin kaydedildiği benzer zemin koşuluna sahip bir yerdeki tasarım spektrumu dikkate alınmalıdır [2]. Bunun sebebi, yer hareketleri yerel zemin koşullarına göre ayrı ayrı gruplandırıldığında, bu zemin gruplarının herbiri için ayrı ayrı tasarım spektrumları elde edilebilmektedir. Yerel

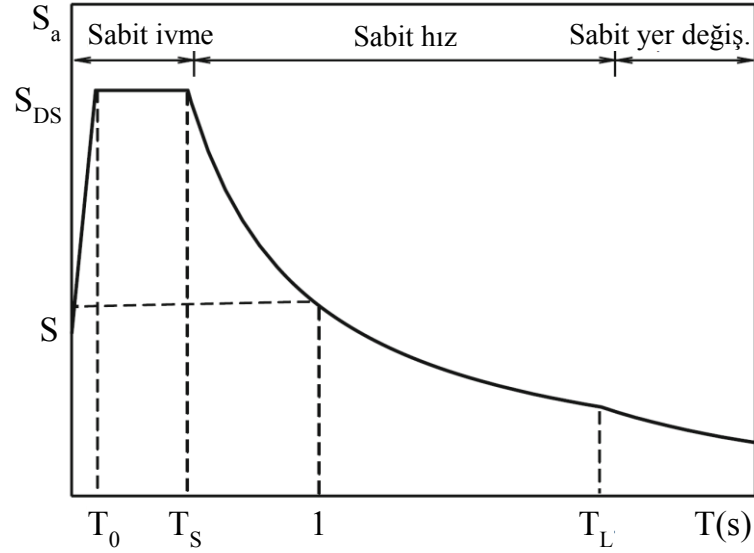
zemin sınıfı elastik tasarım spektrumunun büyüklüğünü ve şeklini değiştirebilmektedir [7] (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Zemin türlerine göre tasarım spektrumu eğrileri [7]

Davranış spektrumunda ani iniş-çıkışların olmasının istenmemesinin sebebi meydana gelecek olan depremin içeriğinin hiç bilinmemesidir. Bu yüzden, belirli bir bölgede meydana gelmiş olan depremlerin kayıtları yer hareketinin en büyük ivmesine göre normalleştirilmekte, sonra ardından elde edilen eğrilerin ortalaması ve standard sapmaları istatistiksel olarak hesaplanmaktadır. Böylelikle, birbirine yakın periyot değerleri arasında yumuşak geçişlere sahip olan düzgün şekilli bir davranış spektrumu elde edilmektedir. Yönetmeliklerde genellikle her bir bölgeye özgü depremlerin değerlendirilmesi sonucunda oluşturulan ortalama tasarım spektrumu yerine, belirli periyot aralıkları için matematiksel olarak belirlenmiş olan tasarım spektrum eğrileri kullanılmaktadır. Şekil 1.5'te gösterildiği gibi yönetmeliklerde kullanılan tasarım spektrumlarında ivme, hız ve yerdeğiştirmeler belirli periyot aralıklarında sabit olmaktadır [8].

Bir tasarım spektrumu ile tepki spektrumu arasındaki en temel farklılık, tepki spektrumları tek bir depremin hareketi sonucunda belirlenirken, tasarım spektrumları çok sayıda depremin ortalama özelliklerini yansıtmak için hazırlanmaktadır. Tepki spektrumunda tek bir deprem hareketi altındaki sönüm oranı belli olan tek serbestlik dereceli sistemin davranışında görülen en büyük tepkileri gösterdiği için değerlerde ani iniş ve çıkışlar görülebilmektedir. Tasarım spektrum eğrisi ise periyot ve sönüme bağlı olarak sismik tasarım kuvvetini ve yerdeğiştirmesini belirtmektedir. Bunun yanı sıra, tasarım spektrumu eğrisi tanımlanırken farklı konumlardaki depremlerden



Şekil 1.5 NEHRP ve ASCE 7 yönetmeliklerinde kullanılan elastik tasarım spektrumu [8]

etkilenebileceği göz önünde bulundurularak hem yakın hem de uzakta oluşabilecek depremler göz önüne alınmalıdır. Bu durum dikkate alındığında, tasarım spektrum eğrisinin kısa periyottaki değerlerinde yakın mesafedeki depremler belirleyici olurken, yüksek periyotlu değerlerde ise uzun mesafelerdeki depremlerin etkileri hakim olmaktadır [2]. Tasarım spektrumlarına alternatif olarak, ilgili bölgeye özgü olarak bir takım sismik hasar değerlendirmeleri sonucunda elde edilen spektrumlar da kullanılabilir. Bu yöntem ilkinde göre oldukça meşakkatli ve kapsamlı bir veri havuzunun varlığını gerektirmektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 [9]'e göre tasarım spektrumu belirlenirken, deprem yer hareketi düzeyi, sonra yerel zemin sınıfı ve ilgili konumun koordinatları kullanılmaktadır. Bu yönetmelik kapsamında dört farklı yer hareketi düzeyi bulunmaktadır. Bunlar aşağıda verilmektedir.

- **Deprem Yer Hareket Düzeyi-1:** 50 yılda aşılma olasılığı %2, yani tekrarlama periyodu 2475 yıl olan ve meydana gelme ihtimali çok seyrek olan yer hareketidir. Yüksek derecede önem arz eden yapılar bu depreme göre tasarlanmaktadır.
- **Deprem Yer Hareket Düzeyi-2:** 50 yılda aşılma olasılığı %10, yani tekrarlama periyodu 475 yıl olan ve meydana gelme ihtimali seyrek olan yer hareketidir. Genellikle yapılar tasarlanırken bu depreme göre tasarlanmaktadır.
- **Deprem Yer Hareket Düzeyi-3:** 50 yılda aşılma olasılığı %50, yani tekrarlama periyodu 72 yıl olan sıklıkla gerçekleşebilecek olan yer hareketidir.

- **Deprem Yer Hareket Düzeyi-4:** 50 yılda aşılma olasılığı %68, yani tekrarlama periyodu 43 yıl olan meydana gelme ihtimali çok sık olan yer hareketidir. Bu yer hareketi düzeyinin diğer bir adı da servis deprem yer hareketidir.

Ön görülen yer hareketi seviyesi belirlendikten sonra, yapının yapılacağı konumun yerel zemin koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapının yapılacağı bölgedeki zemin profili belirlenerek, yerel zemin sınıfı Tablo 1.1'de gösterilmiş olan uygun sınıf belirlenir. Yerel zemin sınıfı, ilgili bölgenin depremselliğine göre belirlenmiş harita spektral ivme katsayılarının (kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve 1 s periyot için harita spektral ivme katsayılarının (S_1)) tasarım spektral ivme katsayılarına (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve 1 s periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{D1}) dönüştürülmesinde kullanılmaktadır. Tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak tasarım spektrum eğrisinin T_A ve T_B köşe periyot değerleri Denklem (1.16) ve (1.17) ile hesaplanabilir.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1.16)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1.17)$$

bu denklemler ile hesaplanan köşe periyotları tasarım spektrumunun sabit ivme bölgesinde bulunan yatay düz kısmın uzunluğu belirlemektedir ve yerel zemin sınıfı bu uzunluğu etkilemektedir: Yerel zemin sınıfı ZA'dan ZE'ye doğru gittikçe bu düz kısmın genişliği de artmaktadır (Tablo 1.1). Belirlenen tüm parametreler kullanılarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ($S_{ae}(T)$) doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak "g" birimi ile

$$S_{ae}(T) = (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (1.18)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (1.19)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (1.20)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (1.21)$$

denklemleri ile belirlenebilmektedir (Şekil 1.6). Denklem 1.21'deki T_L sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş değeri olup 6 s olarak dikkate alınmaktadır.

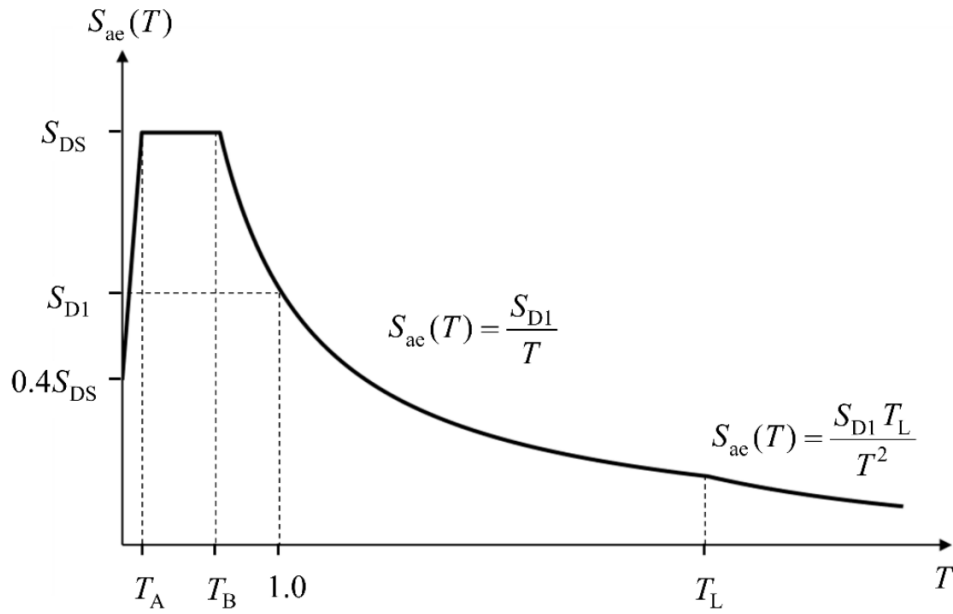
Tablo 1.1 Yerel zemin sınıfları [9]

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Türü	$V_{s,30}$	$(N_{60})_{30}$	$(c_u)_{30}$
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760–1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360–760	> 50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180–360	15–50	70–250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak–katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşıabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (>35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

1.3 Zeminlerin Dinamik Özellikleri

Dinamik bir etki altında olan zeminler, dinamik özelliklerine göre davranmaktadır [10]. Dinamik etki altında zeminlerin birim şekildeğiştirme miktarları çok küçük olsa bile, atalet kuvvetlerinin düzeyi ihmal edilemeyecek düzeyde olabilmektedir. Zeminlerin statik davranışlarında olduğu gibi boşluk oranı, yanal basınç, su içeriği, zeminin gerilme geçmişi, birim şekildeğiştirmelerin seviyesi ve sıcaklık gibi etkenler zeminlerin dinamik özelliklerini de önemli olarak etkilemektedir [11]. Bunlara ek olarak, dinamik yüklemenin hızı, tekrarlama sayısı, süresi gibi etkiler de zeminlerin dinamik özelliklerini etkileyebilmektedir.

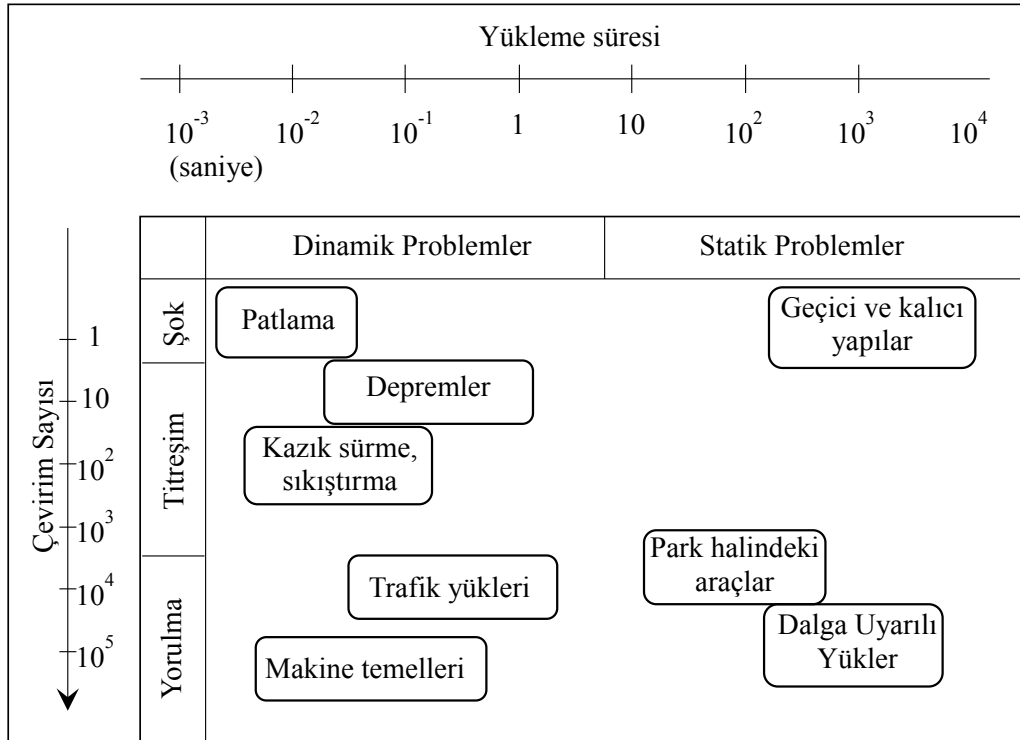
Zeminlerin maruz kaldığı dinamik etkiler denildiğinde öncelikle deprem ile alakalı problemler düşünülse de, bunun yanı sıra çeşitli sebepler zeminlerde dinamik davranışa sebep olabilmektedir. Sıkça karşılaşılan bu etkilerin süreleri ve çevirim



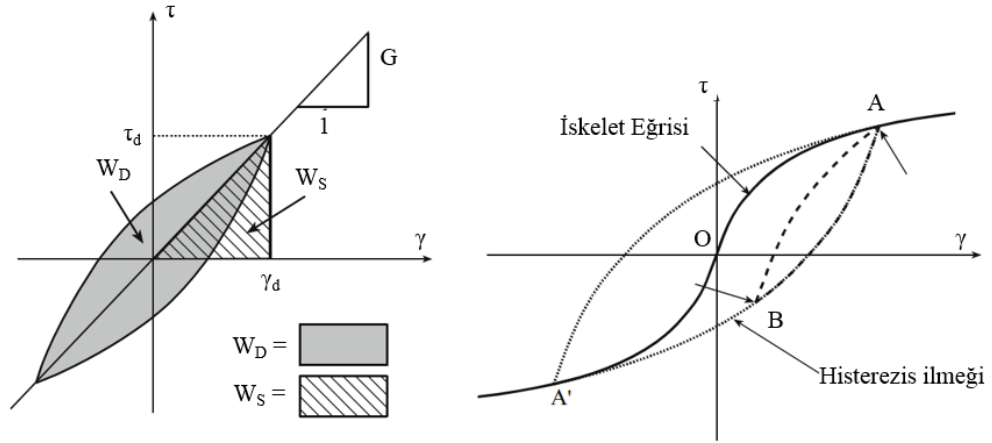
Şekil 1.6 Yatay elastik tasarım spektrumu [9]

sayıları mühendislik açısından değerlendirildiğinde, Şekil 1.7’de gösterildiği gibi genel bir sınıflandırma elde edilebilir [11].

Simetrik ve tekrarlayan bir yük etkisinde olan bir zemin numunesinin kayma birim şekildeğiştirmesi ile kayma gerilmesi arasındaki ilişki Şekil 1.8’de verilmiştir. Bu eğri, zeminin dinamik özellikleri bakımından bir çok önemli bilgileri barındırmaktadır.



Şekil 1.7 Dinamik problemlerin sınıflandırılması [11]



Şekil 1.8 Zeminler için histeretik döngü [6]

Zeminlerin rijitliği artan kayma birim şekildeğiştirmeyle azalmaktadır (Şekil 1.8). Bu durumda, birim şekildeğiştirme seviyesinin küçük olduğu başlangıç durumunda zeminin rijitliği ve iskelet eğrisinin eğimi en büyük değerlerinde olmaktadır. Bu başlangıç durumunda kayma modülü en büyük değerindedir (G_0 ya da G_{max}) ve değeri

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (1.22)$$

denklemleri ile belirlenebilmektedir. Bu denklemdeki ρ zeminin birim hacim ağırlığı, V_s ise zeminin kayma dalgası hızıdır. Zeminin kayma dalgası hızı çeşitli arazi deneyleri sonucunda bulunabilmektedir. Maksimum kayma modülü değerinin küçük birim şekildeğiştirmelerde ($\leq 3 \times 10^{-4}$) aynı kaldığı kabul edilmektedir. Şekildeğiştirmelerin artmasıyla birlikte zeminin kayma modülü değerinde azalma görülmektedir. Bu azalmalar zeminin dane çapına, türüne, plastik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak, zeminlerin kayma modülleri (G) kayma gerilmesinin (τ) kayma birim şekildeğiştirmesine (γ) oranı ile hesaplanabilirken, histeretik döngünün tamamı için ortalama kayma modülü değeri ise

$$G_{sec} = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (1.23)$$

denklemleri ile belirlenebilmektedir. Bu denklemdeki γ_c ve τ_c kayma birim şekildeğiştirmesinin ve kayma gerilmesinin genliğidir [10]. Histeretik döngüden edinilebilecek diğer bir bilgi ise tek bir döngü sonucunda sönmülenen enerjinin

miktardır. Döngünün içerisindeki alan, bir döngü sonucunda sönmölen enerji miktarını göstermektedir ve bu değer kullanılarak zeminin sönmö oranı

$$\zeta = \frac{W_D}{4\pi W_S} = \frac{A}{2\pi G_{sec} \gamma_c^2} \quad (1.24)$$

denklemleri ile belirlenebilmektedir. Bu denklemde W_D sönmölenen enerjiyi, W_S en büyük birim şekildeğistirme enerjisini, A_H ise histeretik döngüsünün alanını belirtmektedir.

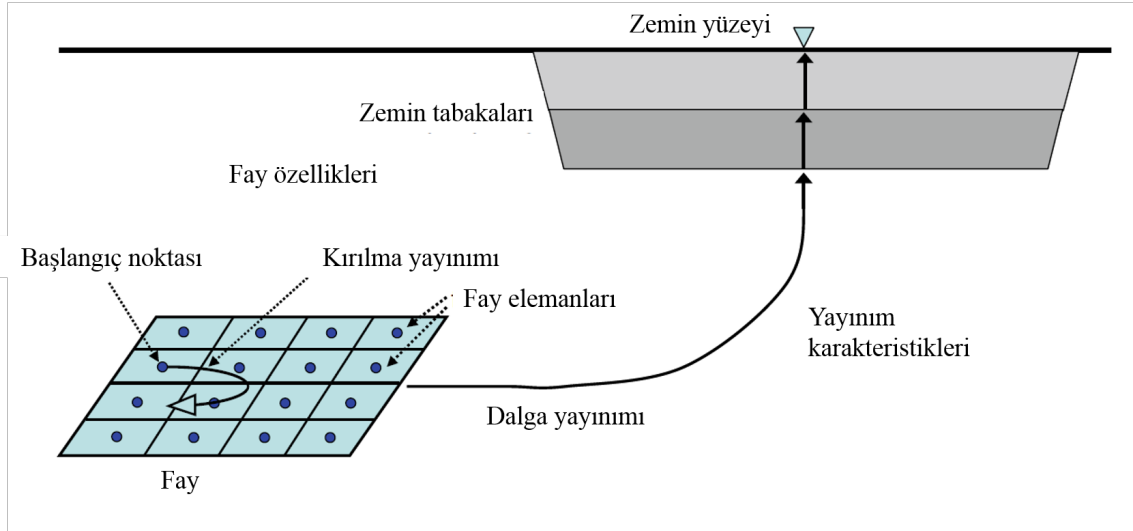
Young modöülü ve kayma modöülü genellikle beton ve çelik gibi malzemelerin elastik davranışlarını açıklamakta kullanılmaktadır. Örneğin, Young modöülü aksel birim şekildeğistirme ile aksel gerilmeler arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir katsayıdır olarak kullanılmaktadır. Fakat zemin gibi malzemelerde malzeme davranışı daha karmaşık olduğu için, tek bir parametre ile tüm davranış tanımlanamamaktadır. Bu sebeple, ilgili problemin çözümü için gerekli zemin özelliklerinde oluşun değişimler göz önüne alınır. Zeminler için kayma modöülü ile elastisite modöülü arasındaki ilişki

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (1.25)$$

denklemleri ile verilmektedir. Bu denklemdeki E elastisite modöülü ve ν ise Poisson oranıdır.

1.3.1 Yer Tepki Analizleri

Yer tepki analizleri transfer fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Transfer fonksiyonu, herhangi bir sisteme yerdeğistirme, hız, ivme biçiminde uygulanan bir girdi hareketi sonucunda ilgili sistemin harekete sonucunda vereceği tepkilerin bulunmasını sağlayan fonksiyonlardır [10]. Geoteknik deprem mühendisliğinde girdi olarak anakaya hareketi, sistem olarak ise zemin profili dikkate alınmaktadır. Yer tepki analizlerinin transfer fonksiyonuyla gerçekleştirilebilmesi için öncelikle zamana bağlı olan girdi hareketinin Fourier dönüşümüyle frekans ortamına dönüştürölmesi gerekmektedir. Daha sonra, Fourier serisindeki her bir ilgili frekansa karşılık gelen transfer fonksiyonu değeri ile çarpılmaktadır. Böylece sistemin girdi hareketi sonucunda elde edilen tepkisi frekans ortamında elde edilmiş olmaktadır. Bu çıktı hareketi ters Fourier dönüşümüyle frekans tanım alanından zaman tanım alanına dönüştürölmektedir. Transfer fonksiyonları zeminin sönmöüne, zemin altındaki anakayanın rijit ya da elastik olmasına bağlı olarak değişmektedir. Bir boyutlu yer tepki analizlerde, anakayanın zemin yüzeyine paralel olduğu ve zeminin yüzeyinde



Şekil 1.9 Deprem dalgalarının zemin içinde yayılımı [12]

herhangi bir kazı ya da yapının olmadığı varsayılmaktadır [10]. Elastik kaya üzerinde bulunan, sönümlü zeminler için transfer fonksiyonu

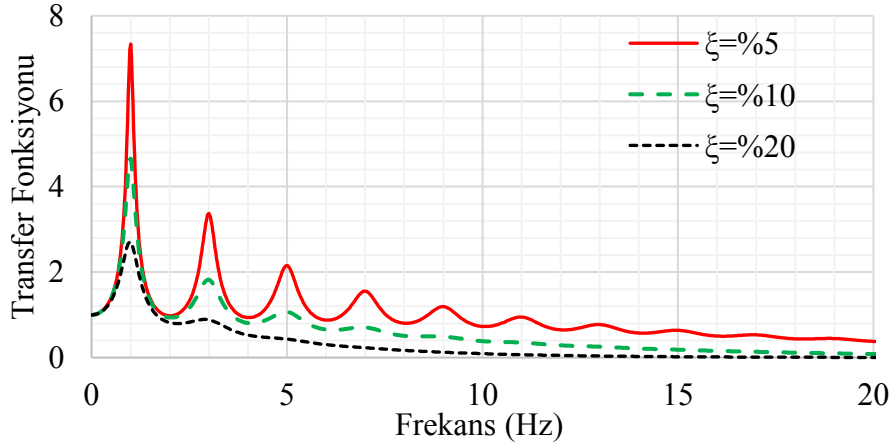
$$F(\omega) = \frac{2}{(1 + \alpha_z^*)e^{ik_s^*H} + (1 - \alpha_z^*)e^{-ik_s^*H}} \quad (1.26)$$

denklemleri ile verilmektedir. Bu denklemdeki k_s^* kompleks dalga sayısını, α_z kompleks empedans oranını, H ise zemin tabakasının yüksekliğini belirtmektedir. Şekil 1.10'da, 50 m yüksekliğinde, $V_s = 200m/s$ olan elastik anakaya üzerinde bulunan %5, %10 ve %20 sönüm oranlarına sahip olan zeminlerin transfer fonksiyonlarının frekansla olan değişimi gösterilmektedir. Sönüm oranlarının transfer fonksiyonlarının genlikleri üzerinde önemli etkisi olmasına rağmen, tüm transfer fonksiyonlarının yerel en büyük değerlerine aynı frekanslarda eriştiği görülmektedir. Transfer fonksiyonunun yerel olarak en büyük değerlerine karşılık gelen frekanslara doğal frekanslar denilmektedir. Bir zeminin n.nci ($n=1,2, \dots$) doğal frekansı

$$\omega_n = \frac{V_s}{H} \left(\frac{\pi}{2} + n\pi \right) \quad (1.27)$$

denklemleri ile belirlenebilmektedir [10].

Transfer fonksiyonları doğrusal sistemlerin analizinde kullanılabildiği gibi, bazı yaklaşımlarla birlikte doğrusal olmayan sistemlerin yer tepki analizlerinde de kullanılabilmektedir. Ancak bu durumda, zemin tepkisinin elde edilebilmesi için bir kaç iterasyon yapılması gerekmektedir. Bu sistemlerin yer tepki analizlerinin



Şekil 1.10 Aynı zeminin farklı sönüm oranları için transfer fonksiyonunun frekansla değişimi

yapılabilmesi için, ilgili zeminin kayma modülünün ve sönüm oranı birim şekildeğiştirme ile olan değişiminin bilinmesi gerekmektedir.

Denklem (1.26), anakaya ile serbest zemin yüzeyi arasında yazılmış olsa da, zemin içerisindeki herhangi bir derinlik için yeni transfer fonksiyonları elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra bazı durumlarda, anakaya hareketi yerine serbest yüzey hareketi mevcut olabilmektedir. Böyle durumlarda, serbest yüzey hareketi kullanılarak anakaya hareketi bulunabilmekte ve bu işlemlere dekonvolüsyon denilmektedir [10].

1.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, çeşitli mühendislik yapılarının analizinde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Bu yöntem katı cisimlerin, mekanik sistemlerin, ısı transferi problemlerinin ve akışkanların mühendislik hesaplarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılması özellikle bilgisayarın hesaplama kapasitelerindeki ilerlemeler sonucunda oldukça yaygınlaşmıştır.

Analitik çözümler, bir sistemin üzerinde bulunan sonsuz noktalardan herhangi birine ait istenilen bir ya da birden çok bilinmeyen hesaplanmasını sağlayan matematiksel ifadelerdir ve tüm sistem üzerinde sonsuz sayıda konum için geçerli olmaktadır. Analitik çözümler için adi veya kısmi diferansiyel denklemin çözümü gerekmektedir. Analitik çözümlerde sınır şartlarının sağlanması mutlak sonucun elde edilmesini sağlamaktadır. Fakat, karmaşık geometri, yükleme ve malzeme özellikleri içeren sistemlerde bu diferansiyel denklemler oluşturulamadığı için ya da çözümünün çok zaman gerektirmesi sebebiyle analitik çözüm tercih edilmemektedir [13]. Bu sebeple, çözümlerin yapılamadığı karmaşıklıkta sistemlerin analizlerinde, diferansiyel denklemleri temsil eden integral ifadeler olan fonksiyoneller kullanılmaktadır.

Fonksiyoneller, bağımsız değişkeni bir fonksiyon olan ifadelerdir. Tanımlanan bu fonksiyoneller, sistemin sınır şartlarını sağlarken denge denklemlerinin ve diğer şartların da yaklaşık olarak sağlanabildiği çözümlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Sistemin çözümünde kullanılan diferansiyel denklemlere güçlü bağlantılar, integral ifadeler ise zayıf bağlantılar olarak tanımlanmaktadır.

Bir problemin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü için diferansiyel denklemlerin çözümü yerine matematiksel eşitliklerin çözümlerinin eşzamanlı olarak yapılması gerekmektedir. Bu çözümler sürekli ortam içerisindeki belirli sayıdaki nokta için bilinmeyen değerlerin çözümü sağlanmaktadır. Böylece, sonlu elemanlar yöntemi ile analizi gerçekleştirilen hacim birbirleriyle düğüm noktalarından bağlı olan küçük parçalara bölünerek (sonlu elemanlar) ayrıştırılmaktadır. Sonrasında, tüm bir hacmi tek bir işlemde çözmek yerine, her bir sonlu eleman için oluşturan denklemler birleştirilerek tüm sistemin çözümü elde edilmektedir. Yapısal sistemlerin çözümü, her bir düğüm noktasındaki yerdeğiştirmelerin ve ele alınan hacmi meydana getiren sonlu elemanların gerilmelerinin hesaplanması olarak tanımlanabilmektedir [14]. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapıların çözüm yöntemleri aşağıda verilmektedir.

Doğrudan çözüm yöntemleri

Bu çözüm yöntemi anlaşılabilirlik bakımından en açık yöntemdir, fakat çözümü bir boyutlu elemanlarla (yay, kiriş, çerçeve vb.) kısıtlıdır. Temel olarak iki farklı yaklaşım vardır: Kuvvet (esneklik) yöntemi ve yerdeğiştirme (rijitlik) yöntemi. Kuvvet yönteminde iç kuvvetler bilinmeyen olarak dikkate alınmaktadır. Korunum denklemleri, öncelikle denge denklemleriyle elde edilmekte, daha sonra ek denklemler uygunluk şartlarıyla bulunabilmektedir. Yerdeğiştirme yönteminde ise, düğüm noktalarındaki bilinmeyen yerdeğiştirmelerin uygunluk şartlarını sağlaması sonrasında, denge denklemleri kullanılarak korunum denklemleri oluşturulmaktadır. Bu iki yöntemdeki bilinmeyenler farklı olduğu için, korunum denklemlerinde oluşturulan matrislerde farklı olmaktadır. Yerdeğiştirme yöntemi hesaplama açısından daha basit olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Değişimsel Yöntemler

İki ve üç boyutlu elemanlarda değişimsel yöntemler doğrudan çözüm yöntemlerine göre daha elverişli olmaktadır. Fakat bu yöntemde rijitlik ve bununla ilişkili eleman denklemlerine bağlılığı en aza indiren fonksiyoneller gerekli olmaktadır. Yapısal problemlerin çözümünde, virtüel iş yöntemi, minimum potansiyel enerji prensibi ve Castigliano teoremi yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Minimum potansiyel enerji yöntemi ve Castigliano yöntemi elastik malzemeler için uygulanabilirken,

virtüel iş yöntemi herhangi bir davranıştaki malzeme için uygulanabilmektedir. Doğrusal davranan malzemeler için her üç yöntem de aynı eleman denklemlerini sağlamaktadır. Minimum potansiyel enerji yöntemi yapısal gerilme analizlerinin haricinde eleman rijitlik ve denklemlerin elde edilmesi bakımından diğer yöntemlere göre daha uygundur.

Ağırlıklı Kalanlar Yöntemi

Ağırlıklı kalanlar yöntemi ile, sonlu elemanlar yöntemi varyasyon prensibine gerek kalmadan, herhangi bir diferansiyel denkleme doğrudan uygulanabilmektedir. Bu yöntemde kullanılan en yaygın yaklaşım Galerkin yaklaşımıdır. Enerji yöntemlerinin uygulanabilir olduğu problemlerde, bu yöntemlerle enerji yöntemleri aynı sonucu vermektedir. Bu yöntem özellikle potansiyel enerji gibi bir fonksiyonel ifade elde edilemediği durumlarda kullanışlı olmaktadır.

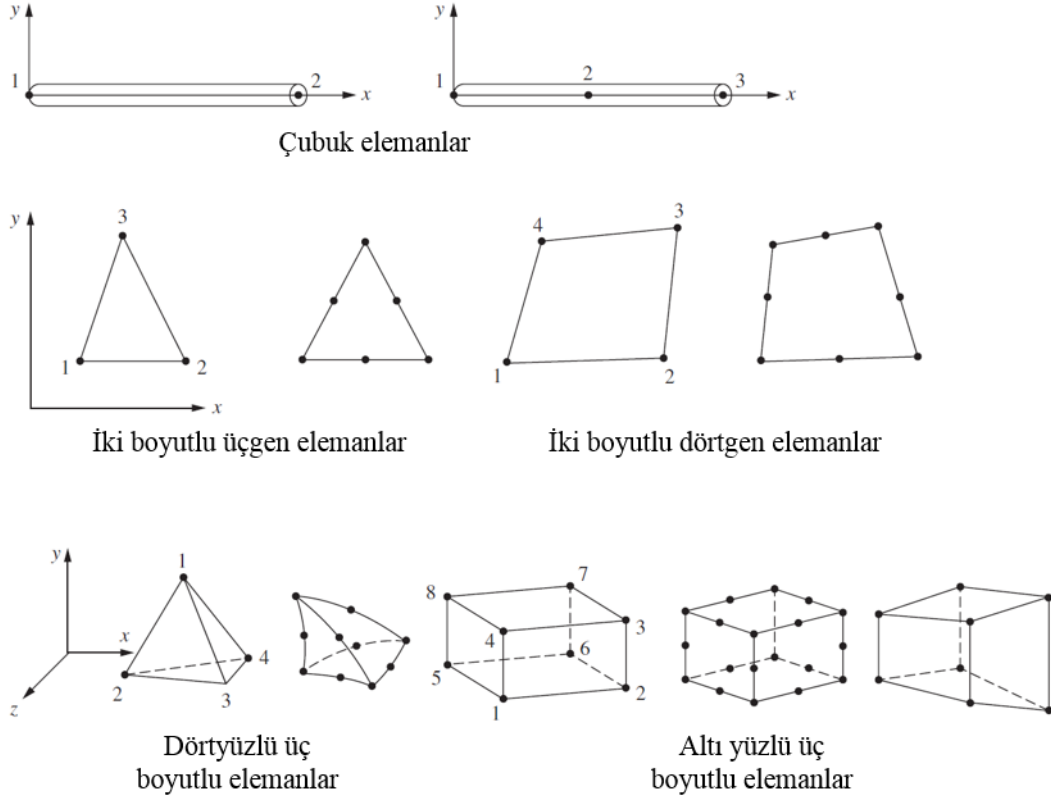
Bir sistemin sonlu elemanlar yöntemi ile analizinin gerçekleştirilebilmesi için izlenen yol aşağıda verilmektedir.

- Ayrıklaştırma ve eleman tiplerinin seçimi

Analiz edilecek olan sistem sonlu elemanlara ayrılır ve beklenen davranışa en uygun olan eleman tipi seçilir. Mühendislik açısından, bir sistem sonlu elemanlara ayrılırken, toplam eleman sayısı, eleman boyutlarının değişimi ve tipleri başlıca mühendislik konularındandır. Sonlu elemanların boyutları sistemin davranışını yansıtabilecek kadar küçük, hesaplama yükünü arttırmayacak kadar da büyük olmalıdır. Özellikle sonuçların ani olarak değiştiği kısımlarda küçük elemanlar, sonuçların neredeyse sabit olduğu kısımlarda ise nispeten büyük sonlu elemanlar kullanılabilir. Sonlu eleman boyutunun daha iyi tayin edilmesi için, bazı yakınsama çalışmalarının yapılması gereklidir. Sonlu eleman türünün seçimi tamamen yükleme durumuna uygun olan davranışa göre yapılmaktadır. Ele alınan sistemin bir, iki ya da üç boyutlu olarak idealleştirmelerden hangisinin daha uygun olduğu da modelleme yapılırken düşünülmesi gereken önemli bir noktadır. Yaygın olarak kullanılan eleman tipleri Şekil 1.11'de verilmektedir. Bu şekilde verilen elemanlardan bazılarında düğüm noktası sayısı benzer elemanlara göre daha fazla olduğundan elemanın içerisinde bulunan noktalarda da sonuçlar elde edilebilmektedir.

- Şekildeğiştirme fonksiyonunun seçilmesi

Bu adımda her bir sonlu eleman içerisindeki yerdeğiştirme fonksiyonu seçilmektedir. Bu fonksiyon düğüm noktalarındaki değerleri kullanarak



Şekil 1.11 Yaygın olarak kullanılan sonlu eleman türleri [14]

tanımlandığından genellikle sonlu elemanlar formüllerinde çalışılması kolay olduğu için doğrusal, ikinci derece, üçüncü derece polinomlar şeklindeki fonksiyonlar kullanılmaktadır. İki boyutlu bir elemanda, yerdeğiştirme fonksiyonu elemanın bulunduğu düzlemdeki koordinat değerlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonlar düğüm noktalarındaki bilinmeyen terimlerle birlikte yazılmaktadır. Her bir eleman için genel yerdeğiştirme fonksiyonu kullanılarak işlemler tekrarlanmaktadır. Böylelikle, sistemdeki yerdeğiştirmeler her bir eleman için parçalı olarak sürekli fonksiyon setleri ile tanımlanmış olmaktadır.

- Birim şekildeğiştirme yerdeğiştirme ve gerilme birim şekildeğiştirme ilişkilerinin tanımlanması

Her bir elemandaki denklemlerin çözümü için gerilme şekildeğiştirme ilişkilerinin tanımlanması gerekmektedir. Bir boyutlu elemanlarda küçük şekildeğiştirmeler için, x yönündeki ε_x birim şekildeğiştirmesi ile u yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (1.28)$$

denklemleri ile verilmektedir. Ayrıca, elemanlardaki gerilmeler gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri ile hesaplanabilmektedir. Malzemenin davranışının doğruluğunun kabul edilebilir olması sonuçları etkileyen en önemli etkenlerdendir. En basit gerilme-şekil değiştirme ilişkisi gerilme analizlerinde sıkça kullanılan ve

$$\sigma_x = E \varepsilon_x \quad (1.29)$$

denklemleri ile verilen Hooke yasasıdır. Bu denklemdeki σ_x x yönündeki gerilme, E ise malzemenin elastisite modülüdür.

- Eleman rijitlik matrisi ve eşitliklerinin türetilmesi

Elemanların rijitlik matrisleri oluşturulurken, elemanın ve ilgili düğüm noktasının serbestlik derecesi ve rijitliğine etki eden etmenler dikkate alınmaktadır. Sistemdeki bilinmeyenler uygun olan çözüm yöntemi kullanılarak elemanın davranışı matris formunda

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \cdots & k_{3n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ k_{n1} & & & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (1.30)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu ifade

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad (1.31)$$

şeklinde de yazılabilmektedir. Bu denklemdeki $\{f\}$ düğüm noktası kuvvetlerinin vektörü, $[k]$ eleman rijitlik matrisi ve $\{d\}$ bilinmeyen düğüm noktası serbestlikleri ya da genelleştirilmiş yer değiştirme vektörüdür. Genelleştirilmiş yer değiştirmeler, gerçek yer değiştirme, eğim ya da eğrilikleri de içerebilmektedir.

- Genel denklemlerin elde edilmesi için eleman denklemlerinin bir araya getirilmesi ve sınır koşullarının tanımlanması

Bu adımda, önceki adımda oluşturulan eleman denklemleri bir araya getirilerek genel matrisin oluşturulması gerçekleştirilmektedir. Elemanlar bir araya getirilirken, parçalar arasında uyumsuzluk ya da herhangi bir süreksizlik olmamalıdır. Birleştirme sonucunda elde edilen genel denklem

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (1.32)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu denklemde, bu denklemdeki $\{F\}$ genel düğüm noktalarının kuvvet vektörü, $[K]$ ele alınan sistemin genel rijitlik matrisi ve $\{d\}$ ele alınan sistemin düğüm noktalarındaki bilinen ve bilinmeyen serbestlikleri içermektedir. $[K]$ matrisi tekil matris olup, determinant değeri sıfıra eşittir. Tekillik probleminin çözülmesi için, sınır koşullarının tanımlanarak rijit cisim hareketinin önlenmesi gerekmektedir. Bilinen kuvvetler $\{F\}$ genel kuvvet matrisinin içerisinde dikkate alınmalıdır.

- Denklemin bilinmeyen serbestlikler için çözümü

Genel denklemlerin oluşturulması ve sınır koşullarının tanımlanmasıyla birlikte, Denklem (1.30)

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \vdots \\ F_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & \cdots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \cdots & K_{2n} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & \cdots & K_{3n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ K_{n1} & & & \cdots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} \quad (1.33)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemdeki "n" bilinmeyen toplam serbestlik derecesidir. Bu denklemde bulunan "d" değerleri Gauss yöntemi ya da çeşitli iterasyon yöntemleriyle elde edilebilmekte ve bu elde edilen değerler rijitlik ya da yerdeğiştirme yöntemleriyle bulunan ilk terimler olduğu için bunlara başlıca bilinmeyenler denilmektedir.

- Eleman Birim şekildeğiştirmelerininve gerilmelerinin hesabı

Yapısal gerilme analizlerinde, gerilmeler ve birim şekildeğiştirme değerleri yerdeğiştirmeler ile ifade edildiği için doğrudan bulunabilmektedir.

- Sonuçların yorumlanması

En son adımda, gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarının gerçekleştirildikleri tasarım ya da değerlendirme amacına uygun bir şekilde değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu sayede, elemanın hangi noktasında gerilme yığılımlarının meydana geldiği, gerilme değerlerinin ve yerdeğiştirmelerin güvenli sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı gibi hususlar çözüme kavuşturulmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yaparken öncelikle problemin tanımlanarak ona uygun şekilde sınıflandırılması (problemin zamana bağlılığı, doğrusallığı, problem

statik ya da dinamik olması, ne kadarlık bir çözüm hassasiyeti gerektiği vb.) gerekmektedir. Sonrasında, davranışın tanımlandığı, uygun sınır ve malzeme şartlarının tanımlandığı matematiksel model oluşturulmaktadır. Bu matematiksel modeli oluştururken geometride, yüklerde, malzemede ve sınır koşullarında uygun şekilde bazı basitleştirmeler yapılabilmektedir. Oluşturulan matematiksel model, sonlu eleman ağına bölünerek ayrıklaştırılmaktadır. Böylelikle tamamen sürekli olan ortam, sonlu sayıda elemanla ve düğüm noktasıyla temsil edilebilmektedir. Elde edilen model sonuçları ile gerçek sonuçlar arasındaki farklılıklar bulunur, bunların sebebi matematiksel model hataları ve ayrıklaştırma hatalarıdır. Matematiksel model hataları, sistemin idealleştirilmesi ve kullanılan denklemlerle ilgiliyken, ayrıklaştırma hataları ise toplam sonlu eleman sayısının olması gerekenden daha az seçilmesiyle ilgili olmaktadır. Bu sebeple, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yaparken, farklı boyuttaki elemanlardan oluşturulmuş olan modellerin sonuçlarının dikkate alınarak yakınsama analizlerinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Matematiksel modelin ayrıklaştırılmasından sonra, sonlu elemanlar analizinden önce, ele alınan problem ön analizlerle oluşturulan modellerin uygunluğu açısından kontrol edilmelidir. Oluşturulan modelin doğruluğundan emin olduktan sonra, analiz yapılması gerekmektedir. En son adım olarak da, elde edilen sonuçların doğruluğu ve değerlendirmesi gerçekleştirilmektedir [15].

Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapıldığında, ayrıklaştırma sırasında oluşturulan düğüm noktalarında istenilen sonuçlar elde edilmektedir. Bir düğüm noktasının yapabildiği yerdeğiştirmelerin sayısına serbestlik derecesi denilmektedir. Karşılaşılan bir problem 3 boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemiyle çözülebilmektedir. Bu çözüm geometrik açıdan en gerçek çözüm olmakla birlikte, gereğinden fazla serbestlik tanımlandığı için hesaplama açısından fazla zaman gerektirmektedir. Bu sebeple, analizlerde problem için gerekli sayıda serbestliklerin tanımlanabildiği eleman tiplerinin kullanılması gereklidir. Örneğin, bir kablo problemi analiz edileceği zaman 3 boyutlu eleman yerine 1 boyutlu elemanların kullanılması sonuçlar açısından çok farklılık oluşturmamasına rağmen hesaplama zamanı bakımından büyük avantaj sağlamaktadır [15].

1.5 Zemin Sınırlarının Tanımlanması

Sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilirken, yapıların altında ve çevresinde bulunan sonsuz genişlikte olan zeminin yapı davranışındaki etkilerini dikkate alabilmek için oluşturulan modellerde zeminin de dikkate alınması gerekmektedir. Ancak, sonsuz genişlikte olan zemin ortamının tamamının modellerde dikkate alınması gerekli olmamaktadır. Bu sebeple, dikkate alınacak yükleme

durumuna göre zemin sınırları için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımların temelinde, yatay sınırlardan ilerleyen dalgaların geri yansımaması ve modelin yanıl sınırlarında gerilme dengesi sağlanması bulunmaktadır. Yapı ve zemin statik yükler etkisinde analiz edileceği zaman, yapıdan dolayı zemin içerisinde oluşan etkilerin ortadan kalktığı mesafedeki zeminin dikkate alınması yeterli olmaktadır ve bu bölgenin sınırlarındaki elemanların düğüm noktaları tam tutulu ya da serbest bir şekilde olması yeterli olmaktadır. Ancak, dinamik durumlar söz konusu olduğunda, tutulu sınırlar sismik dalgaların sonsuz zemin ortamında dağılımı için gerekli koşulları sağlayamadığı için kullanılamamaktadır. Ötelenemeye karşı tutulu olarak tanımlanan ve gelen dalgaların iletilemeyerek geri yansıdığı sınırlar geçirgen olmayan sınırlar olarak tanımlanmaktadır. Dinamik etkiler söz konusu olduğunda, zemin sınırları zeminden dışarı yönde ilerlemesi gereken bazı dalgalar sınırdan yansiyarak zemine geri dönmekte ve yapının gerçekte olmayan ek dalgaların etkisinde kalmasına neden olabilmektedir. Sonlu elemanlar kullanılarak gerçekleştirilen yapı-zemin etkileşimi analizlerinde, ele alınan problemin anlamlı sonuçlar verebilmesi için ya bu dalgaların sisteme geri dönmesi engellenmeli ya da dikkate alınan yapılara ulaşana kadar sönümlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, yapılabilecek çözümlerden birisi zemin genişliğinin yani sınırlarının ilgili yapıdan yeteri kadar uzaklıkta konumlandırılması ve sınırlardan yansiyabilecek olan dalgaların zeminin sönümü sayesinde zemin içerisinde etkisinin kaybedilmesinin sağlanmasıdır. Buna alternatif olarak, yakın ve uzak sınırlar arasında bahsi geçen etkileşim kuvvetlerini üretebilen sınırlar da tanımlanabilmektedir. Diğer taraftan, sınırsız bir bölgenin bir kısmının modellenmesine izin veren ve sınırlarına gelen dalgaların geri yansıması yerine iletildiği sınırlar da bulunmaktadır. Bu tür sınırlar sönümleyici ya da geçirgen sınırlar olarak isimlendirilmektedir.

Tüm bu sınır koşulları zemin ortamının sınırlandırıldığı düşey yüzeylere tanımlanarak zeminin modele uygulanan etki altında uygun bir davranış göstermesi için tanımlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan başlıca sınır koşulları aşağıda verilmektedir.

- Serbest sınırlar: Zemin sınırlarına herhangi bir koşul tanımlanmaz ve buradaki düğüm noktaları serbest halde durduğu sınırlardır.
- Tutulu sınırlar: Zemin modelinin her iki tarafındaki düşey sınırlar birbirlerine bağlı olarak yatay doğrultuda bazen de düşey doğrultuda hareketinin önlenildiği sınırlardır. Genelde statik analizler için kullanılırken, yapıdan yayılan dalgaların yayılım problemlerinde de kullanılabilirlerdir.
- Bağlı sınırlar: Aynı seviyede bulunan düğüm noktalarının yatay ve düşey olarak aynı hareketi yaptıkları kabul edilerek bu yönlerde birbirlerine bağlandığı

sınırlardır [16]. Zeminin sadece kayma yönünde çalışması sağlanarak serbest zemin hareketine uygun davranması sağlanabilmektedir. Eğer sınırlar zemin üzerindeki yapılardan yeteri kadar uzaklıkta alınır, yapının zemin davranışı üzerindeki etkileri ihmal edilebilir.

- Geçirgen sınırlar: Zemin sınırlarına ulaşan dalgaların enerjilerinin kullanılan sönümleyici elemanlarla yok edilmesinin sağlandığı sınırlardır. Bu elemanlar sönümleyici elemanlar olabileceği gibi sonsuz elemanlar da olabilmektedir.

Tüm bu sınırlar doğrusal davranan zemin malzemesi durumlarında kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan geçirgen sınır türü viskoz sınırlardır. Viskoz sınırlarda, zemin sınırlarına sönümleyici elemanlar eklenir, böylece yakın bölgedeki elemanların uzak bölgedeki davranışı yapmaları sağlanır. Elastik dalgaların yayılımı sırasında oluşan gerilmeler bu sönümleyiciler vasıtasıyla oluşturulmaktadır. Kayma dalgası sebebiyle zeminde oluşacak olan gerilme

$$\tau = \nu\rho V_S \quad (1.34)$$

denklemleri ile verilmektedir. Bu denklemlerdeki ρ zeminin birim hacim ağırlığı, V_S zeminin kayma dalgası yayılma hızıdır. Zemin içerisinde basınç dalgası sebebiyle meydana gelecek olan normal gerilme ise

$$\sigma = \nu\rho V_p \quad (1.35)$$

denklemleri ile verilmektedir. Bu denklemlerdeki V_p zeminin basınç dalgası yayılma hızıdır. Zemin sınırlarına atanacak olan sönümleyici elemanların sönüm katsayıları, sönüm atanan elemanda oluşacak olan etkiye bağlı olmaktadır. Zemin sınırlarında normal ve kayma doğrultusundaki elemanlar için tanımlanması gereken sönüm özellikleri

$$\beta_p = \rho V_p \quad (1.36)$$

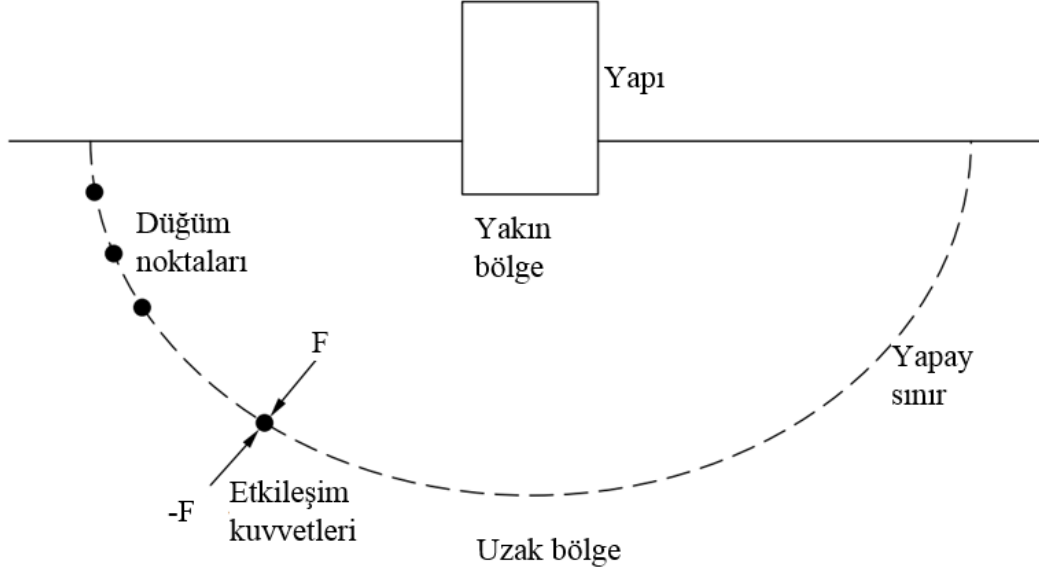
$$\beta_s = \rho V_S \quad (1.37)$$

denklemleri ile verilmektedir. Zemin sınırlarına tanımlanması gereken eleman sayısı modellemede kesintiye uğrayan elemanın boyutuna ve üzerindeki etkiye bağlı olmaktadır: Doğrusal eksen boyunca yük etkisindeki tek boyutlu bir çubuk

eleman dikkate alındığında tek bir sönümleyici yeterli olurken, üç boyutlu bir zemin sınırındaki her bir düğüm noktasında biri sınıra dik diğer ikisi paralel olmak üzere üç adet sönümleyici eleman tanımlanması gerekmektedir. Bu sönümleyicilerin özellikleri belirlenirken, sönümleyicinin konumuna göre V_s ya da V_p dalga hızları kullanılmaktadır. Bu sınır türü ilk olarak Lysmer ve Kuhlemeyer [17] tarafından yayılan bu dalgaların sönümlenebilmesi için bir doğrultuda dalga yayılım probleminde göre katsayıları belirlenen sönümleyici elemanlar kullanarak sanal sınırların oluşturulması amacıyla önerilmiştir. Elemanların özellikleri sönümleyicinin yönüne göre belirlenmektedir. Bu sönümleyici elemanlarla sınırlara ulaşan dalgalar dik açıyla gelirse, eğik açıyla gelmelerine göre daha fazla oranda sönümlenebilmektedir [18]. Zemin sınırlarına sönümleyici elemanların tanımlandığı 2 ve 3 boyutlu modellerde, yüzey dalgalarının etkileri sebebiyle hatalar oluşabilmektedir. Ayrıca, viskoz sınırların uzayda statik olarak belirsiz olması, rijit cisim hareketi yapabilmesi ve iç kaynak sorunu sebebiyle düşük frekanslı etkiler altında kalıcı yerdeğiştirmeler de yapılabilmektedir [19] [20].

Uyumlu sınır koşulları uygulandığında, yakın bölge ile uzak bölge arasındaki etkileşim kuvvetleri sınır koşulu olarak tanımlanmaktadır. Tanımlanan bu yapay sınır, sınırlı yakın bölge ile sınırsız olan uzak bölgeyi birbirinden ayırmaktadır (Şekil 1.12). Bu amaçla, bu etkileşim kuvvetleri yakın bölgesinin sınırında yerdeğiştirme fonksiyonları olarak belirlenerek yakın bölgenin dışına dalgaların yansıma yapmadan geçmesi sağlanır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılması kapsamında, rijit bir temel üzerinde bulunan yatay tabakalardan meydana gelen zemin sisteminin düşey sınırları oluşturduğu varsayılmakta ve uzak bölgedeki dalgaların Rayleigh ve Love dalgaları olduğu kabul edilmektedir. Uzak zemin içerisindeki kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi frekansa bağlı olduğu için, bu tür sınırlar sadece frekans tanım alanında çözümler yapıldığı zaman kullanılabilir.

Zeminin sınırlarında oluşan yerdeğiştirmeler serbest arazi durumundaki yerdeğiştirmelere eşit olmalıdır. Bunun için zemin sınırlarına bir yaklaşım olarak serbest zemin kolonları uygulanabilir. Böylelikle zeminin sınırlarında tanımlanmış olan kolonlarda yer tepki analizlerinden elde edilen davranışa benzer bir davranış elde edilebilmektedir. Zemin kolonları ana modelle birlikte analiz edilir, böylece analiz esnasında serbest arazi durumuna karşılık gelen kolonlardaki etkiler modele uygulanmaktadır. Bu kolonlar ile zemin arasındaki hareket geçişi tek yönlü olarak tanımlanabildiği için kolonlar zemin kütlelerini sınırlardan harekete geçirirken zemin kolonlarının hareketlerinde dikkate değer herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Bu yöntemle sınır tanımlanırken, ana modelle zemin kolonlarının düğüm noktaları aynı koordinatlarda olması gerekmektedir. Hesaplamalarda kolaylık sağlamak amacıyla, zemin kolonlarındaki yerdeğiştirmeler ana zemin modelinden



Şekil 1.12 Yakın ve uzak bölgeler ve yapay sınırlar [18]

ayrı olarak hesaplanmakta ve elde edilen bu yerdeğişirmeler ana zeminin yan sınırlarından sınır koşulu olarak uygulanabilmektedir.

Zeminin sınırlarına sonsuz elemanlar tanımlanarak çözüm yapılması halinde, zemin ortamı belirli bir yere kadar sonlu elemanlarla modellenmektedir. Sürekli zemin ortamını temsil eden sonsuz elemanlar ise yanal sınırlara tanımlanmaktadır. Sonsuz elemanlarda sonlu elemanlara göre farklı olan şekil fonksiyonlarıdır. Sonsuz elemanların formüllerinde dalgaların ilerlemesiyle birlikte faz gecikmesi ve genliklerin azalması dikkate alınmaktadır [21]. Böyle bir hareketin tanımlanabilmesi için şekil fonksiyonunun uzak bölge karakteristiklerini taşıması gerekmektedir, örneğin yerdeğişirmelerin sonsuz uzunlukta yok olması gibi. ξ doğrultusunda sonsuza uzanan bir sonsuz elemanın şekil fonksiyonu,

$$N'_j(\xi, \eta) = N_j(\xi, \eta)e^{-ik_w\xi(\xi_1-\xi)/L} \quad (1.38)$$

denklemleri ile tanımlanabilir. Bu denklemde $N_j(\xi, \eta)$ geleneksel elemanın şekil fonksiyonu, k_w zemin içerisindeki dalga numarası, L ölçeklendirme uzunluğudur. Bu denklemdeki üstel ifade içerisinde bulunan ilk $-ik\xi$ terimi zemin içerisinde yayılan dalganın temel şeklini tanımlarken, $(\xi_1 - \xi)$ terimi ise ξ değerinin sonsuza gitmesiyle birlikte değişkenlerin sifıra ulaşmasını sağlamaktadır. Sonlu elemanlarla modellenmiş olan zemin sınırlarının sonsuz elemanlar tanımlanması ANSYS programı ile yapılabilmektedir. Bu programda sonsuz elemanların modellenmesi için üç farklı kaynak kullanılmaktadır: Lysmer ve Kuhlemeyer [17], Zienkiewicz vd. [22], Marques

ve Owen [23]. ANSYS programında sonsuz ortamı idealleştirmek için kullanılan sonsuz eleman (INFIN257) statik ve dinamik analizlerde farklı özelliklere sahiptir. Bu çalışma kapsamında, statik analizlerden ziyade dinamik analizler dikkate alınacağı için, ilgili elemanın dinamik özelliklerinden kısaca bahsedilecektir. Sonsuz bir cismin herhangi bir noktasına ani bir yükleme yapıldığında, bu yük tüm cisimde aniden etki meydana getirmemekte, bunun yerine gerilmeler ve yerdeğıştirmeler dalgalar şeklinde yayılmaktadır. Bu durumda, denge denklemleri hareket denklemleri ile değıştirilmelidir [24]. Elastik bir cisimdeki denge denklemi

$$\rho \ddot{u}_i = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \quad (1.39)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemde ρ birim ağırlık, \ddot{u} parçacık ivmesi, x ise parçacığın konumudur. Bu denge denklemi izotropik, doğrusal elastik bir malzeme için Lamé sabitleri türünden ($\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ ve $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$)

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} + 2G \varepsilon_{ij} \quad (1.40)$$

şeklinde yazılabilmektedir ve ilgili birim şekildeğıştirme-yerdeğıştirme ilişkisi

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (1.41)$$

denklemi ile ifade edilebilmektedir. Denklem (1.41), Denklem (1.40)'da yerine yazıldıktan sonra, Denklem (1.40) Denklem (1.39)'da yerine yazılırsa

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x_j^2} + (\lambda + G) \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j} \quad (1.42)$$

denklemi elde edilmektedir. Elastik bir cismin bir noktasında bir etki uygulandığı zaman, dalgalar bu noktadan başlayarak tüm yönlere doğru yayılmaktadır. Eğer cisim sonsuza kadar uzanıyorsa, uzak konumdaki bölgelerde bu dalgalar düzlem dalgaları olarak kabul edilebilmektedir. Bu sebeple de parçacıkların hareketlerinin dalga ilerleme yönüne paralel (basınç dalgaları) ya da dik olduğı (kayma dalgaları) kabul edilebilmektedir. Denge denklemi bu koşulları göz önüne alarak çözülebilmektedir. Düzlem dalgaları için hareket denklemi

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \dot{u}^2 \nabla^2 u \quad (1.43)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklem, Denklem (1.42) ile kıyaslandığında Basınç (genleşme) dalgaları için,

$$\dot{u} = V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \quad (1.44)$$

denklemini, kayma (çarpılma) dalgaları için ise,

$$\dot{u} = V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.45)$$

denklemini olarak elde edilmektedir. Parçacık hızına bağlı olarak x doğrultusunda elde edilecek gerilmeler için

$$\sigma_x = -\rho V_p \dot{u}_x \quad (1.46)$$

denklemini elde edilmektedir. X doğrultusuna dik yönde elde edilecek gerilmeler için ise,

$$\sigma_y = -\rho V_s \dot{u}_y \quad (1.47)$$

denklemini elde edilmektedir. Genel olarak, gelen dalgalar sınırlara dik olarak gelmediğinden gerilme bileşenleri normal ve kayma gerilmeleri olarak

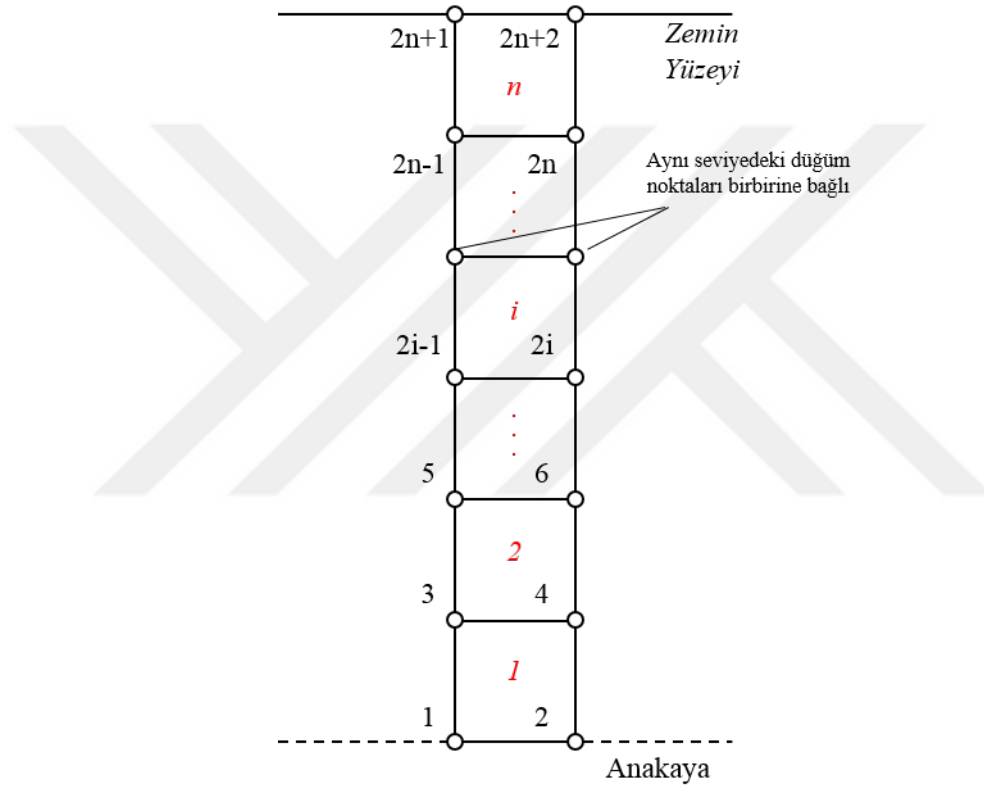
$$\sigma_n = a\rho V_p \dot{u}_n \quad (1.48)$$

$$\sigma_t = b\rho V_s \dot{u}_t \quad (1.49)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemlerde, σ_n ve \dot{u}_n normal doğrultudaki gerilme ve parçacık hızı, σ_t ve \dot{u}_t tanjant doğrultusundaki gerilme ve parçacık hızı, a ve b ise boyutsuz sabitlerdir. a ve b sabitlerinin boyutlu olması durumu standart sönümleyici

sınırlar olarak adlandırılmaktadır ve sonsuz elemandaki sönüm matrisi Denklem (1.49)'deki gerilme bileşenleri kullanılarak oluşturulabilmektedir [24].

İki boyutlu, 4 düğüm noktasına sahip tek sıra sonlu elemanlardan oluşan modelin sınırlarına bağlı sınırların tanımlanması Şekil 1.13'te şematik olarak verilmektedir. Bu modelde toplam "n" adet sonlu eleman bulunmaktadır ve toplam düğüm noktası sayısı $2n+2$ 'dir. Eleman sayısı ve düğüm noktası numaralandırmasına anakaya seviyesinden başlanarak, "i" sayısının 1'den büyük tam sayı olduğu durumlarda, $2i-1$ ve $2i$ numaralı olan düğüm noktalarının yatay ve düşey doğrultulardaki hareketleri birbirlerine bağlanmaktadır.



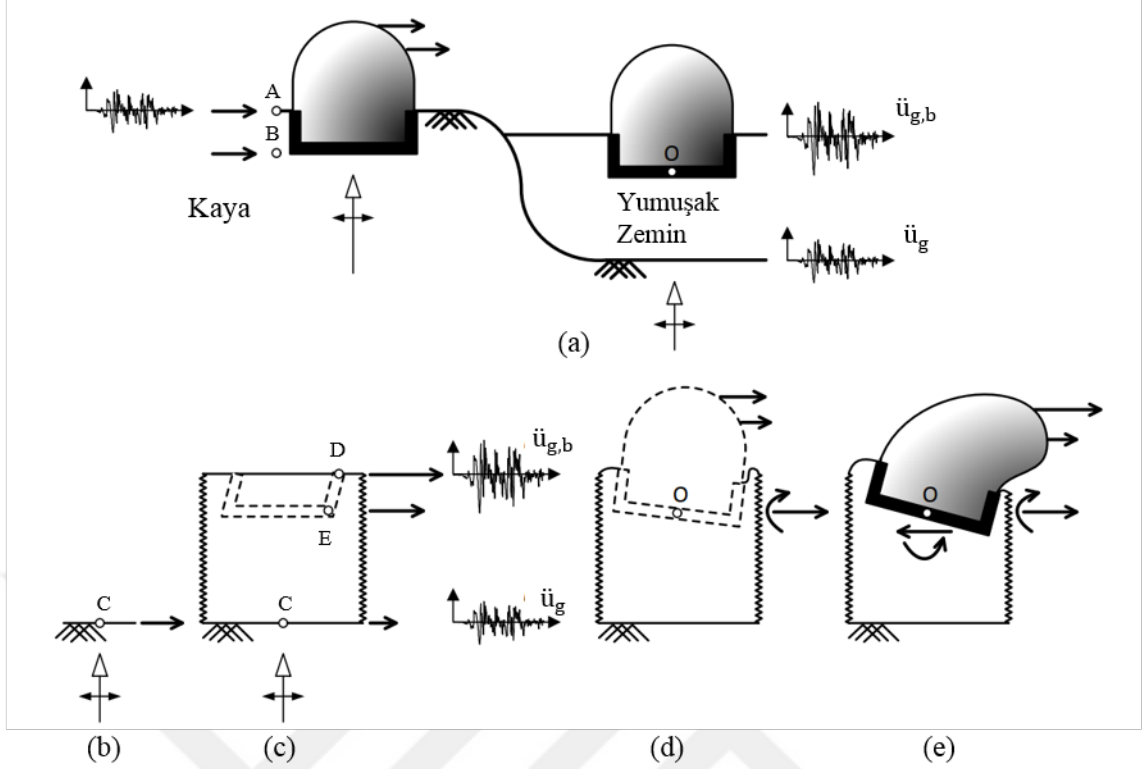
Şekil 1.13 Zemin sınırlarının tek sıralı sonlu elemanlarla modellenmesi

1.6 Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi

Yapılar analiz edilirken, temellerinden tam bağlı olduğunun kabul edilmesi özellikle yapıların yumuşak ve düşük dayanımlı zeminler üzerinde bulunduğu durumlarda geçerliliğini kaybetmekle birlikte önemli yanlışlıklara sebep olabilmektedir. Yumuşak zemin üzerinde bulunan yapıların rijitlikleri ve dinamik özellikleri zemin etkileri dikkate alındığında değişmektedir. Bu sebeple, zeminin yapıların davranışları üzerindeki etkisi yapıların tasarım sürecinde mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

1.6.1 Yapı-Zemin Etkileşimi Problemi

Şekil 1.14 (a)'da yapı-zemin etkileşiminin yapıların davranışlarına olan etkilerini gösterebilmek için kaya ve kaya üzerinde bulunan bir zemin tabakası üzerinde bulunan aynı yapıların davranışları karşılaştırılmıştır. Yapıların arasındaki mesafenin yapıların deprem merkezine göre olan mesafelerine göre çok daha az olması sebebiyle, her iki yapıyı etkileyen deprem etkilerinin aynı olduğu ve problemi kolaylaştırmak amacıyla sadece düşey yönde yayılan dalgaların etkileri dikkate alınmıştır. Şekilde gösterilen okların yönleri ve büyüklükleri ilgili depremin büyüklüğüne ve parçacık hareketlerine göre gösterilmiştir. Kaya zemin üzerindeki A noktası kontrol noktası olarak seçilmiştir ve kaya zemin boyunca hareketin aynı olduğu kabul edilmiştir (A ve B noktaları aynı yerdeğiştirmeyi yapmaktadır). Böylelikle, kaya üzerindeki yapıya yatay deprem hareketi doğrudan uygulanabilecektir. Uygulanan bu hareket etkisiyle, yapıda tüm yükseklik boyunca sabit olan atalet kuvveti meydana gelmektedir. Kayanın rijitliğinin yüksek olması sebebiyle, yükleme etkisiyle yapı temelinde oluşan devrilme momentine ve ters yönlü kesme etkisine ek herhangi bir şekildeğiştirme meydana gelmemektedir. Bu durumda, yapının temelindeki ve A noktasındaki yerdeğiştirmeler aynı olacak ve yapı altında herhangi bir salınım hareketi meydana gelmeyecektir. Tüm bunların sonucunda, kontrol hareketi altındaki yapının davranışı sadece yapının özelliklerine bağlı olmaktadır. Diğer taraftan, yumuşak zemin üzerinde bulunan yapının O noktasındaki yerdeğiştirmesi A noktasındaki hareketten farklı olmaktadır. Bu farklılığa sebep olan üç temel neden bulunmaktadır. Bu nedenlerden ilki zemin üzerinde herhangi bir yapı olması ya da olmaması durumunda meydana gelen serbest yüzey hareketindeki değişimdir. Şekil 1.14 (c)'deki C noktasının üzerinde herhangi bir zemin olmaması halinde Şekil 1.14 (b) C noktasının hareketi ile A kontrol noktasının hareketi arasındaki pek fark olmamaktadır. Ancak, Şekil 1.14 (c)'deki gibi C noktası üzerinde zemin olması sonucunda, bu noktanın hareketi azalmaktadır. Kaya üzerindeki zemin tabakası içerisinde düşey yönde ilerleyen dalgalar sonucunda D ve E noktalarında oluşan yer hareketleri C noktasından farklıdır. D ve E noktaları serbest yüzeyde bulunan ve yapının olduğu durumlarda ise yapı ile zemin ara yüzünde bulunan noktalardır (Şekil 1.14 (c)). Bu durumda ayrıca serbest yüzeye doğru ilerleyen yer hareketinin yatay yerdeğiştirmeleri frekans içeriğine bağlı olarak büyütülmektedir. İkinci neden, zeminin kazılıp içerisine rijit temelli bir yapının yerleştirilmesi sonucunda yer hareketinde meydana gelen değişimdir (Şekil 1.14 (d)). Ayrıca bu rijit temel ortalama bir yatay harekete sebep olmakla birlikte salınım birleşimine de neden olmaktadır. Bunun sonucunda, kaya zeminde bulunan yapıda görülmeyen, yapı yüksekliğince değişen atalet kuvvetlerine sebep olan ivmeler oluşmaktadır. Bu sismik etkinin geometrik ortalananması sonucunda analizlerin kinematik etkileşim bileşeni elde edilebilir. Üçüncü neden ise, yapıya etkiyen yükler sonucunda, yapıda devrilme momenti meydana gelir ve bu etki O noktasında ters



Şekil 1.14 Kaya ve zemin üzerinde bulunan yapının davranışı (a) zemin durumu, (b) kayanın yeryüzünde bulunması (c) serbest zemin (d) kinematik etkileşim ve (e) ataletsel etkileşim [25]

yönlü bir kesme kuvvetinin oluşmasına sebep olur (Şekil 1.14 (e)). Bunun sonucunda, zeminde şekildeğişirmeler meydana gelir ve yer hareketinde değişikliğe sebep olur. Bu bileşen ataletsel etkileşim olarak adlandırılmaktadır [25].

Tüm bunlara ek olarak Şekil 1.14(d)'de yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınmasının başlıca etkileri gösterilmektedir. Öncelikle yapı-zemin sistemine etkileyen sismik hareket değişmektedir. Zeminin büyütmesi sebebiyle bir çok durum için ötelenme bileşeni kontrol hareketinden büyük olmaktadır. Ayrıca, gömülü yapılar için önemli miktarda salınım bileşeni de olmaktadır. Hareketin her bir frekanstaki bileşeni birbirinden farklı olarak etkilenir ve bunun sonucunda kontrol hareketinden farklı ivmeler elde edilmektedir. Bu durum özellikle yumuşak ve derin zeminlerde bulunan yapıların kaya üzerinde bulunan yapılara göre daha çok hasar almasının sebebi olarak gösterilebilir. Diğer bir etki ise, yapının zemin üzerinde bulunması sistemi daha esnek yapar ve doğal titreşim frekansı değerinin tabandan tam bağlı durumlara göre önemli miktarda düşmesine sebep olmaktadır. Bazı durumlarda, bu azalma yapı tarafından hissedilen sismik yükün azalmasına ve mod şekillerinin değişmesine sebep olabilmektedir. Yapıdan yayılan dalgaların enerjisiyle birlikte tüm sistemin sönümünde artış meydana gelir. Böylece, sönümdeki bu artış özellikle de zeminin

elastik yarı uzay olarak dikkate alındığı durumlarda sistem yükünü önemli miktarlarda düşürebilmektedir. Zemin tabakası kalınlığının az olduğu durumlarda, yapılardan dalgalar yayılamayacağından ve sadece zeminin malzeme sönümü olacağı için bu durumun yapı tepkisine faydası olmayacaktır. Yapı-zemin etkileşimi etkileri özellikle yapıların zeminlerden daha rijit olduğu durumlarda artmakta, yapıların zemine göre daha esnek olduğu durumlarda ise bu etkileri ihmal edilebilmektedir [25].

Yapı-zemin etkileşimi nedeniyle yapıların olumlu ya da olumsuz etkileneceğini önceden bilmek neredeyse imkansızdır. Eğer yapılar analiz edilirken, yapı-zemin etkileşiminin etkileri ihmal edilirse, yapılara etkiyen yükler yapıların temellerinin tam bağlı olduğu durumdan farklı elde edilebilir. Bu yaklaşık analiz yöntemi için kontrol hareketi doğrudan sisteme etki olarak uygulanabilir (Şekil 1.14(e)). Yapıların tam bağlı olduğu durumda elde edilen tepkiler yapı-zemin sistemi birlikte dikkate alındığı değerlere göre genelde daha büyük elde edilmektedir. Diğer bir deyişle yapıların tam bağlı olarak analiz edilmesi daha tutucu sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, temelin sallanması sebebiyle yapı üstünde elde edilen yerdeğişmeler yapı-zemin etkileşimi dikkate alındığında daha büyük değerler elde edilebilir. Bu durum yan yana bulunan yapıların birbirlerine çarpmalarını için gerekli mesafenin arttırılmasını gerektirebilir. Ayrıca, bazı uç durumlarda ikinci mertebe etkilerin artmasına da sebep olabilir. Yaklaşık yöntemle yapı-zemin etkileşimi gerçekleştirilirken serbest yüzey için zemin tepki analizleri ihmal edilmektedir (Şekil 1.14(c)) ve yapının zemine gömülmesi sebebiyle yapılan geometrik ortalama işlemi tutarsız olabilmektedir. Yapısal önemi yüksek olan yapıların tasarımında yapı-zemin etkileşimi tüm etkileri dikkate alarak gerçekleştirilmelidir [25].

Temel zemininin esnekliğini dikkate alarak yapıların analizlerinin yapılması analizleri zorlaştırmaktadır. Buna ek olarak, zemin özellikleri, temel gömülme derinliği gibi elde edilmesi zor olan ek bilgilere gereksinim duymaktadır. Tüm bunlarla birlikte tam bir çözüm imkansız olup, yaklaşık çözümle yapı ve zemin bileşenleri analiz edilebilir. Sonuçlar fiziksel olarak mantıklı olsa da, mühendislik yorumu katarak değerlendirilmelidir.

Yapı-zemin etkileşiminin iki temel bileşeni vardır: Serbest yüzey hareketinin yapı temelinin mevcudiyeti sebebiyle değişimi (kinematik etkileşim) ve yapı davranışının zemin esnekliği dolayısıyla değişimi (ataletsel etkileşim).

1.6.1.1 Kinematik Etkileşim

Temel sisteminin maruz kaldığı hareket ile serbest zemindeki kontrol noktasının hareketi altında (Şekil 1.14(a) A noktası) yapı davranışında görülen farklılıklar

kinematik etkileşimi belirtmektedir [26]. Temel olarak kinematik etkileşimi etkileyen parametreler temel rijitliği, temelin gömülme şekli ve derinliği ile sismik dalgaların yayılması olarak sayılabilir [27]. Genellikle yapı temelinin rijitliği, geometrisi ve zemin ortamında meydana gelen değişiklikler sonucunda deprem dalgaları serbest yüzeydeki duruma göre farklılık gösterebilir. Özellikle temel boyutlarının büyük olması, temel derinliğinin fazla olması ve yapı temelinin rijitliği bu etkileşimin önemini etkilemektedir [28]. Yapının frekans seviyesi de kinematik etkileşim seviyesini etkilemektedir. Yüksek frekanslı sistemler ivmeye karşı duyarlıyken, düşük frekanslı sistemler de yerdeğiştirmeye karşı duyarlı olmaktadır. Yüksek frekanslı sistemlerin özellikle yatay bileşenlerinde kinematik etkileşim önemli olurken, düşük frekanslı sistemlerde ise bu etki önemsiz olmaktadır. Bunlarla birlikte, yapı temelleri yüksek frekanslı dalgaları düşük frekanslı dalgalara göre daha fazla filtreleyerek bu dalgaların yapıya ulaşmasını engellemektedir. Bunun bir sonucu olarak, hız ve yerdeğiştirme değerlerine göre daha yüksek frekans içeriğine sahip olan ivme değerlerinde değişim diğerlerine göre çok daha fazla olmaktadır [29]. Yapıların gömülme derinlikleri kinematik etkileşimin miktarında önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak yapı gömülme derinliğinin, temel yarı çapına (ya da eşdeğer temel genişliğine) oranı 0,5'ten küçük olduğunda, kinematik etkileşimden kaynaklanan etkilerin ihmal edilebileceği belirtilmektedir [28]. Diğer taraftan, rijit temele sahip olan yapıların, zeminin üstünde ya da gömülü olması durumlarında serbest yüzey hareketini etkilediği bilinmektedir [27]. Ayrıca, zeminin tabakalardan meydana gelmesinin kinematik etkileşim açısından herhangi bir önemi olmadığı da bilinmektedir [30].

1.6.1.2 Ataletsel Etkileşim

Zemin ortamının esnekliğinin dikkate alındığı durumlarda elde edilen yapı tepkileri ile zemin esnekliğinin dikkate alınmadığı durumlarda elde edilen yapı tepkileri arasındaki farklılığın ataletsel etkileşim sebebiyle meydana geldiği bilinmektedir [29]. Ataletsel etkileşim sonucunda, taban kesme kuvveti ve eğilme momenti etkisiyle temelde oluşan dönme, yatay ve düşey yönlü ötelenmeler meydana gelebilmektedir. Yapıların analizinde bahsedilen hareketlerin dikkate alınmasıyla birlikte ataletsel etkileşim de dikkate alınmış olmaktadır. Ataletsel etkileşim özellikle yüksek katlı yapılarda daha etkili olabilmektedir [27]. Ataletsel etkileşim sonucunda, zeminin esnekliğinin artmasıyla birlikte yapıların doğal titreşim periyotları artabilmektedir. Yapı altındaki zeminin histeretik davranışı ve zemin içerisine dağılan dalgalar sebebiyle yapısal sönümün de arttığı görülebilmektedir.

1.6.2 Yapı-Zemin Etkileşim Problemi Çözüm Yöntemleri

Yapıların temelden tam bağlı olduğu durumda kullanılabilen hareket denklemi (Denklem (1.6)), her bir katın m kütleli, c viskoz sönümlü, doğrusal yay sabiti k olduğu kaymaya çalışan binanın $\ddot{u}_g(t)$ yer hareketi altında olması durumunda yapı altındaki zeminin etkilerinin de hesaplara dahil edilmesiyle

$$m_b \ddot{u}_b + c_b \dot{u}_b + k_b u_b = -m_b v_b \ddot{u}_g(t) \quad (1.50)$$

şeklinde olmaktadır. Bu denklemde $[m_b]$, $[c_b]$ ve $[k_b]$ sırasıyla yapının $n \times n$ boyutundaki kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. $\{v_b\}$ birim değerlerden oluşan etki vektörüdür. Dikkate alınan yapıda her katta toplanılan kütlelerin sadece yatay doğrultuda ötelenme yaptığı kabul edildiği için, yapının katsayısı olan "n" aynı zamanda yapının serbestlik derecesi de olmaktadır. Denklem (1.50)'deki ivme, hız, yerdeğiştirme ve etki vektörleri ise $n \times 1$ boyutunda olup sırasıyla

$$\ddot{u}_b^T = \{ \ddot{u}_1 \dots \ddot{u}_i \dots \ddot{u}_n \} \quad (1.51)$$

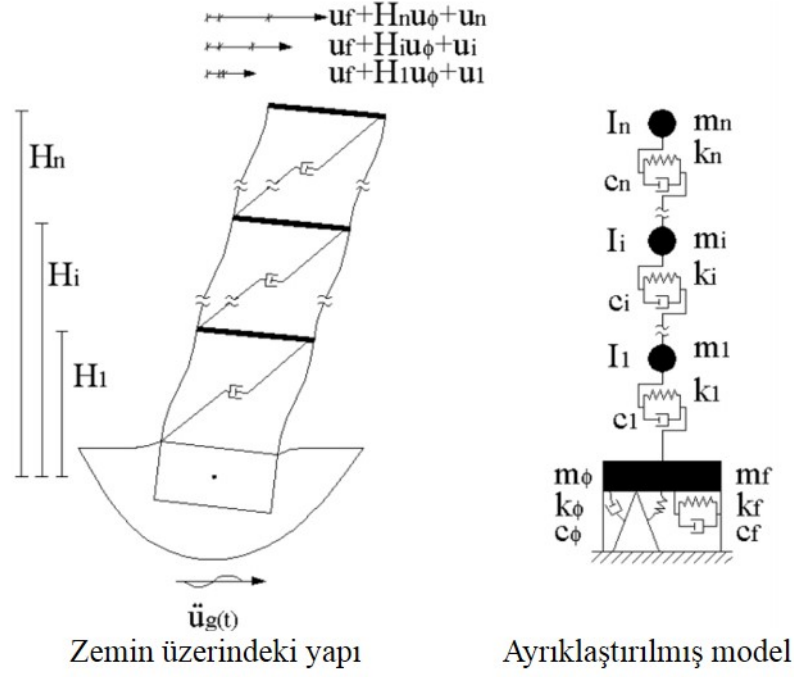
$$\dot{u}_b^T = \{ \dot{u}_1 \dots \dot{u}_i \dots \dot{u}_n \} \quad (1.52)$$

$$u_b^T = \{ u_1 \dots u_i \dots u_n \} \quad (1.53)$$

$$v_b^T = \{ 1 \dots 1 \dots 1 \} \quad (1.54)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Yapı-zemin etkileşimi modellerinde zemin ortamının kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri yay ve sönümleyici elemanlara tanımlanarak modellenabilmektedir (Şekil 1.15). Yapı-zemin-yapı etkileşim problemi tanım ve çözümlemesi yapı-zemin etkileşimi problemlerine dayandığı için, yapı-zemin-yapı etkileşimi probleminin ayrıklaştırılmış modelinin tanıtımından önce, aşağıda yapı-zemin etkileşimi için kullanılan modellerin hareket denklemleri hakkında kısa bilgi verilmektedir.

Temelden tam bağlı yapılara ait hareket denklemlerinde, yapının temelden tam bağlı olduğu durum için denklemler oluşturulmakta ve çözülmektedir. Diğer taraftan, yapı altındaki zemin dikkate alındığında yapının davranışında bir takım değişikliklerin



Şekil 1.15 Tek bir yapı için yapı-zemin etkileşimi [31]

meydana geleceği Kısım 1.6.1’de belirtilmişti. Zeminin dikkate alınması durumunda, serbestliklerin tanımlanması için yapının altına tanımlanan yaylar ve sönümleyiciler ile zeminin yapı davranışı üzerindeki etkisi dikkate alınmaya çalışılmaktadır. Tanımlanan elastik yaylar harekete karşı dayanım gösterirken, viskoz sönümleyici ise enerjinin yayılmasını ve sönümlenmesini sağlamaktadır. Kuvvet dengesi ve zeminin ağırlık merkezi etrafında moment dengesinin sağlanması gerektiğinden bu iki dengenin Denklem (1.6)’daki hareket denklemine eklenmesiyle birlikte sistemin hareket denklemini

$$m_{sb}\ddot{u}_{sb} + c_{sb}\dot{u}_{sb} + k_{sb}u_{sb} = -(m_{sb}v_{sb} + v_{fsb})\ddot{u}_g(t) \quad (1.55)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklem hem zeminin hem de yapının davranışını içermektedir. Bu denklemdeki terimler matris formunda

$$\begin{bmatrix} m_s & m_{sb} \\ m_{sb} & m_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_b \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s & c_{sb} \\ c_{sb} & c_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_s \\ \dot{u}_b \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_s & 0 \\ 0 & k_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ u_b \end{Bmatrix} = - \left(\begin{bmatrix} m_s & m_{sb} \\ m_{sb} & m_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ v_b \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_s \\ 0 \end{Bmatrix} \right) \ddot{u}_g(t) \quad (1.56)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemden $[m_s]$, $[c_s]$, $[k_s]$ sırasıyla zeminin 2x2 boyutundaki kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri, $\{\ddot{u}_s\}$, $\{\dot{u}_s\}$ ve $\{u_s\}$ sırasıyla zeminin 2x1 boyutundaki ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörleridir. $[m_{sb}]$ ve $[m_{bs}]$ ise sırasıyla 2 x n ve n x 2 boyutlarında yapı-zemin etkileşimi ve zemin-yapı etkileşimi matrisleri olup birbirlerinin devrik halleridir. Denklem (1.56)'da bulunan terimler

$$m_s = \begin{bmatrix} m_\phi + \sum_{i=1}^n H_i^2 m_i + I_i & \sum_{i=1}^n H_i m_i \\ \sum_{i=1}^n H_i m_i & m_f \sum_{i=1}^n m_i \end{bmatrix} \quad (1.57)$$

$$c_s = \begin{bmatrix} c_\phi & 0 \\ 0 & c_f \end{bmatrix} \quad (1.58)$$

$$k_s = \begin{bmatrix} k_\phi & 0 \\ 0 & k_f \end{bmatrix} \quad (1.59)$$

$$\ddot{u}_s^T = \{ \ddot{u}_\phi \quad \ddot{u}_f \} \quad (1.60)$$

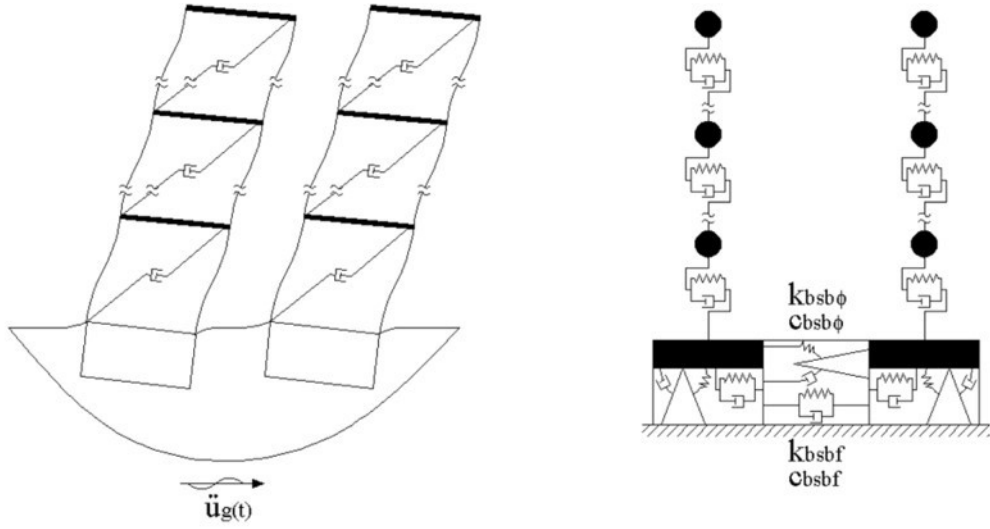
$$\dot{u}_s^T = \{ \dot{u}_\phi \quad \dot{u}_f \} \quad (1.61)$$

$$u_s^T = \{ u_\phi \quad u_f \} \quad (1.62)$$

$$v_s^T = \{ 0 \quad m_f \} \quad (1.63)$$

$$m_{sb} = m_{bs}^T = \begin{bmatrix} H_1 m_1 & \dots & H_i m_i & \dots & H_n m_n \\ m_1 & \dots & m_i & \dots & m_n \end{bmatrix} \quad (1.64)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemlerde m_ϕ , c_ϕ , k_ϕ terimleri sırasıyla zeminin salınım kütle, sönüm ve rijitlik matris bileşenleri, m_f , c_f , k_f terimleri ise sırasıyla zeminin yatay yönlü kütle, sönüm ve rijitlik matris bileşenleridir. I ise binanın ilgili katına ait kütle atalet momentidir. Bu denklemlerdeki zemine ait kütle matrisindeki kütle hem zahiri zeminin hem de rijit temelin ağırlıklarının toplamı olarak dikkate alınmaktadır.



Şekil 1.16 İki yapı için yapı-zemin-yapı etkileşimi [31]

Şekil 1.16'da yan yana bulunan iki yapının birbirlerine olan etkilerinin ayrıık modelle dikkate nasıl alınabileceği gösterilmektedir. Bu durumda, yapıların altındaki zemin rijitlik ve sönümleyici elemanlarla tanımlanabilmektedir [32]. Böylece, yapı-zemin etkileşiminin de dahil olduğu hareket denklemi (Denklem (1.55))

$$m_{bsb}\ddot{u}_{bsb} + c_{bsb}\dot{u}_{bsb} + k_{bsb}u_{bsb} = -(m_{bsb}v_{bsb} + v_{fbsb})\ddot{u}_g(t) \quad (1.65)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Denklem (1.65)'te bulunan terimler matris formunda

$$\begin{bmatrix} m_{ls} & m_{lsb} & 0 & 0 \\ m_{lbs} & m_{lb} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{rs} & m_{rsb} \\ 0 & 0 & m_{rbs} & m_{rb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_{ls} \\ \ddot{u}_{lb} \\ \ddot{u}_{rs} \\ \ddot{u}_{rb} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{ls} & 0 & -c_{bsb} & 0 \\ 0 & c_{lb} & 0 & 0 \\ -c_{bsb} & 0 & c_{rs} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{rb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_{ls} \\ \dot{u}_{lb} \\ \dot{u}_{rs} \\ \dot{u}_{rb} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{ls} & 0 & -k_{bsb} & 0 \\ 0 & k_{lb} & 0 & 0 \\ -k_{bsb} & 0 & k_{rs} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{rb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ls} \\ u_{lb} \\ u_{rs} \\ u_{rb} \end{Bmatrix} = - \left(\begin{bmatrix} m_{ls} & m_{lsb} & 0 & 0 \\ m_{lbs} & m_{lb} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{rs} & m_{rsb} \\ 0 & 0 & m_{rbs} & m_{rb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ v_{lb} \\ 0 \\ v_{rb} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{ls} \\ 0 \\ v_{rs} \\ 0 \end{Bmatrix} \right) \ddot{u}_g(t) \quad (1.66)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemlerdeki "l" ve "r" indisleri sırasıyla Şekil 1.16'da gösterilmiş olan soldaki ve sağdaki binaları belirtmektedir. Ayrıca, bu denklemlerde yapı-zemin-yapı etkileşiminin tanımlandığı sönüm ve rijitlik matrisleri

$$c_{bsb} = \begin{bmatrix} c_{bsb\phi} & 0 \\ 0 & c_{bsb\phi} \end{bmatrix} \quad (1.67)$$

$$k_{bsb} = \begin{bmatrix} k_{bsb\phi} & 0 \\ 0 & k_{bsb\phi} \end{bmatrix} \quad (1.68)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu matrislerdeki terimleri oluşturmak için gerekli katsayılar Mulliken ve Karabalis [32] çalışmasından elde edilebilir. Oluşturulan hareket denklemleri gerek zaman tanım alanında gerekse de frekans alanında çözülebilmektedir.

Yapı-zemin etkileşim problemleri temel olarak alt sistem yaklaşımı ve doğrudan çözüm yaklaşımı olmak üzere iki farklı yaklaşımla çözülebilmektedir. Alt sistem çözüm yönteminde, zemin ve yapı sistemleri ayrı ayrı dikkate alınmaktadır ve bu iki alt sistemlerin birbirlerine olan etkileri temel arayüzünde uygunluk şartlarının ve yerdeğiştirmelerin kullanımıyla göz önünde bulundurulmaktadır. Doğrudan çözüm yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, yapı ile birlikte uygun sınır koşulları tanımlanarak dikkate alınan zemin ortamı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir arada dikkate alınmaktadır.

1.6.2.1 Alt Sistem Çözüm Yöntemleri

Alt sistem yaklaşımında (çok adımlı yaklaşım), zemin ve yapının ayrı ayrı (alt) sistemlerden meydana geldiği kabul edilerek zemine ait özelliklerin (rijitlik ve sönüm gibi) üst yapının davranışına olan etkilerinin göz önüne alındığı yaklaşımdır. Yaklaşımın temeli, gerçek durumda temelin altındaki zeminden dolayı temeli tam bağlı olan bir yapıdan farklı olarak meydana gelen ek serbestlikler ve zeminin kütle, sönüm ve rijitlik etkilerinin çeşitli mekanik elemanlar kullanarak sisteme dahil edilmesidir. Temelin geometrisi, gömülme miktarı, zeminin tabakalanma durumu gibi bir çok özellik dikkate alınarak bu elemanların özellikleri belirlenmektedir.

Kullanılan elemanların özellikleri genel olarak frekansa bağlı olduğu için, bu yaklaşımla çözülen problemler çoğunlukta frekans ortamında çözülmektedir. Analizler frekans ortamında yapıyorsa, yük Fourier serilerine dönüştürülmekte ve tepkiler her bir Fourier terimi için ayrı ayrı elde edilmektedir. Bu tür analizlerde, sınır

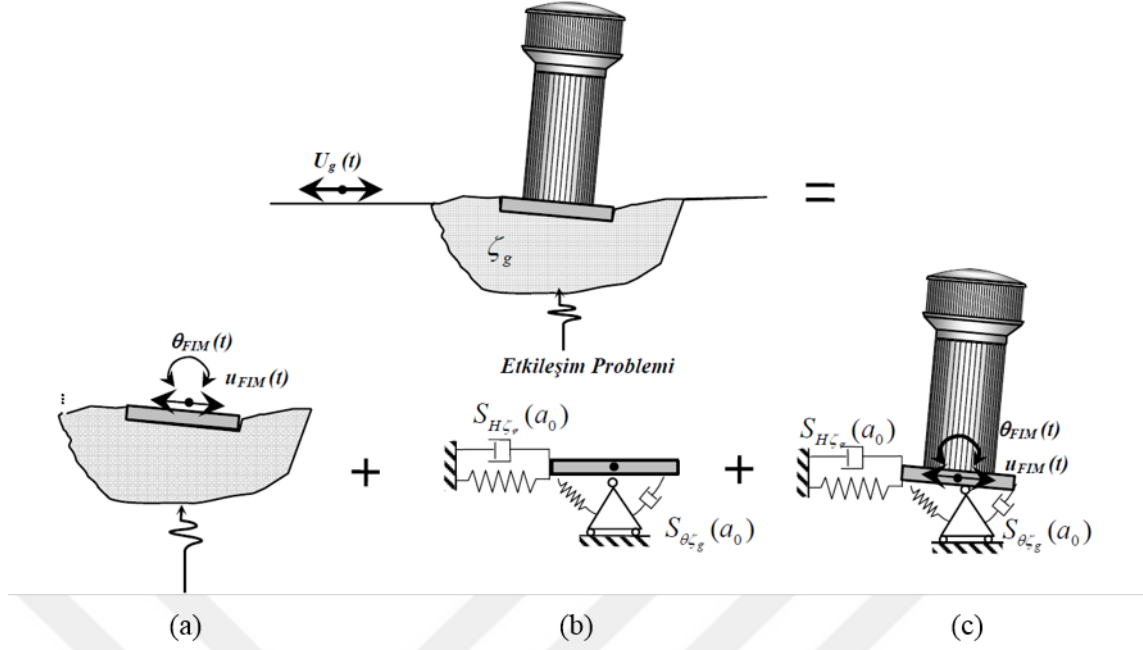
durumu frekansa bağılı dinamik rijitik katsayılarıyla tanımlanmaktadır. Bu katsayılar tam bağılı olan temel zemin ara yüzündeki düğüm noktaları için yerdeğiştirme büyüklüklerinin kuvvetle olan ilişkisini belirlemektedir. Zaman tanım alanında çözüm yapılırken ise, dinamik rijitlik katsayılarının integralleri ve ilgili yerdeğiştirme değerleri, kuvvet değerlerinin zamanla değışiminin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Yapı-zemin etkileşim problemlerinin analizlerini kolaylaştırmak amacıyla, zemin ortamı empedans fonksiyonları ile tanımlanabilmektedir. Bu fonksiyonlar sistem herhangi bir dinamik etkiye maruz kaldığında zeminin temel sisteminin rijitlik ve sönüm özelliklerinin davranışa dahil olmasını sağlamaktadır. Bazı çalışmalarda zemin ortamının özellikleri sonlu elemanlar gibi çeşitli yöntemler kullanılarak belirlenmiştir: Zhao [33], Jeremic ve Kunnath [34]. Alt sistem yaklaşımı ile sistemlerin çözümü üç ayrı kısımda yapılabilmektedir [35]: İlk olarak, temelin şekline, rijitliğine ve zemine bağılı olan temelin maruz kaldığı yer hareketi hesaplanmaktadır (Şekil 1.17(a)). Bu hareket, serbest yüzey hareketinin frekans ortamında bir transfer fonksiyonu ile dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. İkinci olarak, temel ile zemin arasındaki etkileşimin rijitliklerini ve sönüm özelliklerini tanımlayan empedans fonksiyonları belirlenmektedir (Şekil 1.17(b)). Bu fonksiyonlar, zemin tabakalarını, temelin şeklini ve rijitliğini ve zeminin dinamik özelliklerini dikkate alarak belirlenmektedir. Üçüncü ve son adım olarak da, tabanından empedans fonksiyonlarıyla uyumlu ve temelin maruz kaldığı yer hareketi etkisindeki yapının dinamik analizi gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.17(c)).

Bu yaklaşımda zemin etkileri sadece yaylar ve sönümleyici eleman ile tanımlandığı için analizler daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, yapıların altındaki zeminlerin bahsedilen özellikli elemanlar kullanılarak modellenmesi için bazı temel kabullerin yapılması gerekmektedir. Alt sistem çözüm yöntemini kullanmak için yapılan temel kabullerden bazıları aşağıda verilmektedir.

- Zemin elastik ve homojendir.
- Yapı temeli rijittir.
- Temel dairesel şekillidir.
- Elastik zemin ortamı koni modeline göre davranmaktadır.
- Dönme ve yatay yerdeğiştirmeler kayma gerilmeleri, düşey yerdeğiştirme ve burulma ise aksenal gerilmelere bağılı olarak gerçekleşmektedir.

Yapı sistemlerinin alt sistem yaklaşımıyla analizi yapıldığında, zemin ortamı için bir çok kabulün yapılma gereksinimi bu yaklaşımla analizlerde yapılan kabullerin

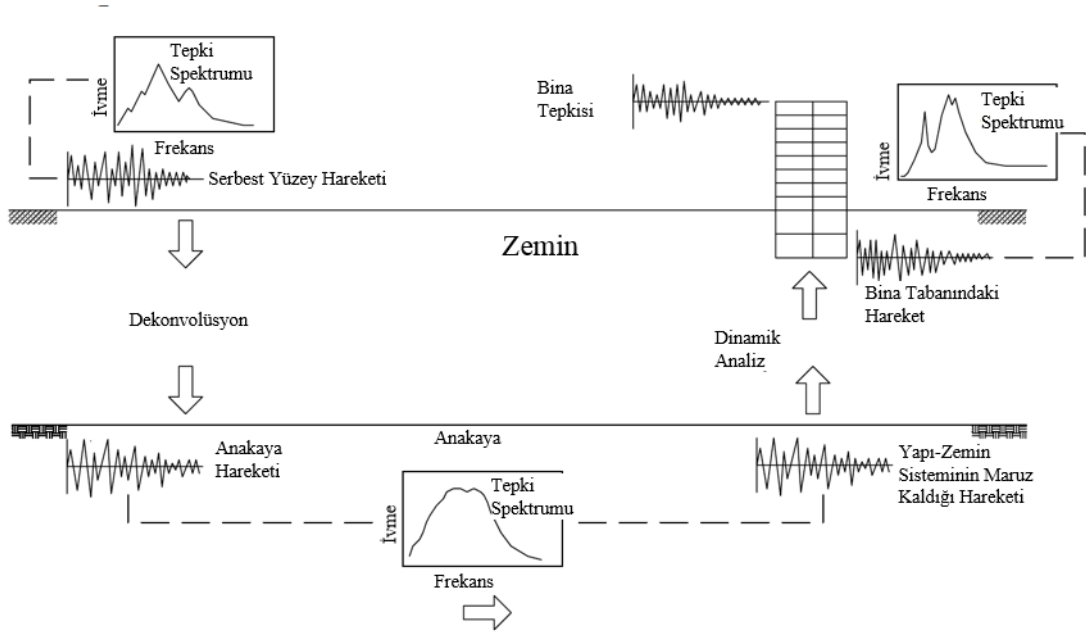


Şekil 1.17 Yapı-zemin etkileşiminin alt sistem yaklaşımı ile çözümü (a) temelin maruz kaldığı yer hareketinin bulunması (b) empedans fonksiyonlarının hesaplanması (c) bulunan yer hareketi altında sistemin çözümü [27]

gerçekçiliğinin sonuçları önemli derecelerde etkileyebileceği çıkarılabilir. Yanyana bulunan yapıların analizlerinin alt sistem yaklaşımı ile gerçekleştirildiğinde yapılar arasındaki dalga iletiminin sadece tanımlanan yay ve sönümleyici elemanlarla iletilmiş olması dalga yayılımı bakımından doğrulanması gereken bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Bunların yanı sıra, alt sistem yaklaşımı ile analiz edilen yapıların davranışları özellikle yüksek frekans içerikli etkiler altında analiz edildiklerinde doğru olmayan sonuçlar verebilmektedir [25], [36] ve [37].

1.6.2.2 Doğrudan Çözüm Yöntemleri

Doğrudan çözüm yöntemi, yapı ve zemin sistemlerinin birlikte dikkate alındığı ve tüm sistemin birlikte analizinin gerçekleştirildiği yöntemdir. Şekil 1.18'de yatay tabakalı bir zemin üzerindeki bir yapı için doğrudan çözüm yöntemi şematik olarak verilmektedir. Bu yöntemle, yapı ve zemin arasındaki ataletsel ve kinematik etkileşimleri dikkate almak için bir kaç adım gerçekleştirilmelidir. Öncelikle serbest zemin yüzeyinde bulunan serbest zemin hareketi anakaya seviyesine indirilmelidir. Bu işlem, anakayadaki hareketin zemin yüzeyine taşınması kovolisyon işleminin tam tersi bir işlem olan dekonvolüsyon ile gerçekleştirilebilmektedir. Böylelikle, anakaya üzerindeki deprem hareketi elde edilmektedir ve bu hareket doğrudan dinamik analizlerde kullanılacak olan harekettir. Bu hareketin uygulanmasıyla birlikte, deprem



Şekil 1.18 Yapı-zemin etkileşim probleminin doğrudan çözüm yöntemi ile çözümü [18]

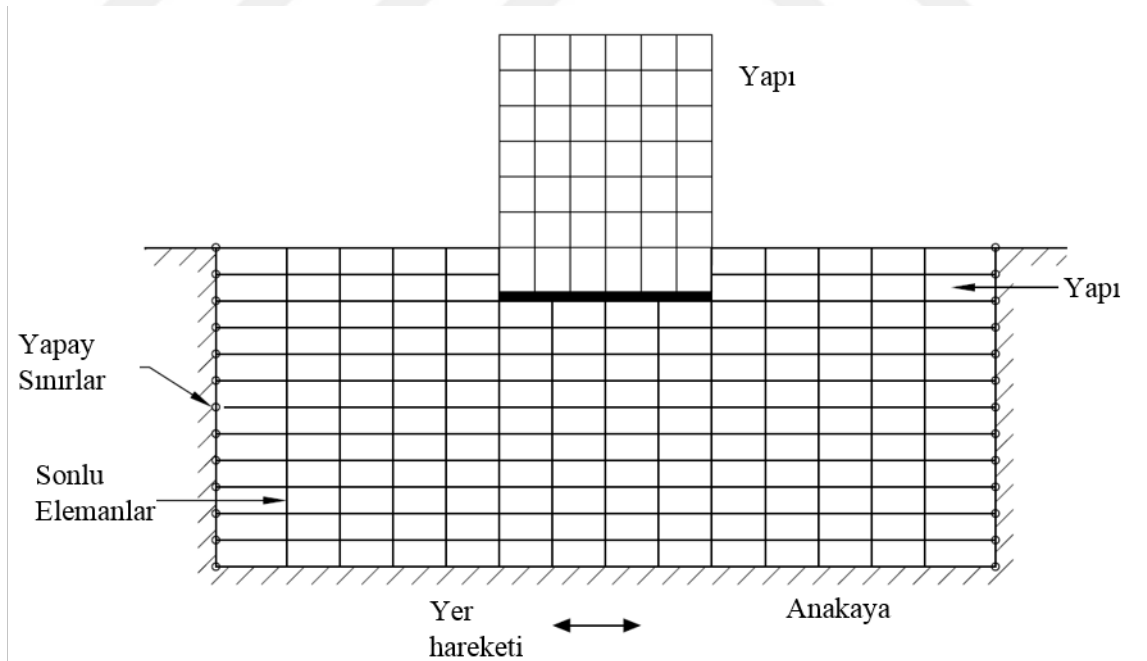
etkisi altındaki yapının ya da zeminin herhangi bir noktasında meydana gelen hareket elde edilebilmektedir.

Doğrudan çözüm yöntemiyle, yapı-zemin etkileşim probleminin hareket denklemi frekans tanım alanında ya da zaman tanım alanında çözülebilmektedir. Frekans tanım alanında çözüm yapmak için öncelikle anakaya seviyesindeki yer hareketi Fourier dönüşümü ile frekans ortamına dönüştürülür. Daha sonra, bu dönüştürülmüş yer hareketi yapı-zemin sisteminin transfer fonksiyonu ile çarpılarak frekans alanındaki sistem tepkisi elde edilir. Ters Fourier dönüşümü ile, yapının zaman tanım alanındaki tepkisi hesaplanabilmektedir. Sistemin hareket denkleminin çözümünde kullanılan diğer bir yöntem olan zaman tanım alanında çözüm kullanılarak, hareket denklemi her bir zaman adımı için integre edilerek çözülmektedir. Zaman tanım alanında çözüm yaparken sistemin her türlü davranışı ele alınabilirken, frekans ortamında çözüm yaparken sadece bazı durumları dikkate alarak çözüm yapılabilir. Zaman tanım alanında çözüm yapmak işlem yükü açısından zor olsada sistemin davranışını gerçeğe yakın bir şekilde verebilmektedir. Diğer taraftan, sisteme ait frekansa bağımlı olarak tanımlanabilen özelliklerin frekans alanında çözümü daha kolay olmaktadır [18].

Doğrudan çözüm yöntemi yapı-zemin etkileşim problemi zaman tanım alanında, zemin özelliklerini, malzeme ve geometrik davranışlarını, dalgaların yayınımlarını, ara yüz etkileşimlerini ve sınır koşullarını da göz önüne alabildiği için gerçeğe yakın sonuçların elde edilebildiği bir yöntemdir. Ele alınan yapı ve zemin bileşenleri, sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve sınır elemanlar yöntemi gibi

farklı yöntemlerin tek ya da çeşitli hibrit şekillerde bir arada kullanılmasıyla analiz edilebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapılırken, Denklem (1.50)'deki sistemin etkisinde kaldığı dış yük ($u_g(t)$), genellikle sistemin altındaki noktaların yerdeğiştirme vektörü olarak sisteme uygulanmaktadır. Alt sistem çözüm yöntemine göre bu yöntemde yapı ve zemin bileşenleri aynı sistem içerisinde ele alınmakta, böylece zeminin yapıya ya da yapının zemine olan etkilerini ayrı ayrı dikkate alan çözümler yerine tek bir analiz ile tüm sistemin analizi gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 1.19). Bunun yanısıra, tüm sistemlerin birlikte ele alınmasıyla birlikte yapı ya da zeminin herhangi bir konumunda oluşan şekildeğiştirmeler ve gerilmeler elde edilebilmektedir. Ayrıca, bu yöntem ile herhangi bir bileşende oluşabilecek olan doğrusal olmayan davranışlar da dikkate alınabilmektedir.

Doğrudan çözüm yöntemiyle yapı-zemin etkileşim problemlerinin çözümünde ele alınan zemin yapıya yakın olan ve yapı davranışı etkisinde kalan bölgeler yakın bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge dışında kalan diğer zemin bölgeler ise, yakın bölgedeki zeminin serbest yer hareketi altında hareket etmesini sağlayan ve nispeten yapının etkilerinden etkilenmeyen bölgedeki zeminin olduğu uzak bölgedir. Uzak bölgenin sınırları ya yapı dolayısıyla oluşacak etkilerin olmadığı yere kadar genişlikteki zemin olarak ya da yakın bölgenin sınırlarına sanal sınırlar uygulanarak oluşturulan sınırların dışı olarak dikkate alınabilir.



Şekil 1.19 Yapı-zemin etkileşim probleminin doğrudan çözüm yöntemi ile çözümü [18]

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinin doğrudan çözüm yöntemiyle analizi büyük hesaplama yükü gerektirdiğinden fazla tercih edilmemektedir. Bu yöntem karmaşık

geometrilik sistemler ve çeşitli malzeme özelliklerinin tanımlanabilmesi bakımından elverişliyse, hesaplama yükü, modellemedeki karmaşıklıklar ve model hazırlama sürecindeki zorluklar bu yöntemin dezavantajlarıdır. Diğer taraftan doğrusal çözüm yöntemini kullanarak doğrusal olmayan davranışların dikkate alınması tam olarak tanımlanmamıştır ve bu hususta bazı sorunların hala çözümü gerekmektedir. Bunlar, yer girdi hareketinin belirlenmesi, sonsuz zemin ortamının belirlenmesi ve zeminin doğrusal olmayan davranışının üç boyutlu güvenilir modellerle geliştirilmesi olarak sayılabilir. Bunun yanı sıra doğrudan çözüm yöntemi kullanılarak düşey yönde ilerleyen kayma ya da basınç dalgaları etkisindeki modeller analiz edilebilmekte olup, eğik dalgalar ya da farklı dalga formlarının analizleri yapılamamaktadır [38].

1.7 Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Deprem mühendisliği alanındaki birçok araştırma konusunun gelişimine bakıldığında, bu çalışmalar meydana gelen büyük yıkıcı etkideki depremler sonrasında meydana gelen olayların arkasındaki nedenleri araştırmayı ve bu konuyu aydınlatmayı amaç edinmektedir. Yapı-zemin etkileşimi konusundaki ilk çalışma 1936 yılında Reissner tarafından, yapı-zemin-yapı etkileşimi alanındaki çalışmaların ise 1969–1972 yılları arasında Warburton tarafından başlatıldığı kabul edilmektedir [39]. Bu çalışmalardan sonra ortaya çıkan teknik ve teknolojik gelişmeleri kullanarak, çeşitli yaklaşımlarla birlikte her iki konu da bir çok araştırmacı tarafından ele alınmıştır.

Yapı-zemin problemlerinin çözümünde kullanılan doğrudan çözüm ve alt sistem yaklaşım yöntemleri hakkında detaylı bilgi [25] ve [40]'den elde edilebilmektedir.

Veletsos ve Wei [26], Luco ve Westmann [41], Wolf [42], Pitilakis ve Clouteau [43], Carbonari vd. [44], Kutanis ve Elmas [45], Yang vd. [46], Khodakarami ve Lashgari [47], Koh vd. [48] alt sistem yaklaşımını kullanarak yapı-zemin etkileşimini incelemişlerdir.

Lu vd. [49], Li vd. [50], Bolisetti vd. [51], Sáez vd. [52], Badry ve Satyam [53], Amorosi vd. [54], Jingbo ve Yandong [55], Ghandil ve Behnamfar [56], Nguyen vd. [57], Behnamfar ve Banizadeh [58], Jeremic vd. [59] yapı-zemin etkileşimini doğrudan çözüm yöntemini kullanarak incelemişlerdir.

Yapı-zemin-yapı etkileşimi konusunda yapılan ilk çalışmalara 1970'li yılların ilk yarısında başlanılmıştır. Bu konudaki öncü çalışmalara örnek olarak Warburton vd. [60], Lee ve Wesley [61], Luco ve Contesse [62], Wong ve Trifunac [63], Aydınoglu ve Çakıroğlu [64] verilebilir.

Warburton vd. [60] harmonik olarak uyarılmış elastik zemin yüzeyinde birbirlerinden belirli uzaklıkta bulunan iki dairesel kütlelerin tepkilerini incelemiştir. Tek bir kütle dikkate alındığında sadece düşey hareket oluşurken, ikinci bir kütle olması durumunda düşey hareket diğer kütlelerin mevcudiyeti sebebiyle az oranda etkilense de, bir miktar yatay hareket ve salınım hareketleri de gözlemlenmiştir.

Lee ve Wesley [61] nükleer yapılarda iki zemin yoluyla yapıların birbirlerine olan etkilerini bir kaç tane esnek yapıyı dikkate alarak incelemiştir. İncelenen yapının yanında diğer bir yapının olup olmaması durumlarındaki yapı tepkilerindeki değişimleri incelemiştir. Nükleer güç santrali gibi birbirlerine yakın konumda bulunan yapıların sismik yüklerin azaltılmasını sağlayabildiğini, ancak yapıların yerleşimlerinin uygun olmadığı durumlarda ise, yapılara gelen sismik yüklerinin artabildiğini belirtmiştir.

Luco ve Contesse [62] rijit temel üzerinde bulunan sonsuz uzunluktaki iki perde durumu için, perdelerin birbirlerinin tepkilerinde oluşturduğu değişiklikleri incelemiştir. Deprem dalgalarının da içerisinde olduğu düşük frekans aralığı için diğer yapının mevcudiyetinin dikkate alınması diğer yapının tepkilerinde değişiklik meydana getirirken, yüksek frekanslar için sadece yapı ile zeminin dikkate alınmasının yeterli olacağını belirtmiştir. Bu çalışmalarda basitleştirilmiş yaklaşımlar kullanmalarına rağmen, birbirlerine yakın mesafede bulunan yapıların birbirlerinin davranışları üzerindeki olan etkilerine özellikle de düşük frekans aralığında dikkat çekmişlerdir.

Wong ve Trifunac [63] bir ya da daha fazla sayıda yan yana bulunan perde duvarlı yapıların birbirlerinin davranışlarına olan etkilerini incelemiştir. Komşu bir yapının bulunması durumunda yapı tepkilerinin tek bir yapının bulunması durumuna göre, diğer yapıdan yayılan titreşimler sebebiyle fark edilebilir seviyede değişebildiğini, bu etkilerin yapılara etkiyen sismik dalgaları kısmen korurken, bazı yapı grupları için deprem hareketinde büyütme sebep olabildiğini belirlemiştir.

Aydinoğlu ve Çakıroğlu [64] bir ve iki adet aynı özellikli yapıyı farklı zemin ve yapılar arasındaki mesafeler için yapıları geliştirdikleri matematiksel bir modelle analiz etmişlerdir. İki yapı durumu için yapı-zemin sisteminin frekans değerinin tek yapı olması durumuna göre arttığını ve yapılar arasındaki mesafenin azalmasıyla birlikte yapı salınımlarının arttığını belirtmişlerdir.

Yapılan bu öncü çalışmalardan sonra, bir çok araştırmacı analitik, sayısal ve deneysel gibi farklı yöntemleri kullanarak, birbirlerine yakın mesafede bulunan yapıların çeşitli durumları için birbirlerine olan etkilerini incelemiştir. Bu sayısal çalışmalardan sadece temellerin dikkate alındığı bazıları aşağıda verilmektedir.

Lin vd. [65] yan yana bulunan temellerin birbirleri arasındaki etkileşimi çeşitli durumlar için sonlu elemanlar ve tamamlayıcı sonsuz elemanları bir arada kullanarak incelemişlerdir. Temeller arasındaki mesafenin azalmasıyla artan ve tek bir temel halinde görülmeyen yatay ve düşey yerdeğiştirmeleri, sallınım hareketleri gibi davranışları etkileşim sonucunda gözlemlenmişlerdir.

Qian ve Beskos [66] kütsesiz ve rijit olan yüzeysel temeller arasındaki etkileşimi sınır elemanlar yöntemini kullanarak frekans ortamında iki ve dört adet temel bulunması durumu için incelemişlerdir. Düşey ve yatay rijitlikler ve temeller arasındaki etkileşim kısa mesafeler ve düşük frekanslar için temel sayısı arttıkça artarken, salınım ve burulma etkileri küçük mesafelerdeki etkileşimler için önemli olurken, temel sayısına bağılı olmamakla birlikte, yüksek frekanslarda arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, kısa mesafeli temeller arasındaki etkileşimin gözönüne alınmamasının bazı frekans aralıkları için hatalara sebep olabileceğini belirtmişlerdir.

Qian ve Beskos [67] sınır elemanlar yöntemini kullanarak, kütseli ya da kütsesiz iki adet yüzeysel temelin davranışını harmonik yükleme altında incelemişlerdir. Temel tepkilerinde tek bir temelin olması durumunda gözlemlenmeyen ve temeller arasındaki mesafenin azalmasıyla artan salınımların oluşmasının yanı sıra, temeller arasındaki dalga iletimi sonucunda yapı tepkilerinde faz farkı oluştuğunu da elde etmişlerdir.

Betti [68] homojen visko elastik zemine gömülü rijit temeller arasındaki etkileşimi iki farklı temel arasındaki mesafe için ve iki farklı gömülme derinliği değerleri için incelemişlerdir. Temeller arasındaki etkileşimi empedans matrisi ve temel girdi hareketine olan etkilerini esas alarak değerlendirmişlerdir. Empedans matrisi değerlerine göre, düşük frekanslar için empedans matrisi yerdeğiştirme, salınım ve burulma etkilerini arttırdığını ve artan frekans değerleri ve yapılar arasındaki mesafeler için bu etkilerin giderek azaldığını belirtmişlerdir.

Karabalis ve Mohammadi [69] frekans ortamında sınır elemanlar yöntemini kullanarak, bir iki ve üç adet temelden oluşan sistemleri zemin kalınlıkları, sönüm oranları, temeller arasındaki mesafeler gibi farklı durumlar için incelemişlerdir. Temeller arasındaki etkileşim sonucunda, temel-zemin-temel etkileşiminin temellerin bir çok dinamik özelliğini önemli derecede değıştirebildiğini, bunun sonucu olarak temel tepkilerinde önemli değışikliklerin meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Andersen [70] iki ya da daha fazla sayıda rijit temel ve iki tane zemine gömülü rijit kesitli esnek davranan kazıkların dinamik yapı-zemin-yapı etkileşimi nedeniyle oluşacak olan etkilerini incelemiştir. Zaman tanım alanında analizler için ise, toplu parametre modelleri geliştirerek yapı-zemin-yapı etkileşimi için gerekli olan

parametreleri belirlemiştir. Farklı yapı modları değerlerini baz alarak, geliştirdiği modelleri çeşitli durumlar için sonlu elemanlar modeli sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Wang ve Zhou [71] elastik zemin üzerindeki bir grup sürekli temelin bulunması durumu için yarı analitik yöntemi kullanarak temel altındaki gerilme değişimlerini ve empedans matrisindeki değişimleri baz alarak yapı-zemin-yapı problemini incelemiştir. Sürekli temeller arasındaki etkileşimin uygulanan etkinin frekans içeriğine bağlı olarak değişebildiğini, temeller arasındaki mesafenin azalmasıyla etkileşimin arttığını, ikiden çok sayıda temel olması durumu için ortak temellerde yapı-zemin-yapı etkileşimi sonuçlarının daha çok olduğunu belirtmişlerdir.

Nükleer enerji santralleri genellikle farklı işlevdeki bir çok yapının birbirine yakın mesafelerde yerleştirilmesiyle oluşan yapı topluluklarından meydana gelmektedir. Bu tesislere ait yapıların tasarımlarında olası her türlü durumda meydana gelebilecek etkiler en güncel teknikleri kullanarak dikkate alınması bu yapıların işlevleri ve potansiyel tehlikeleri sebebiyle bir zorunluluktur. Bu bağlamda, nükleer tesisler hakkında yapı-zemin-yapı etkileşimini dikkate alan bir çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bazıları yapı-zemin etkileşimi literatüründe önemli bir yer tuttuğu için aşağıda verilmektedir.

Imamura vd. [72] kısmen gömülü olarak nükleer reaktör binaları arasındaki yapı-zemin-yapı etkileşimini iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi, üç boyutlu sınır elemanlar yöntemi ve yanal sallananabilen model için ayrı ayrı analiz etmişlerdir. Yapılar arasındaki çapraz etkileşim sonucunda yapı tepkilerinin etkilendiğini belirtmişlerdir.

Xu vd. [73] birbirine yakın olan iki reaktör binası ve reaktör binasının yanında türbin binası olması durumları için deneysel ölçüm sonuçlarıyla yapı-zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı sayısal modelleri birbiriyle karşılaştırmışlardır. İncelenen yapının yanında başka bir yapının olmasının tek bir yapı olması durumuyla kıyaslandığında yapısal tepkilerde artışa sebep olabileceğini, sayısal modellerin daha güvenli tarafta kaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, yapı tepkilerinin yapıların tam gömülü olduğu durumda kısmen gömülü oldukları duruma göre daha az seviyede etkileşim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Anderson vd. [74] nükleer güç santralindeki yapılar üzerindeki yapı-zemin-yapı etkileşimini tüm binaları dikkate alarak ve en kritik binanın tepkilerini tek başına frekans ortamında analiz etmişlerdir. Analiz sonucunda, yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle bazı yapılardaki tepkilerin arttığını belirtmişlerdir.

Roy vd. [75] uniform zemin tabakası üzerinde yanyana bulunan hafif ve ağır nükleer yapılar için yapı-zemin-yapı etkileşimi problemini çeşitli yapılar arasındaki farklı mesafe değerleri, zemin türleri ve gömülme derinlikleri için yapı tepkilerinde oluşan etkileri incelemişlerdir. Yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda, yapıların tepkilerinin düşük frekanslı etkiler altında zemin türüne ve bina gömülme derinliğine bağlı olarak önemli ölçüde değişebildiğini, yüzeysel yapılarda pik yapı tepkilerinde azalma olduğunu ve yapılar arasındaki mesafenin bu konuda önemli bir parametere olduğunu belirtmişlerdir.

Yue vd. [76] bir nükleer tesiste bulunan ve aralarında yaklaşık 6 m mesafe bulunan türbin binasının daha ağır olan reaktör binası için deprem etkileri altında oluşabilecek yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda reaktör binasının davranışındaki değişiklikleri farklı zemin türleri için incelemişlerdir. Deprem etkileri altında reaktör binasının tek başına olması durumuyla, bu binanın yanında türbin binasının olması durumunda oluşacak yapı tepkilerinde önemli bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

Roy vd. [77] nükleer tesiste bulunan yapılar arasındaki etkileşimi yapılardaki tepki spektrumu ve en büyük ivme değerlerini göz önüne alarak farklı durumlar için incelemişlerdir. Farklı zemin durumları, temel gömülme derinlikleri, binalar arasındaki mesafe ve yapıların ağırlıkları inceledikleri parametrelerdendir. Bir yapının yakınındaki yapı ağır bir yapıysa, yapı tepkilerinde değişikliklere sebep olabildiğini, ayrıca zemin yumuşadıkça, yapılar arasındaki mesafe arttıkça ve temel gömülme derinliği azaldıkça yapıların arasındaki etkileşimin azaldığını belirtmişlerdir.

Yukarda bahsedilen özel türdeki yapılar arasındaki etkileşimlerin incelendiği çalışmaların yanısıra, daha yaygın olan türden yapıların çeşitli durumlar altında dikkate alındığı yapı-zemin-yapı etkileşimi çalışmalarından bazıları aşağıda verilmektedir.

Wang ve Schmid [78] yapıların basitleştirilmiş üç boyutlu sonlu elemanlarla, sonsuz zemin ortamını ise sınır elemanlarla modelleyerek, yapılardan birisinin harmonik yükleme durumu için yapılar arasındaki etkileşimi incelemişlerdir. Yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte etkileşimin azaldığını, yapıların farklı hizalarda olmasının önemli etkilerinin olduğunu ve yapıların doğal titreşim frekanslarındaki etkilerde etkileşimin daha çok arttığını belirtmişlerdir.

Wirgin ve Bard [79] Mexico City gibi sert zeminlerin üzerinde bulunan yumuşak zemin tabakalarında yüksek katlı yapıların deprem hareketi altındaki davranışını incelemek için yapıların basitleştirildiği sayısal modellerle incelemişlerdir.

Gueguen vd. [80] ölçekli çok katlı yapı, belirli bir yerdeğiştirme sonrasında aniden serbest bırakılarak yapının ve etrafındaki zemindeki kayıt ettikleri verileri incelemişlerdir. Bu deney kurulumunu daha sonra sayısal olarak modelleyerek, deneysel verilerle uygunluklarını karşılaştırmışlardır. Özellikle yapı ile zeminin periyotları birbirine yakın olduğu durumlarda yapıların çevresindeki zemin hareketini etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bu etki sebebiyle, yumuşak zemin üzerinde yapılaşmanın olduğu şehirlerde yer hareketinin yapıların ve zeminin özelliklerine göre önemli miktarlarda artıp azalabileceğini belirtmişlerdir.

Tsogka ve Wirgin [81] sert bir Zemin tabakası üzerindeki yumuşak zemin tabakasına tam bağlı olan, homojen blok olarak idealleştirilmiş 2 boyutlu yapıların farklı sismik tepkilerini incelemişlerdir.

Groby ve Wirgin [82] şehir ortamında çeşitli sayıda blokların yan yana olması durumunda oluşabilecek etkileri mod eşleme tekniği ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Yapıların hareketi sonucunda deprem süresinin uzadığını, bazı durumlarda depremin tek bir yapı olması durumuna göre büyüdüğünü ve özelliklerinin değiştiğini belirtmişlerdir.

Yahyai vd. [83] sonlu elemanlarla modellenmiş iki yüksek yapının üç farklı zemin koşulu için yapılar arasındaki mesafenin çeşitli değerleri için yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda, yapıların davranışlarında gelen değişimleri yerdeğiştirmeler, taban kesme kuvveti ve periyot değerlerini baz alarak incelemişlerdir. Etkileşim sonucunda yapıların periyotlarının arttığını, yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti değerlerinin ise sırasıyla 3 ve 2 katına varan oranlarda arttığını belirtmişlerdir.

Padron vd. [84] birbirine yakın mesafede bulunan bir grup kazıklı yapının Rayleigh ve kayma dalgaları etkisi için yapılar arasındaki etkileşimi frekans ortamında incelemişlerdir. Birbirine benzer karakterli yapıların yan yana olması durumunda, yapıların arasındaki etkileşimin önemli olduğunu, yapı tepkilerinin mesafeye ve sistemin genel özelliklerine göre artıp azalabileceğini belirtmişlerdir. Farklı dinamik özellikteki yapıların yan yana bulunduğu anda ise, kısa periyotlu yapının sismik yüklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Gouasmia ve Djeghaba [85] yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimi problemlerini sonlu elemanlar kullanarak doğrusal yöntemle birlikte iki boyutlu olarak ele almışlardır. Bunun için tek yapı ve zeminden oluşan sistemlerin yanı sıra, beş adet yapının ve zeminin bulunduğu durumları incelemişlerdir. Yapı-zemin etkileşimi durumu için, zeminin türünün yapı davranışında önemli olduğunu, yapı yerdeğiştirmelerinin büyük olduğunu fakat hızla azaldığını belirtmişlerdir. Yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle ise, yapıların titreşiminin daha uzun sürdüğünü,

yapı tepkilerinin bazı yapılar için arttığını ve bunun hasarlara sebep olabileceğini belirtmişlerdir.

Guidotti vd. [86] 2011 Christchurch depremini 3 boyutlu şehir ve deprem simülasyonunu yaparak şehirdeki binaların depreme olan etkisini yeni bir sonlu elemanlara bölme tekniğini kullanarak incelemişlerdir. Analizler sonucunda, şehirdeki binaların yer hareketini değiştirdiğini, deprem sırasında yapıların sadece pasif olarak değil aktif dalga kaynakları olarak davrandığını belirtmişlerdir.

Naserkhaki ve Pourmohammad [31] yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda visko-elastik zemin üzerinde bulunan yapıların davranışlarını sayısal olarak incelemişlerdir. Zeminin yumuşak olması durumunda yapıların periyot değerlerini arttırmasının göz önüne alınmamasının güvensiz tarafta olacağını ve bu artışın özellikle ilk periyot değerinde diğer modlara göre daha çok olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca zeminin kayma dalgası hızının 400 m/s üzerinde olduğu durumlarda ise yapı-zemin etkileşimi etkilerinin ihmal edilebilir seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir. Yapıların yüklerinin yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda azaldığını ve bu etkilerin yapılar arasındaki mesafenin yaklaşık temel genişliğinin yarısından büyük mesafe değerleri için neredeyse yok olduğunu belirtmişlerdir.

Alexander vd. [87] yapıların birbirleri ile olan etkileşimini ayrı ve basitleştirilmiş sistemlerin yaylarla birbirine etkilerinin iletildiği bir yaklaşımla incelemişlerdir. Yapı yükseklik oranlarını, en-boy oranını, binalar arasındaki mesafeyi ve zemin tipini parametre olarak dikkate almışlardır. Yüksek olmayan bir yapının yakınına yüksek katlı bir yapının yapılması halinde zemin türüne bağlı olmaksızın mevcut yapı üzerindeki deprem etkilerinin artabileceğini belirtmişlerdir.

Nateghi-A ve Rezaei-Tabrizi [88] yan yana bulunan farklı yükseklikteki iki adet yüksek katlı yapı arasındaki yapı-zemin-yapı etkileşimini incelemek amacıyla, yapıların arasındaki mesafenin 2,5 m ve 5 m olduğu durumları zeminin yumuşak ve sert olması durumları için incelemişlerdir. Yapıların doğal titreşim periyodu değerlerinin zeminin doğal titreşim periyot değerlerine yakın olduğunda, yapıların arasındaki etkileşim sonucunda yapıların doğrusal olmayan davranışlarında artışlar olabileceğini ve yapıların hasar seviyelerinde değişebileceğini belirtmişlerdir.

Wang vd. [89] yeraltı treni istasyonu ile kazıklı bir yapı arasındaki etkileşim problemini çeşitli durumlar için sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Yapı tepkilerindeki değişimleri yatay ivme değerlerinde değişimleri dikkate alarak değerlendirmişlerdir. Yapıların hizalarının ve deprem yönünün yapıların arasındaki etkileşimde önemli olan iki parametre olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, yapıların tepkilerinin tüm sistemin dinamik özelliklerine ve yapıların arasındaki mesafeye bağlı

olarak değiştiğini ve yapılar arasındaki mesafenin yeterli olması durumunda ise yapıların birbirlerini etkilemediğini belirtmişlerdir.

Alam ve Kim [90] yan yana bulunan iki az katlı betonarme çerçeve yapıların deprem yer hareketinin üç boyutlu yayınımlı sonucunda oluşan yapı davranışındaki farklılıkları üç farklı zemin tipi için incelemişlerdir. Yapıların davranışlarını yerdeğiştirmelerde ve güç spektrum fonksiyonlarındaki değişikliklerini temel alarak incelemişlerdir. Yer hareketinin yayınımlının dikkate alınmasıyla birlikte, yapılardaki davranışların değiştiğini ve bu değişimin özellikle de kaya zeminler için kil zeminlere göre çok daha fazla miktarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, yapıların yan yana olması durumunda yapı tepkilerinin çok değişmediğini fakat kat ötelenme oranlarını ve yerdeğiştirmelerin azaldığını belirtmişlerdir.

Ghiocel vd. [91] yoğun yapılaşmanın olduğu şehirlerdeki yapıların arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla, Romanya'da bulunan yüksek katlı bir yapı, kilise ve metro istasyonu arasındaki etkileşimi uyumlu ve uyumsuz yer hareketleri için incelemişlerdir. Her iki yer hareketi durumunda da yapılar arasındaki etkileşim sebebiyle yapı tepkilerinin değiştiğini ve bu etkileşimin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Knappett vd. [92] sismik yalıtımlı benzer ya da farklı yapılar arasındaki etkileşim problemini hem santrifüj testleriyle deneysel olarak hem de sonlu elemanlar modelleriyle sayısal olarak incelemişlerdir. Sonlu elemanlar modelleriyle elde edilen sonuçlarla sayısal olarak elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu, sayısal modellerin yapıların davranışlarını kabul edilebilir olarak temsil edebildiğini belirtmişlerdir. Yan yana bulunan yapıların birbirlerinin tepkilerini etkileşim sonucunda arttırıp azaltabildiğini, yapıların dinamik özelliklerinin dikkate alınarak yerleşiminin düzenlemesiyle birlikte yapıların arasındaki etkileşimin kontrol altında tutulabileceğini belirtmişlerdir.

Aldaikh vd. [93] yapıların arasındaki etkileşim sonucunda, yapı tepkilerindeki değişiklikleri incelemek amacıyla sarsma tablası testleri ile birlikte, ilgili modelleri sonlu elemanlar yöntemiyle nümerik olarak da incelemişlerdir. Yapıların geometrik özelliklerine (özellikle de yüksekliklerine göre) ve diğer yapıların sayısına göre etkileşim sonucunda yapıların davranışlarının tek bir yapının olması duruma göre olumlu ya da olumsuz olarak etkilenebileceğini belirtmişlerdir.

Ghandil vd. [94] yan yana bulunan farklı ya da aynı yükseklikteki iki yapı arasındaki etkileşim problemini üç boyutlu olarak incelemişlerdir. Zemin yapıları olan mesafelerine göre kısımlara ayırmışlar, yapıları yakın bölgedeki zemini bazı katsayılarla azaltarak eşdeğer doğrusal yöntem ile, uzak bölgedeki zemini ise

doğrusal olarak modellemişlerdir. Yapıların davranışlarındaki değişiklikleri kat kesme kuvvetleri ve katlar arası görelî ötelenme değerlerine göre değerlendirmişlerdir. Yapıların arasındaki mesafenin yapı temel genişliğinin yarısından az olduğu durumlarda etkileşimin göz önüne alınması gerektiğini, etkileşim sonucunda yerdeğiştirmelerin değıştiğini belirtmişlerdir.

Kirkwood ve Dashti [95] sıvılaşılabir bir zemin tabakası üzerinde bulunan sismik izolasyonlu ve birbirine yakın olarak yerleştirilmiş yapılar arasındaki etkileşimi santrifüj testleriyle deneysel olarak incelemişlerdir.

Wang vd. [96] yeraltı treni istasyonu ile kazıklı bir yapı arasındaki etkileşim sonucunda yeraltı yapısında meydana gelen değışiklikleri incelemişlerdir. Yapıları zemin ortamıyla birlikte sonlu elemanlar kullanarak modelleyerek, sistemin doğrudan yaklaşım yöntemiyle analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapıların birbirlerine göre olan hizalarının ve depremin uygulanma yönünün yapılar arasındaki etkileşim bakımından en önemli iki parametre olduğunu belirtmişlerdir. Yapıların tepkilerinin tüm sistemin dinamik özelliklerine ve yapıların arasındaki mesafeye bağılı olarak değıştiğini ve yeraltı yapılarının zemin yüzeyindeki yapıların bulunmasından önemli derecelerde etkilenebileceğini belirtmişlerdir.

Bybordiani ve Arıcı [97] bir grup yapı arasındaki yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle yapıların davranışlarında oluşabilecek değışimleri çeşitli durumları göz önüne alarak iki boyutlu sonlu elemanları kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Yapıların kat ötelenmesi ve taban kesme kuvveti değerlerini göz önüne almışlardır. Benzer az katlı yapılar arasındaki etkileşimin ihmal edilebilir olduğunu, ancak yüksek katlı ya da farklı yapılar arasındaki etkileşimin önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Tüm bu çalışmaların yanı sıra, yapı-zemin-yapı etkileşimi için yapılan sayısal çalışmalara benzer parameterik çalışmalar bir dizi deneysel çalışmalarda da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Çelebi [98] ve Çelebi [99] birbirine yakın konumdaki iki yapı üzerinde ve çevresinde yer alan ivme ölçer kayıtlarından elde edilen düşük ve yüksek genlikli kayıtları değerlendirerek, yapıların çevrelerindeki farklı yerlerde konumlandırılmış ivme ölçerlere ve birbirlerine olan etkilerini incelemiştir. Spektral analiz yöntemleri ile her iki yapının da dinamik özelliklerini kayıtlardan elde etmiştir. Yapıların yakınında bulunan yüzey ivme ölçerlerinden elde edilen verilerin, yapılardan gelen dalgalardan etkilenecek yapılara ait frekansları da içermesi sebebiyle katışıksız olmadıklarını ve dikkatli olarak kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Yapıların temellerinde kayıt edilen ivmelerle, yüzeyde kayıt edilen hareketler arasında çok fark olmadığını belirlemiştir. Ayrıca yapılar arasındaki etkileşimin Rayleigh dalgaları nedeniyle

meydana gelebileceğini ve bu etkileşim olayının az ve çok katlı yapıların birbirine yakın olduğu şehir gibi yapılaşma alanlarında incelenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Mason [100] yapı-zemin-yapı ve zemin-temel-yapı etkileşimi olaylarını incelemek için 3 farklı santrifüj deneyine ait verileri incelemiştir. Farklı temel türlerinin çerçeve sistem yapının farklı davranmasına sebep olabileceğini, grup yapılarda ise merkezden uzaktaki-dışardaki yapıların içerideki yapılara göre daha fazla hasar görebileceğini belirtmiştir. Çalışmaya göre, asimetrik yapılarda etkiyen deprem sayısı arttıkça (artçı şoklar) yapı-zemin-yapı etkileşimi önem arz etmektedir.

Clouteau vd. [101] yapı ve zemin ortamlarının sonlu doğrusal elemanlar ve sınır elemanlarla sayısal olarak çözüldüğü durumlarla arazide yapılmış olan testlerin sonuçlarını çeşitli durumlardaki yapılar için birbirleriyle kıyaslamışlardır. Ayrıca yapıların arasındaki etkileşimde etkili parametreleri belirlemek için parametrik çalışma da yürütmüşlerdir. Yüzeysel temelli yapılardaki etkileşimin yapı davranışlarındaki etkisinin çok fazla olmadığını ve bu etkilerin tepkileri azalttığını belirtmişlerdir.

Trombetta vd. [102] deprem etkisi altında yapıların birbirlerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, bir dizi santrifüj deneyi yapmışlardır. Yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapılara olan etkilerinin yararlı ya da zararlı olabileceğini ve zemin-temel-yapı etkileşimi konusunda bu etkilerin dikkate alınmadığını fakat yapıların tepkilerinin bu etkileşim sonucunda yer hareketi yoğunluğunun dolayısıyla yapılardaki hasarların tek binanın göz önüne alınması durumuna göre önemli miktarlarda değişebileceğini belirtmişlerdir.

Boutin vd. [103] yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimi etkilerinin yapılara etkilerini tek bir yapı ve bir çok yapı durumu için idealize edilmiş yapıları dikkate alarak incelemiştir. Yer hareketi etkisindeki yapıların yüzeydeki diğer yapıların davranışlarını değiştirebileceğini belirtmişlerdir.

Trombetta vd. [104] doğrusal olmayan zemin-temel-yapı ve yapı-zemin-yapı etkileşimi etkilerini iki santrifüj deneyi ile dört farklı yerleşimli modellerle incelemiştir. İncelenen çerçeve sistem yapının davranışının diğer yapıların davranışından etkilenmediğini, temellerin devrilme ve kesme kapasitelerinin temellerin düşey salınımı dolayısıyla meydana geldiği için, temel kuvvet etkilerinin (yatay kuvvet, düşey kuvvet ve devrilme momenti) tekil temelli çerçeve sistemlerin davranışı üzerinde önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Ngo vd. [105] yan yana bulunan yapılar arasındaki etkileşimin yapılar üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, yapıların çeşitli durumları için bir dizi

santrifüj deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yapıların arasındaki mesafeyi yapı tiplerini ve veri olarak kullanılan depremi göz önünde bulundurarak etkileri değerlendirmişlerdir. Tüm yapı türlerinde zemin-temel-yapı etkileşimi etkileri sebebiyle periyot değerlerinin uzadığını, yapıların arasındaki mesafenin dalga boyu değerinin dörtte biri olduğu durumda yapı tepkileri bakımından en olumsuz durumun gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Yan yana bulunan yapıların kütleleri yükseklik oranlarının yapı-zemin-yapı etkileşimi bakımından en önemli parametre olduğunu ve bu değerlere göre yapıların tepkilerinin artabileceğini ya da azalabileceğini belirtmişlerdir.

1.8 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yukarıda sunulan literatür çalışmalarında, yan yana bulunan çeşitli yapıların farklı durumları göz önüne alınarak bir çok deneysel ve sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak, yan yana bulunan yapıların birbirlerinin davranışları üzerinde olan etkilerini ayrıntılı bir şekilde inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, deprem etkisi altında birbirine yakın konumda bulunan yapıların arasında oluşan yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında meydana gelen değişimlerin mertebeleri ve yapı-zemin-yapı etkileşimine etki eden parametreler elde edilmeye çalışılacaktır. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye yapı stoğunda bulunan yapıların genel özelliklerine göre belirlenmiş olan 3, 6 ve 12 katlı yapıların yapı-zemin etkileşimi göz önüne alınarak elde edilen davranışları, ilgili yapıların zemine tam bağlı olduğu durumlara göre karşılaştırılarak belirlenecektir. Sonrasında, yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapıların üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, yan yana bulunan iki yapıdan oluşan durumlar farklı kat sayıları, yapılar arasındaki mesafeler, zeminin rijitlikleri, yerleşim şekilleri ve deprem etkilerinin olduğu çeşitli durumlar için analiz edilecektir ve bu parametrelerin yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında oluşturduğu etkiler değerlendirilecektir. Yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimi problemleri doğrudan çözüm yöntemi kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilecektir. Yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı sistemleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (2018)'e göre elde edilmiş olan tasarım spektrumu eğrisine göre üretilecek olan depremler etkisinde analiz edilecektir. Yapıların davranışlarını değerlendirmek için yapıların görece ivme ve yerdeğiştirme değerleri, zemin kat ötelenme oranı değerleri ve ivme değerlerine ait Fourier genlikleri dikkate alınacaktır.

2

Zemin ve Yapıların Sonlu Elemanlarla Modellenmesi için Yapılan Çalışmalar

Yapıların dinamik etkiler altındaki analizleri gerçekleştirilirken, genellikle yapıların zemine tam bağlı olduğu kabul edilirken, yapıların altında bulunan zemin sebebiyle dinamik özelliklerinde oluşacak farklılıklar ve analizi yapılan yapının yanında bulunan diğer yapılardan dolayı oluşacak muhtemel etkiler göz ardı edilmektedir. Yapılan tüm bu kabuller sonucunda, yapıların birbirine yakın konumda bulunduğu ve zemin tabakalarının bölgesel bile olsa yumuşadığı bölgelerde bulunan yapıların maruz kalacağı etkilerle, elde edilen analiz sonuçları birbirinden farklı olabilmektedir. Bu nedenle, yapıların analizleri gerçekleştirilirken yapıların maruz kaldığı tüm bu etkilerin göz önüne alınması gereklidir.

Yapı mühendisliği kapsamında dikkate alınan yapıların hepsinin boyutları sınırlıdır ve yapıların analizleri sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntemler kullanılarak belirli sayıda serbestliklerin göz önüne alınmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, sonsuz genişlikteki zemin ortamının yapılarla birlikte sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için bazı şartların uygulanması gereklidir. Zeminde gerekli davranışı sağlamayan sınırların kullanılması durumunda, zemin sınırlarına gelen dalgaların zemin ortamına geri yansımaya sebep olacaktır ve zeminin içerisindeki deprem hareketinin yayılması temsil edilemeyecektir. Deprem hareketinin ve diğer dalgaların zemin içerisinde yayılabilmesi için zemin sınırlarının ve zeminin modellenmesinde kullanılacak sonlu elemanların boyutlarının uygun bir biçimde tanımlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, ele alınan yapılar zeminle birlikte ele alınarak, çeşitli durumlar altında yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle zeminin yapılar üzerinde oluşturduğu etkiler yapı-zemin etkileşimi etkilerini göz önüne alarak incelenmiştir, sonra benzer yaklaşımlarla birlikte iki yapı arasındaki yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapı tepkilerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu bölümde,

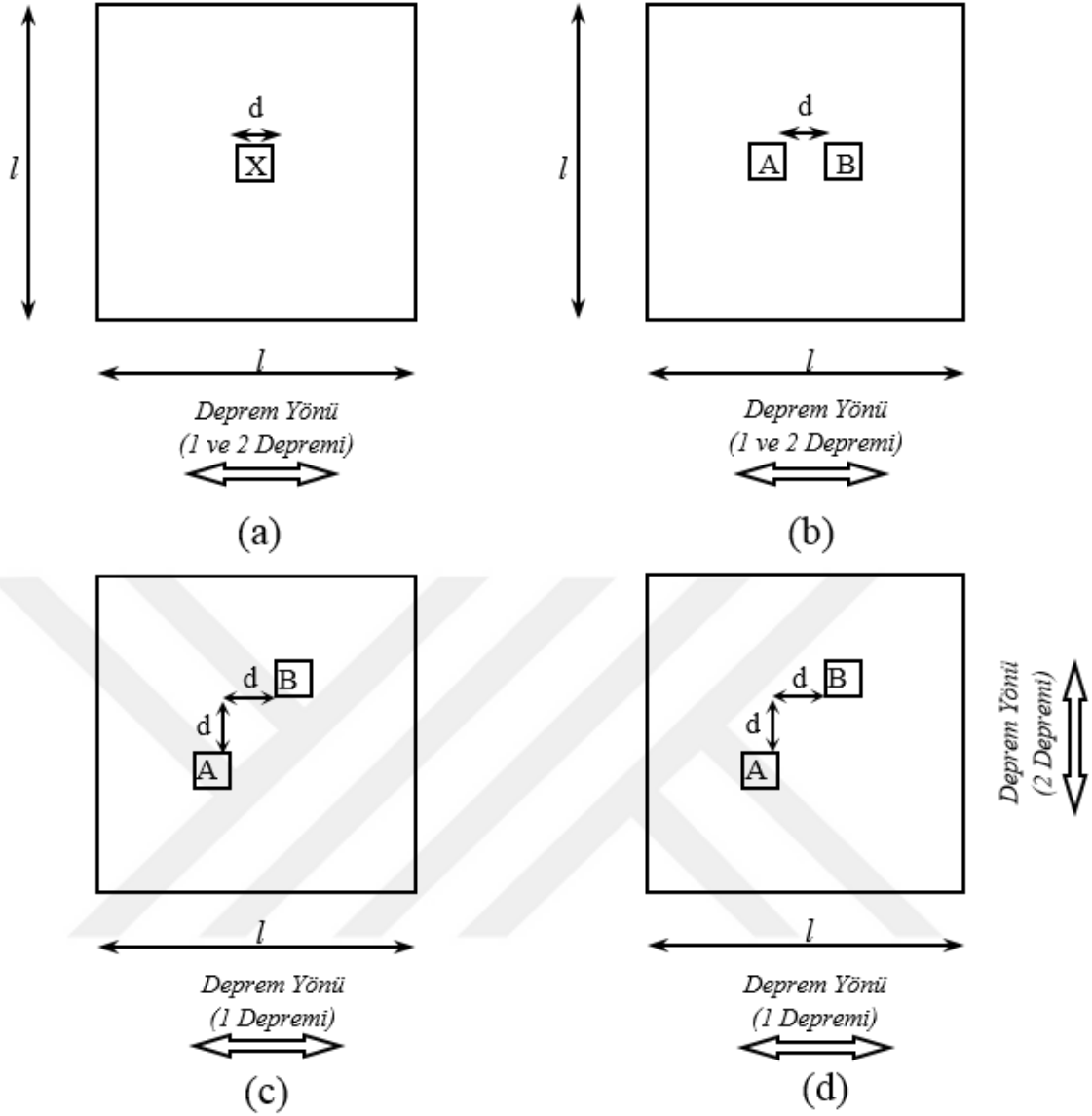
tüm bu analizlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan yöntemlerin yanında zemin ve yapıların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmesinde yapılan kabuller açıklanmaktadır.

2.1 Çalışma Kapsamında Göz Önüne Alınan Durumlar

Bu çalışmada, yapı-zemin etkileşimi ve yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında meydana gelen değişimler yapıların kat sayıları, yapılar arası mesafe, zemin rijitliği, yapıların yerleşim şekli, deprem etkisi gibi çeşitli durumlar için detaylı olarak incelenmektedir. Bu kapsamda ele alınan yapıların yerleşim durumları Şekil 2.1'de verilmektedir. Öncelikle yapıların altında bulunan zeminin yapı davranışındaki etkilerini görebilmek amacıyla, Şekil 2.1(a)'dan görüldüğü gibi zemin üzerinde sadece tek bir yapının bulunduğu durumlar incelenmektedir. Sonrasında, yapıların yanında aynı ya da farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlardaki yapı-zemin-yapı etkileşiminin incelenmesi amacıyla, Şekil 2.1(b)'den görüldüğü gibi yapıların aynı hizada olduğu durumlar ve Şekil 2.1(c) ve (d)'den görüldüğü gibi yapıların farklı hizada olduğu durumlar incelenmektedir. Yapıların yan yana bulunduğu durumda, yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle yapıların davranışlarında meydana gelen farklılıklar zemin üzerinde sadece ilgili yapının olduğu durumla karşılaştırılarak, yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapıların davranışları üzerindeki etkisi incelenmektedir.

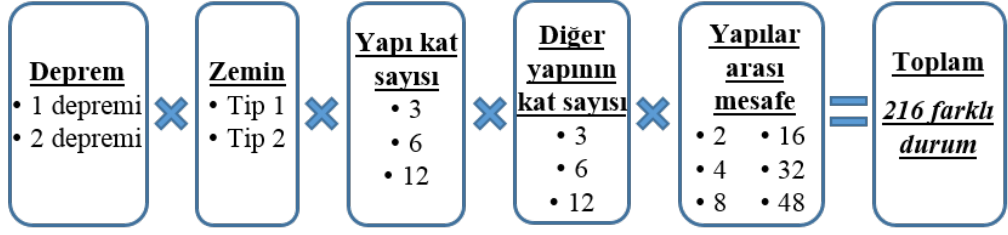
Çalışma kapsamında, 2 farklı deprem etkisi, 2 farklı zemin rijitliği, 3 farklı kat sayısındaki yapı, komşu yapının aynı ya da farklı kat sayısında olması ve yapılar arasında 6 farklı mesafe için yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapılara olan etkileri incelenmektedir. Şekil 2.2(a)'dan görüldüğü gibi, aynı hizada bulunan yapıların arasındaki etkileşimin incelenmesi için 216 farklı durum incelenirken, Şekil 2.2(b)'den görüldüğü gibi farklı hizada bulunan yapıların tek doğrultudaki deprem etkisi altındaki davranışları ise 108 farklı durum için değerlendirilmektedir. Şekil 2.2(c)'den görüldüğü gibi, farklı hizada bulunan yapıların iki doğrultudaki deprem etkisi altındaki hareketlerinin değerlendirilmesi için ise 108 farklı durum değerlendirilmiş olup, bu durumda her iki yatay doğrultudaki sonuçlar ayrı ayrı değerlendirildiği için bu durumda toplam 216 farklı duruma ait sonuçlar değerlendirilmektedir. Zemin ve yapılardan oluşan sistemlerin analizleri 2,7 GHz hıza sahip 24 çekirdekli, 1866 MHz hıza sahip 64 GB RAM bulunan, 8 adet SSD disk ile RAID 0 uygulanmış bir iş istasyonunda gerçekleştirilmiştir ve bir analizin tamamlanması için gerekli süre yaklaşık olarak 9 saat civarında olmaktadır.

Çalışma kapsamında, farklı dinamik özelliklere sahip olan yapıları incelemek amacıyla, 3, 6 ve 12 katlı çerçeve taşıyıcı sistemli olan konut türü yapılar dikkate

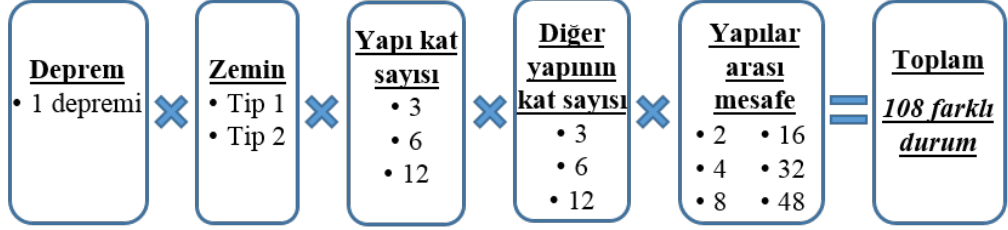


Şekil 2.1 Çalışma kapsamında ele alınan yapıların yerleşim durumları (a) zemin üzerinde tek olması durumu, (b) aynı hizada olması ve (c) farklı hizada olması durumu (tek doğrultuda deprem etkisi) (d) farklı hizada olması durumu (iki doğrultuda deprem etkisi)

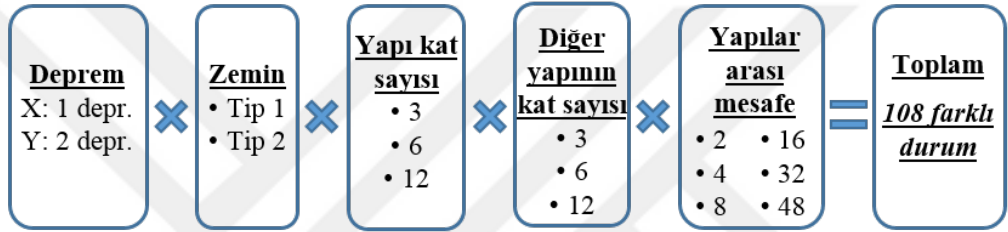
alınmıştır. Bu yapıların geometrik özellikleri belirlenirken Türkiye'deki yapı stoğunun genel özellikleri dikkate alınmıştır. Yapıların kat planları tayin edilirken, kütle ve rijitlik merkezlerinin üst üste çakıştığı simetrik yapılar göz önüne alınarak, yapıların burulma sonucunda oluşan etkilerinin incelenen sonuçlara olan etkisinin olmaması amaçlanmıştır. Tüm yapılar aynı kat planına sahiptir: Yapılar her iki doğrultuda 4 m açıklıklı, 5'er akstan oluşmaktadır. Şekil 2.3'te yapıların kat kalıp planları verilmektedir. Türkiye yapı stoğunda 6-8 kat arasındaki yapıların taban alanları dağılımına göre yapıların %26'sının taban alanı $200-300 m^2$ arasında bulunmaktadır [106]. Bu sebeple, yapıların kenar uzunluklarının her iki yönde 16 m olacak



(a)



(b)

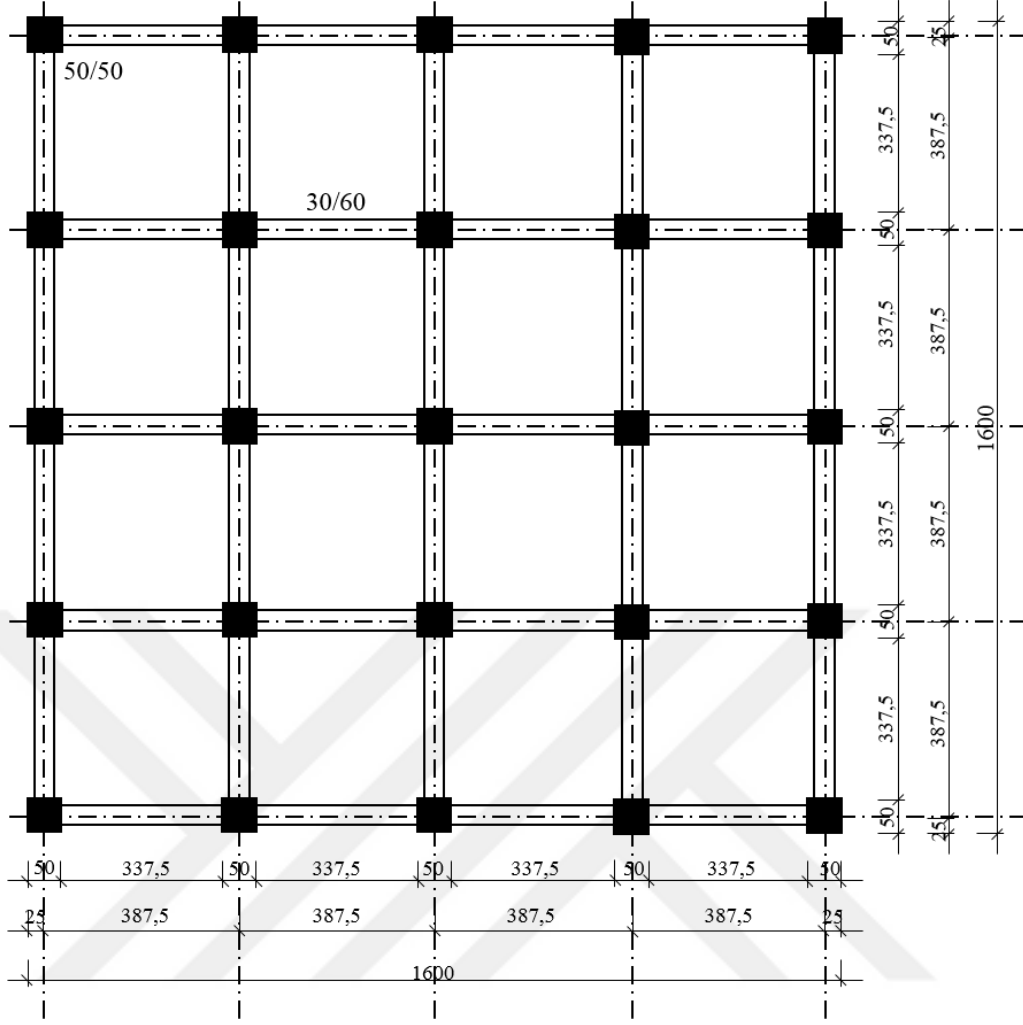


(c)

Şekil 2.2 Göz önüne alınan durumlar (a) yapıların aynı hizada olduğu durum, (b) yapıların farklı hizada olduğu durum (tek doğrultuda deprem etkisi) ve (c) yapıların farklı hizada olduğu durum (iki doğrultuda deprem etkisi)

biçimde seçilmesi ve yapıların taban alanlarının $256 m^2$ olması uygun görülmüştür. Türkiye'deki yapıların giriş kat yükseklikleri diğer normal katlara göre %14 daha yüksektir ve Türkiye'deki yapıların ortalama normal kat yükseklikleri 2,84 m'dir [106]. Bu sebeple, modellemelerde kolaylık sağlaması amacıyla ele alınan yapıların normal katlarının yükseklikleri 3 m, giriş katlarının yükseklikleri ise 3,5 m olacak şekilde dikkate alınmıştır.

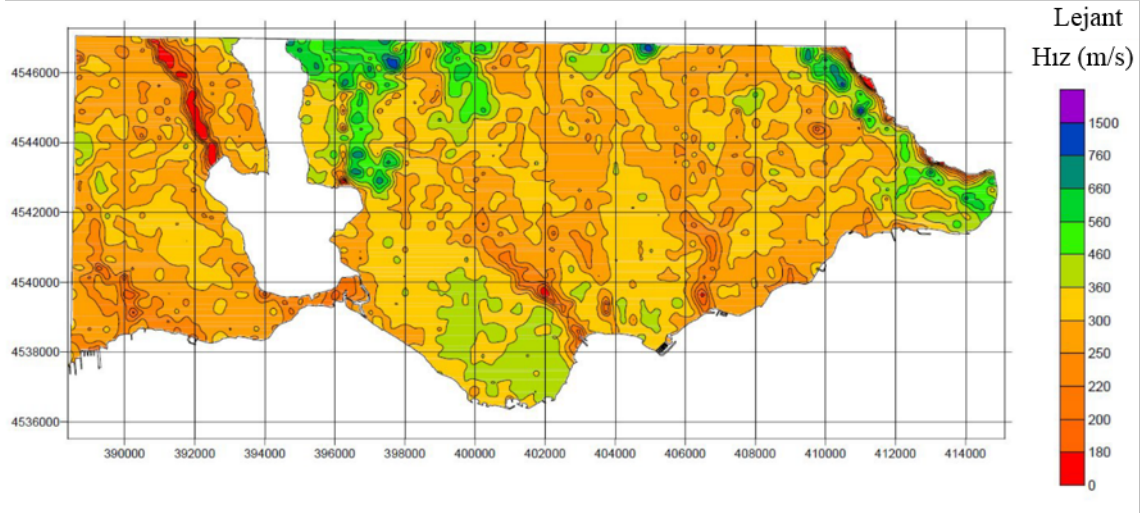
Yapılardaki kolon boyutları tayin edilirken $100 m^2$ 'lik bir alan içerisinde bulunması gereken kolon sayısı ve alanı dikkate alınmıştır. Türkiye'de bulunan 6-8 kat sayısına sahip yapılarda $100 m^2$ 'lik bir alan içerisinde kolon sayısı ortalama olarak 10,8 adet ve kolon alanlarının toplam kat alanlarına oranı %2,3 civarındadır [107]. Bu değerler göz önüne alınarak, $100 m^2$ 'lik bir alan içerisinde kolon sayısı 9,81 adet ve kolonların alanlarının toplam kat alanına oranı ise %2,3 olacak şekilde kolon boyutları belirlenmiştir. Buna göre, kolonların kare şeklinde ve enkesit boyutlarının 50 cm seçilmesi uygun görülmüştür. Yapılarda kolonlara ek olarak herhangi bir düşey taşıyıcı eleman dikkate alınmamıştır. Yapılardaki kirişler 30 cm genişliğinde, 60 cm



Şekil 2.3 Çalışma kapsamındaki yapıların kat kalıp planı

yüksekliğinde olacak biçimde seçilmiştir. Kat döşemeleri genel yapı kuralları dahilinde 15 cm kalınlığında olarak belirlenmiştir. Temel radye seçilmiş olup, kalınlığının 50 cm olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

Yapıların altında yumuşak ve orta sertlikte olmak üzere iki farklı rijitlikte olan zemin bulunduğu dikkate alınmıştır. Böylece, farklı rijitlikteki zeminlerin yapı-zemin etkileşimi ve yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarına olan etkileri incelenebilecektir. Zeminlerin rijitlikleri belirlenirken kayma dalgası hızları dikkate alınmıştır. İstanbul Avrupa Yakası Güney kesimindeki zeminlerin zemin profilinin ilk 30 m'sindeki ortalama kayma dalgası hız değerine ($V_{s,30}$) bakıldığında büyük bir kesimdeki kayma dalgası hızlarının 300 m/s civarında olduğu görülmektedir (Şekil 2.4). Bu bölgedeki zemin sınıfı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre ZD, NEHRP zemin sınıflandırma sistemine göre ise D sınıfındadır. Bununla birlikte, belirli bölgelerde $V_{s,30}$ değerinin daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Zeminin rijitliğinin azalmasıyla birlikte yapıların davranışlarının daha çok etkileneceği



Şekil 2.4 İstanbul Avrupa Yakası Güney Bölgesi'nin $V_{S,30}$ profili [108]

bilinmektedir. Buna ek olarak, yapı-zemin-yapı etkileşimi etkilerinin de değişeceği ön görülmektedir. Bu sebeple, yapıların altında ilk 30 m'deki ortalama kayma dalgasının değerinin 150 m/s olduğu bir zemin profilinin olduğu durumlar da incelenecektir. Dikkate alınan bu zemin sınıfı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre ZE, NEHRP zemin sınıflandırmasına göre E sınıfında bulunmaktadır. Bu çalışmada $V_{S,30} = 150 \text{ m/s}$ olan zemin tip 1 zemini, $V_{S,30} = 300 \text{ m/s}$ olan zemin ise tip 2 zemini olarak adlandırılmaktadır.

Zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği alanında gerçekleştirilen çok sayıda deney sonucunda, zeminlerin bazı özellikleri bilinmesi halinde, zeminlerin diğer özellikleri zemin türüne bağlı olarak yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Yapıların altında göz önüne alınan zeminin türü kil olarak varsayılarak, zeminlerin rijitliklerine göre Poisson oranları Tablo 2.1 kullanılarak yaklaşık bir şekilde bulunabilmektedir. Buna göre, her iki zemin türü için de Poisson oranlarının $0,35$ olarak seçilmesi uygun olmaktadır. Ayrıca, zeminlerin birim hacim ağırlıklarının 1800 kg/m^3 olarak alınması genel olarak killi zeminler için kabul edilebilir değer aralığındadır [109].

Tablo 2.1 Zemin türleri için temsili Poisson oranları [109]

Zemin	Poisson oranı
Gevşek kum	0,20-0,40
Orta sıklıkta kum	0,25-0,40
Sıkı kum	0,30-0,45
Siltli kum	0,20-0,40
Yumuşak kil	0,15-0,25
Orta sertlikte kil	0,20-0,50

2.2 Zemin Ortamının Modellenmesi

Gerçekte sonsuza uzanan zeminin sonlu elemanlar yöntemiyle birlikte belirli sayıda eleman kullanarak modellenmesi sırasında, zemin ortamının ön görüldüğü gibi davranması ve istenilen sonuçların elde edilebilmesi için bazı özel şartların sağlanması gerekmektedir: Dinamik analizlerde, sismik dalgalar zemin içerisinde uygun bir şekilde yayılabilmeli, zemin üzerinde bulunan yapılar zemin sınırlarından etkilenmemeli ve zemin sınırları hem dalgaların iletimini sağlamalı hem de serbest yüzey durumuna benzer bir şekilde davranabilmelidir. İlk koşul olan sismik dalgaların zemin içerisinde yayılabilmesinin sağlanması zemini modellemekte kullanılan sonlu elemanların uygun bir türde ve uygun boyutlarda seçilmesi ile sağlanabilmektedir. İkinci şart olan yapıların davranışlarının zemin sınırlarından etkilenmemesi şartı ise, dikkate alınan zemin ortamının yeterli genişlikte seçilmesi ile temin edilebilmektedir. Zemin sınırlarıyla ilgili olan diğer bir şart ise, zeminin yeterli genişlikte seçilmesiyle birlikte, sınırlardan yansıyan dalgalar zemin ortamının sönümü sayesinde etkileri yapılara ulaşmadan yok olabilmektedir. Zemin sınırlarında serbest yüzey hareketinin sağlanması ise uygun bir sınır şartı seçilerek sağlanabilmektedir. Zemin ortamının dalga yayılımına izin vermesi ve yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimi problemlerinde zemin ortamı kütlesiyle birlikte dikkate alınmıştır. Zemin ortamındaki sönüm Rayleigh tipi olarak uygulanmıştır. Bu bölümde, bahsedilen bu şartların zemin ortamında sağlanması için sonlu elemanlar modellerinde yapılan uygulamalar aşağıda verilmektedir.

2.2.1 Sonlu Elemanların Boyutlarının Belirlenmesi

Bir dış etkiye maruz herhangi bir hacmin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmesi halinde elde edilen sonuçların doğruluğu modeli oluşturan sonlu elemanların büyüklüklerine bağlı olmaktadır. Oluşturulan bu hacmin zemin ve dış etkinin deprem etkisi olması halinde de benzer bir durum görülmektedir. Sismik dalgaların zemin modeli içerisinde yayılmasının doğru bir şekilde elde edilmesi için zemini modellemek için kullanılan sonlu elemanların boyutlarının uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Hacim elemanlar için uygun olan sonlu eleman boyutunu belirlerken, yayılması istenilen frekans aralığı ve zeminin kayma dalgası hızı değerleri kullanılmaktadır. Kayma dalgası hızı V_s olan bir zemin ortamı içerisinde iletilmesi istenilen en yüksek frekans f_{max} değerinin bilinmesi halinde gerekli olan sonlu eleman boyutu Δh

$$\Delta h = \frac{\lambda}{n} = \frac{V_s}{nf_{max}} \quad (2.1)$$

denklemleri ile belirlenebilmektedir. Bu denklemdeki λ dalga boyu, n ise bir dalga boyu içerisinde bulunması istenilen sonlu eleman sayısıdır. n değerinin genel olarak 5-8 aralığında seçilmesi yeterli olarak olmaktadır [110]. Denklem 2.1'e göre, belirli frekans içerisindeki dalganın iletilmesi için gerekli eleman boyutu kayma dalgası hızının düşük olduğu zeminlerde kayma dalgası hızının yüksek olduğu zeminlere kıyasla daha küçük boyutta olmaktadır. Sonlu elemanların boyutları yeteri kadar küçük seçilmemesi durumunda, sayısal sönümün sonucunda deprem dalgalarının içeriği değişebilmekte ve bazı pik değerleri azalabilmektedir. Zeminlerin sismik analizinde dikkate alınacak en büyük frekans değerinin 10 Hz alınması genellikle yeterli olmaktadır [59]. Çünkü, bu frekans değerinin altındaki dalgaların enerjileri üstündeki dalgaların sahip olduğu enerjiden çok daha fazla olmaktadır [111]. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında, zemin ortamının yapılacak olan analizlerde gerekli frekansları iletebilmesi için sonlu elemanların boyutlarının 2 m olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

Zemin ortamının sonlu elemanlarla modellenmesi için ANSYS [112] programında bulunan SOLID185 elemanı kullanılmıştır. SOLID185 elemanı üç boyutlu cisimlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu eleman altı yüzlüdür ve köşelerinde I, J, K, L, M, N, O ve P olmak üzere toplam 8 adet düğüm noktası bulunmaktadır. Her bir düğüm noktasında sırasıyla X, Y ve Z doğrultularında UX, UY ve UZ olmak üzere 3'er adet ötelenme serbestlikleri bulunmakta olup, elemanın toplamda 24 adet serbestliği mevcuttur. Elemandaki bu serbestlikler sonucunda, bu hacim elemanı farklı şekiller alabilmektedir. Şekil 2.5'te SOLID185 elemanının köşe noktaları, yüzleri ve alabileceği şekillerden bazıları gösterilmektedir.

Dalgacık serileri istenilen özellikteki dalgacıkların bir araya gelmesi sonucu oluşan serilerdir. Çeşitli analizlerde kullanılmak amacıyla Ormsby, Ricker, Sweep, Wavemin, Wavevib ve Waves gibi bir çok dalgacık formu geliştirilmiştir. Dalgacık serilerinin genlikleri genellikle sıfırdan başlamakta, zamanla artmakta ve son zaman adımıyla sıfırda sona ermektedir. Mühendislik amacıyla geliştirilmiş tüm dalgacık serilerinin özel bir matematiksel biçimi bilinmektedir ve dalgaların etkin frekansları, dalga sürelerinin uzunlukları gibi belirli özellikleri bu matematiksel ifadeler vasıtasıyla düzenlenebilmektedir. Genellikle dalgacıkların spektrum büyüklüklerinin belirli baskın frekansa göre bir şekli olmasının yanı sıra, bu şekle bağlı olan bir faz spektrumu da bulunmaktadır. Fakat, veri işlemindeki asıl uğraşılacak olan veriden dalgacık formunu çıkarmak olduğu için, işlenmiş sismik verilerin genellikle tanımlanmasında sıfır fazlı dalgacıklar kullanılmaktadır [113].

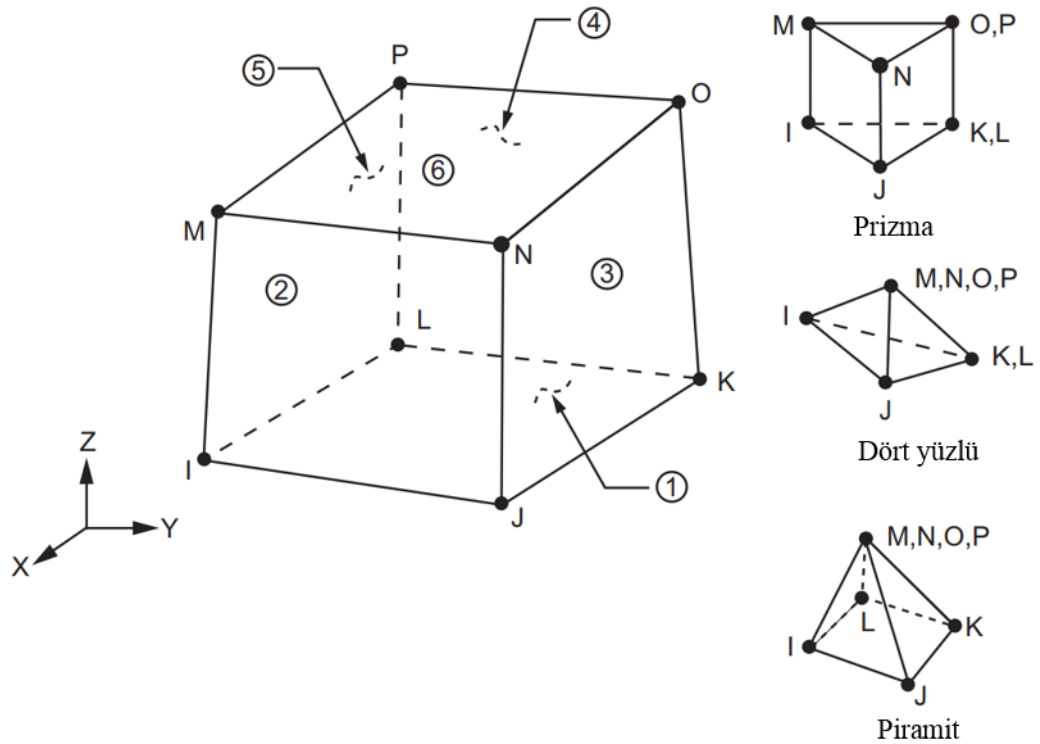
Bu çalışma kapsamında, Denklem (2.1) kullanılarak zemin ortamının modellenmesi için uygun olarak belirlenen sonlu eleman boyutlarının kontrol edilmesi amacıyla

Ormsby ve süpürme sinüs (sine-sweep) dalgacıkları kullanılmıştır. Ormsby dalgacığında tek bir etkin frekans değeri olmayıp bunun yerine istenilen genişlikte bir frekans aralığı bulunmaktadır ve bu frekans sınırlarının dışında dalgacığın genliği aniden azalmaktadır. Ormsby dalgacıkları genellikle belirli frekans içeriğinde olan, düz genlikli olacak şekildeki işlenmiş sismik verileri temsil etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ormsby dalgacığının matematiksel fonksiyonu

$$\omega(t)_{ormsby} = \left(\frac{\pi f_4^2}{f_4 - f_3} \right) \left(\frac{\sin \pi f_4 t}{\pi f_4 t} \right)^2 - \left(\frac{\pi f_3^2}{f_4 - f_3} \right) \left(\frac{\sin \pi f_3 t}{\pi f_3 t} \right)^2 - \left(\frac{\pi f_2^2}{f_3 - f_1} \right) \left(\frac{\sin \pi f_2 t}{\pi f_2 t} \right)^2 + \left(\frac{\pi f_1^2}{f_2 - f_1} \right) \left(\frac{\sin \pi f_1 t}{\pi f_1 t} \right)^2 \quad (2.2)$$

şeklinde verilmektedir. Bu dalgacık formunda, dalganın ortasında çok dar olan dalgacık içermesine rağmen oldukça çok enerji üretmektedir. Ormsby dalgacık formunun tanımlanabilmesi için $f_1 < f_2 < f_3 < f_4$ olacak şekilde temel 4 farklı frekans değeri gerekmektedir. Bu frekanslar;

- f_1 : Düşük frekanslı durdurma bandının üst sınırı değeri olup üretilen dalgacık bu frekanstan daha küçük frekanslı dalga içermemektedir.



Şekil 2.5 SOLID185 elemanın geometrisi ve alabileceği şekillerden bazıları

- f_2 : Geçiş bandının alt ucunun frekans değeri olup, f_1 ile f_2 arasında f değerleri doğrusal olarak azalmaktadır.

- f_3 : Geçiş bandının üst ucunun frekans değeri olup, frekans genliği f_2 ve f_3 arasında sabittir.

- f_4 : Yüksek frekans durdurma sınırının alt sınır değeri olup, bu frekans içeriğinden daha yüksek frekanslı herhangi bir dalga bulunmamaktadır.

Ormsby dalgacığında f_1 frekansında band genişliği başlarken (bandpass) tam genişliğe f_2 frekansında erişmektedir. Dalgacık f_2 ile f_3 frekansları arasında tam genliğini korumakta ve f_4 frekansında ise dalgacığın frekans içeriği sona ermektedir. Ormsby dalgacığı esasında sonsuza kadar devam etmektedir. Ancak, zaman tanım alanında yapılan analizlerde bu dalgacığın belirli bir kısmı kullanılabilir. Bu nedenle, bazı durumlarda alt ve üst sınır frekanslarında dalgacığın frekans içeriği sıfırdan farklı olabilmektedir. Ormsby dalgacıklarının zaman genişliği dalgacığın en büyük genliğe ulaştığı dalganın her iki tarafında sıfır genliğe ulaştığı anlardaki sürelerin farkı olarak dikkate alınmaktadır. Ormsby dalgacıklarında, zaman ve frekans genişlikleri arasında ters bir orantı bulunmaktadır: Eğer ki bir Ormsby dalga formu zaman tanım alanında diğer bir Ormsby dalgacığına göre daha genişse, frekans tanım alanındaki genişliği diğer dalgacığa göre daha küçük olmaktadır [113].

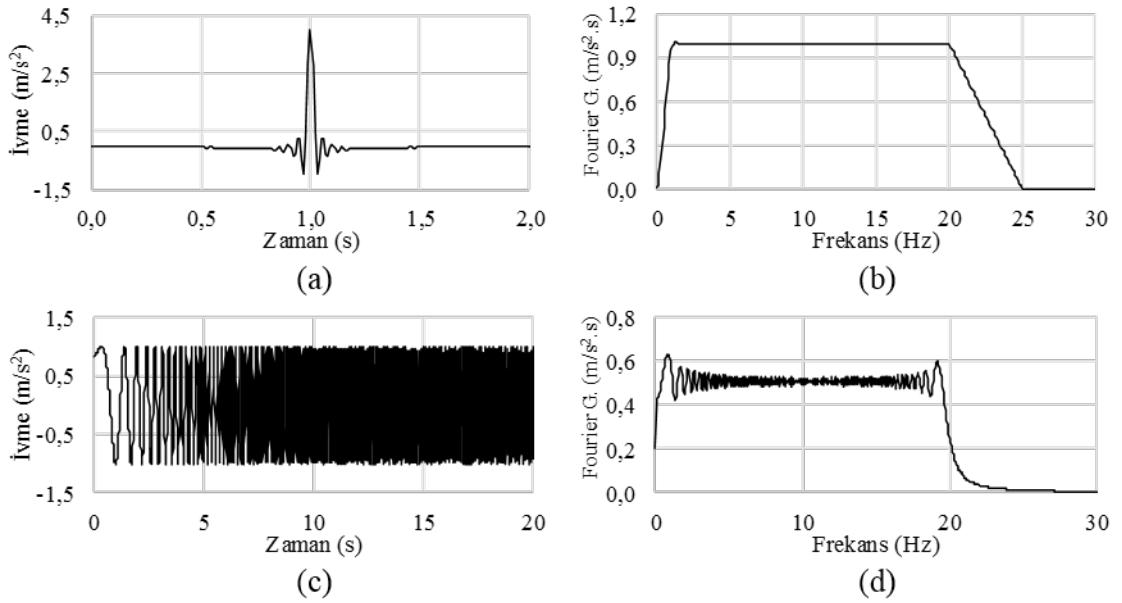
Bu çalışmada sonlu eleman boyutlarının belirlenmesinde kullanılan Ormsby dalgacıkları tanımlanırken f_1 , f_2 , f_3 ve f_4 frekans değerleri sırasıyla 0,1 Hz, 1 Hz, 20 Hz ve 25 Hz olan Ormsby dalgacıkları üretilerek kullanılmıştır. Şekil 2.6 (a)'da oluşturulan Ormsby dalgacıklarının zamanla değişimi ve Şekil 2.6 (b)'de bu dalgacık formunun Fourier genliğinin frekansla olan değişimi gösterilmektedir.

Ormsby dalgacık formunun yanı sıra, fiziksel olarak daha sık karşılaşılan fakat frekans içeriği bakımından Ormsby dalgacıkları kadar düzgün içerikli olmayan, aynı genlikteki frekans içeriğinin zamanla değiştiği bir çok sinus dalgasının ardarda eklenmesiyle meydana gelen süpürme sinus dalgacığı da zemin boyutlarının uygunluğunun model üzerinde kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu dalgacık üretilirken 0.1 ve 20 Hz aralığındaki dalgalardan oluşturulmuştur. Şekil 2.6 (c) ve (d)'de süpürme sinus dalgası formunun zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla olan değişimleri gösterilmektedir.

Sonlu eleman boyutunun zemin içerisinde dalgaların yayınımına etkisinin incelenmesi için, her iki yatay doğrultuda 208 m ve 48 m yüksekliğinde ve sınırları bağlı sınırlarla modellenmiş olan zeminin üzerine bu çalışma kapsamında incelenen yapılarla aynı temel boyutta ve yüksekliği 5 m olan katı bir hacimsel yapı modellenmiştir. Şekil

2.6 (a) ve (c)'de gösterilmiş olan Ormsby ve süpürme sinüs dalgası dalgacıkları 10 bin ile çarpılarak yapının üzerinden yatay doğrultuda ayrı ayrı kuvvet (N) olarak uygulanmıştır. Dikkate alınan yapının yapı-zemin etkileşimi göz önüne alınarak hesaplanan doğal titreşim periyodu 0,279 s'dir. Zemin üzerindeki cisim yerine zemin üzerindeki herhangi bir düğüm noktasına kuvvet uygulanırsa, bu kuvvet etkisi sonlu elemanın şeklinin bozulmasına sebep olabilmektedir. Diğer yandan kuvvet yerine yerdeğiştirme uygulanması durumunda, cismin hareketinin uygulanan yerdeğiştirme formuna birebir uyması gerektiği için zemin üzerindeki yapının ve düğüm noktalarının hareketi tutulu bir hareket gibi davranacağından cisme ya ivme ya da kuvvet uygulanması cisme hareket kazandırıp zemini uyarırken, yükleme sürecinde ve sonrasında sistem davranışını kısıtlamamaktadır.

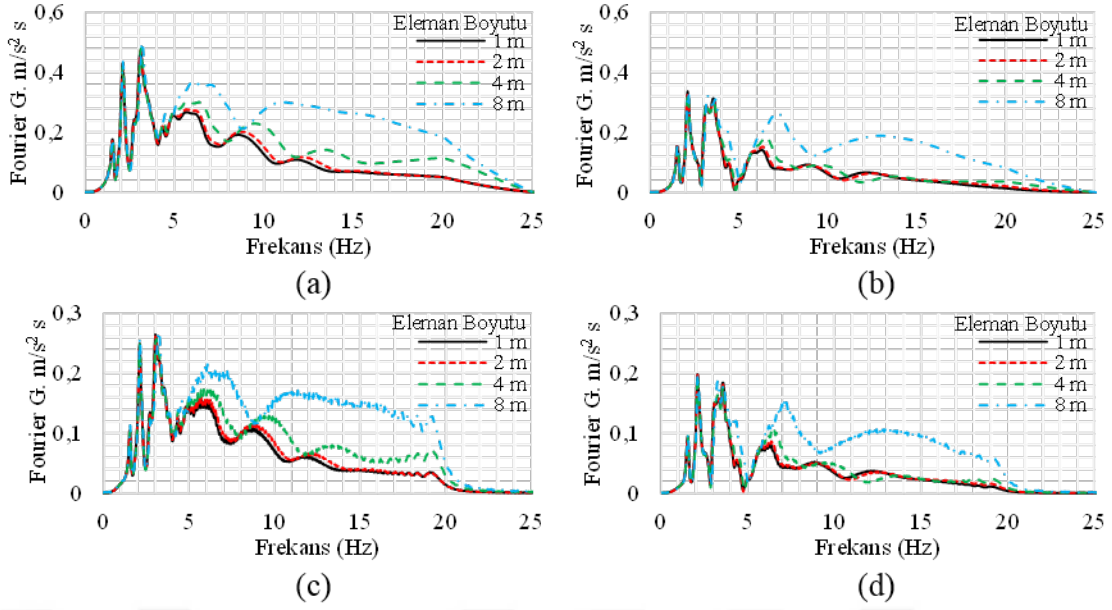
Modellenen zemin ortamı için seçilen sonlu eleman boyutlarının ön görüldüğü gibi yeterli frekans içeriğindeki dalgaların iletimini sağladığını doğrulamak amacıyla 1 m, 2 m, 4 m ve 8 m boyutundaki sonlu elemanlarla modellenmiş olan zeminin üst orta noktasından 16 m ve 24 m mesafede bulunan düğüm noktalarında meydana gelen etkileri frekans ortamında irdelenmiştir. Böylece, zemin içerisinde yayılan dalgaların frekanslarının sonlu eleman boyutuna bağlı değişimleri elde edilebilmiştir. Denklem (2.1)'den bu çalışma kapsamında dikkate alınan tip 1 zemini frekans iletimi ve sonlu eleman boyutu bakımından tip 2 zeminine göre daha belirleyici olsa da, her iki zemin tipi için de dalgacıklar kullanılarak sonlu eleman boyutlarının frekansla olan ilişkisinin irdelenmesi gerçekleştirilmiştir.



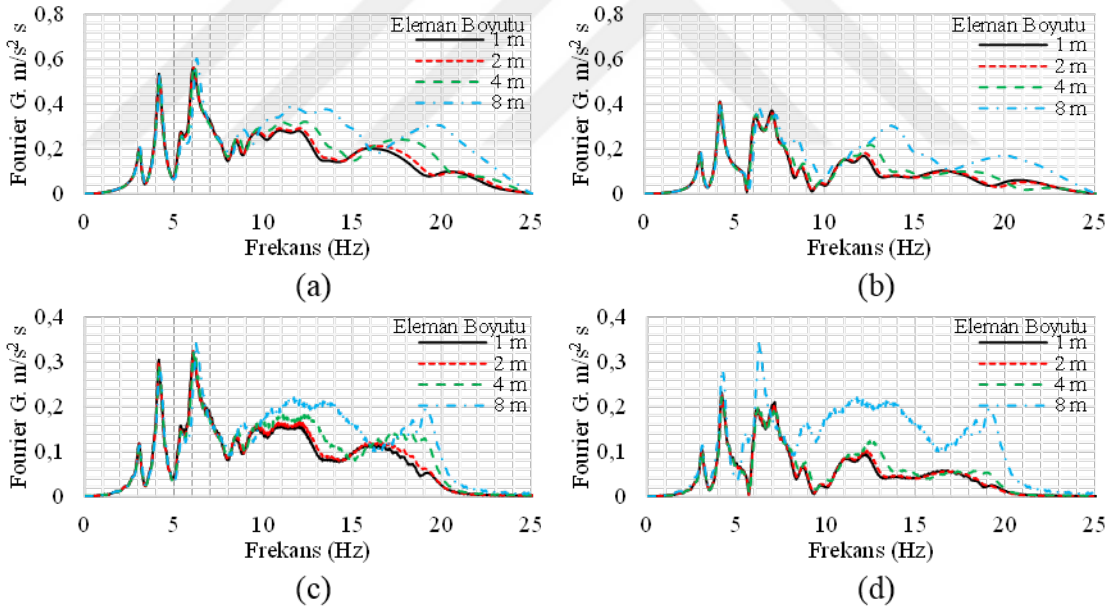
Şekil 2.6 Ormsby dalgacığının (a) zamanla değişimi, (b) Fourier genliği ve süpürme sinüs dalgasının (c) zamanla değişimi ve (d) Fourier genliği

Farklı sonlu eleman boyutlarıyla modellenmiş olan tip 1 zemininin Ormsby dalgacığı etkisi altında zemin üst orta noktasından 16 m ve 24 m uzaklıktaki düğüm noktasının ivmelerinin Fourier genlikleri Şekil 2.7 (a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 2.7 (c) ve (d)'de ise aynı düğüm noktalarının süpürme sinüs dalgası etkisindeki davranışı verilmektedir. Sonuçların incelendiğı düğüm noktasının yükün uygulandığı noktadan uzaklaştıkça sönüm ve dalganın zemin içerisinde yayılması sonucunda düğüm noktasında elde edilen tepkilerin Fourier genliklerinde azalma olduğı görülmektedir. Ancak, bu değışim zeminin sonlu eleman boyutlarının değılendirilmesinde önemli bir farklılığa sebep olmamaktadır. Zemine uygulanan her iki dalgacık formu için de benzer sonuçlar elde edilmektedir. Düğüm noktalarında elde edilen sonuçlara göre, zeminin farklı boyuttaki sonlu elemanlar kullanılarak modellenmesi iletilen dalgaların ve bunun sonucu olarak da düğüm noktalarında elde edilen dalgaların içeriklerinin değışmesine sebep olmaktadır. Zeminin 8 m boyutunda sonlu elemanlar kullanılarak modellendiğı durumda düğüm noktasında elde edilen frekans içeriğı ile diğere sonlu eleman boyutları için elde edilen sonuçlar arasında çok farklılıkların olduğı görülmektedir. Zeminin 4 m boyutundaki sonlu elemanlarla modellendiğı durumda ise düşük frekans değıerlerinde zeminin 1 m ve 2 m boyutunda sonlu elemanlarla modellenmesiyle benzer sonuçlar elde edilirken, frekans değıerinin 5 Hz'ten büyük olduğı durumlarda ise sonuçlarda farklılıkların olduğı görülmektedir. Ancak, 1 m ve 2 m boyutundaki sonlu elemanlardan oluşan modellerin sonuçları kıyaslandığında, yüksek frekanslar dahil olmak üzere ele alınan tüm frekans değıerleri için de çok yakın sonuçlar elde edilmektedir.

1 m, 2 m, 4 m ve 8 m boyutundaki sonlu eleman kullanılarak modellenmiş olan tip 2 zemininin Ormsby dalgacığı etkisi altında zemin üst orta noktasından 16 m ve 24 m uzaklıkta bulunan düğüm noktalarındaki ivme değıerlerinin Fourier genlikleri Şekil 2.8 (a) ve (b)'de verilirken, aynı noktaların süpürme sinüs dalgacığı etkisindeki davranışları ise Şekil 2.8 (c) ve (d) verilmektedir. Düğüm noktalarındaki tepkilerin sonlu eleman boyutu ile değışimine bakıldığında her iki dalgacık etkisi için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tip 1 zeminin de görülen aksine, tip 2 zemininde 4 m boyutundaki sonlu elemanlarla oluşturulan modelin sonuçları 1 m ve 2 m boyutundaki elemanlarla oluşturulmuş modellerin sonuçlarına yakın olarak elde edilmiştir. Bu farklılık zeminlerin rijitlik farkından dolayı meydana gelmektedir. Oluşturulan modellerde zemin ortamının 3 boyutlu olarak dikkate alınması sebebiyle, sonlu eleman boyutunun her bir kenarında meydana gelen yarı yarıya azalma, aynı genişlikteki modeli oluşturmak için gerekli olan eleman sayısını ve dolayısıyla hesaplama yükünü 8 kat arttırmaktadır. Tüm bu sonuçlar değılendirildiğinde, zemin ortamının sonlu elemanlar yöntemi ile analizinde kullanılacak olan eleman boyutunun 2 m olarak seçilmesi her iki zemin tipi için de uygun olmaktadır.



Şekil 2.7 Ormsby dalgacığı etkisindeki modelin üst orta noktasından (a) 16 m ve (b) 24 m ve süpürme sinüs dalgacığı etkisindeki modelin üst orta noktasından (c) 16 m ve (d) 24 m uzaklıktaki düğüm noktalarındaki tepkilerin Fourier genliklerinin eleman boyutuyla değişimi (tip 1 zemini)



Şekil 2.8 Ormsby dalgacığı etkisindeki modelin üst orta noktasından (a) 16 m ve (b) 24 m ve süpürme sinüs dalgası etkisindeki modelin üst orta noktasından (c) 16 m ve (d) 24 m uzaklıktaki düğüm noktalarındaki tepkilerin Fourier genliklerinin eleman boyutuyla değişimi (tip 2 zemini)

2.2.2 Sınır Şartlarının Belirlenmesi

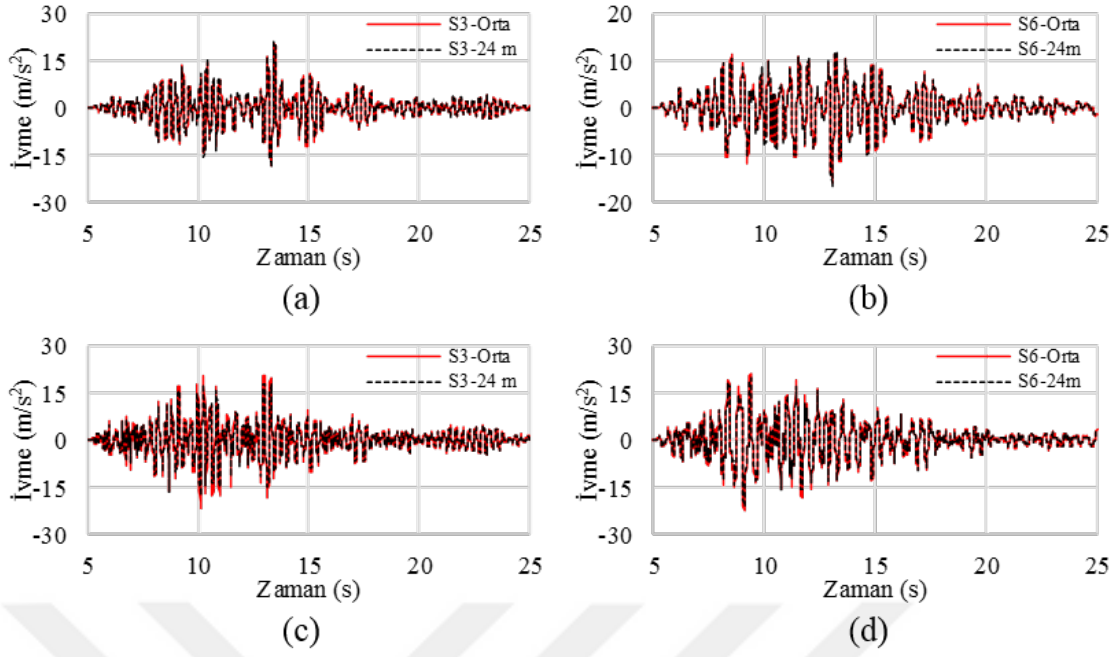
Sürekli bir zemin ortamının sonlu elemanlar yöntemi ile analizinin gerçekleştirilebilmesi için belirli sayıda eleman kullanılması gereklidir. Bu sebeple,

zemin sınırlarının yapı davranışını ve yapı davranışının da zemin sınırlarındaki serbest yüzey hareketini engellememesi gerekmektedir.

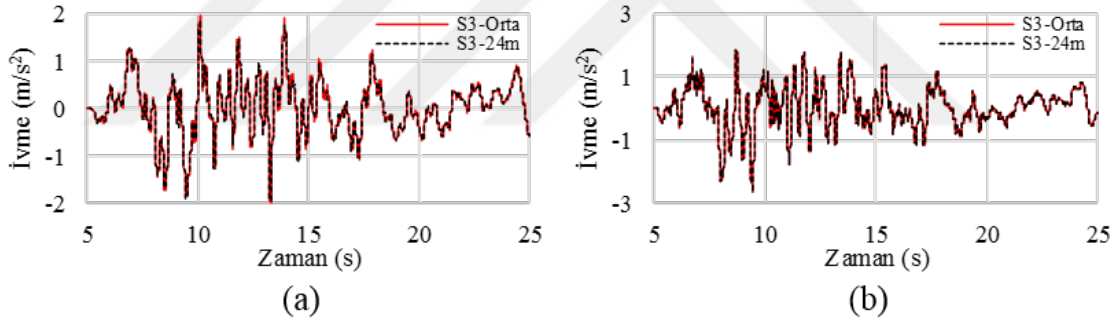
Zemin sınırlarının sonsuz elemanlar ile tanımlandığı modeller Kısım 2.4'te verilen 1 depremi etkisinde bazı ön değerlendirmelere tabi tutulmuştur. Bunun için, yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda, 3 katlı ve 6 katlı yapıların zeminin üst ortasında bulunması ve zemin üst orta noktasından 24 m kenarda bulunması durumları kıyaslanmıştır (Şekil 2.9). Tip 1 zemini üst orta noktasında bulunan 3 katlı yapının ivme değerinin yapının konumu 24 m kaydırıldığı duruma göre %2 civarında değiştiği görülmüştür (Şekil 2.9 (a)). Aynı durum için incelenen 6 katlı yapının ivme değeri ise %3 civarında değişmiştir (Şekil 2.9 (b)). 3 ve 6 katlı yapılar tip 2 zemini için aynı durumlar arasındaki farklılıklar incelendiğinde ise, yapıların ivme değerlerinde elde edilen farklılıklar sırasıyla %2 ve %9 civarında elde edilmiştir. Tüm bu sonuçlara ek olarak, zemin sınırlarındaki davranışın zemin tepki analizleri ile olan benzerlikleri bakımından değerlendirildiğinde, sonsuz elemanlar kullanılması sonucunda zemin sınırlarında elde edilen ivme davranışı Şekil 2.10'da verilmektedir. Buna göre, zemin sınırlarındaki davranışın genliği serbest zemin hareketine kıyasla daha az olmakta ve yapının sınıra olan mesafesi zemin sınırlarının tepkisini önemli oranlarda değiştirebilmektedir. Bu değişimler zeminin rijitliğine bağlı olarak değişen miktarlarda elde edilmektedir. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, sonsuz elemanlar kullanıldığında yapıların konumlarının değişmesi sonuçları değiştirdiği için bu sonuçlar farklı durumlardaki yapı-zemin-yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde kullanımının uygun olmadığı görülmektedir.

Zemin sınırlarının uygun olarak tanımlanması sadece sınırlardaki davranışların uygun bir şekilde olması için değil, ayrıca deprem dalgalarının yayılımının sağlanması ve oluşturulan modellerin geçerliliği için de önemlidir. Zemin ortamı üç boyutlu elemanlarla modellendiği için, Şekil 1.13'te 2 boyutlu elemanlar için gösterilen yatay doğrultulu kayma hareketinin sağlanabilmesi amacıyla zemin sınırlarında aynı seviyede bulunan tüm düğüm noktalarının düşey yerdeğiştirme değerleri ve birbirine paralel yan yüzeylerin üzerinde aynı seviyedeki tüm düğüm noktalarının ise yüzeyin normal doğrultusundaki ötelenme serbestlikleri birbirine bağlı olarak tanımlanmıştır. Böylece, 3 boyutlu sonlu elemanlardan oluşan zeminin basit kayma hareketini yapması sağlanabilmektedir. Şekil 2.11 (a)'da iki yan yüzey için uygulanan sınır şartı gösterilmektedir, benzer şekilde diğer doğrultudaki düğüm noktalarının hareketleri de birbirine bağlanmaktadır.

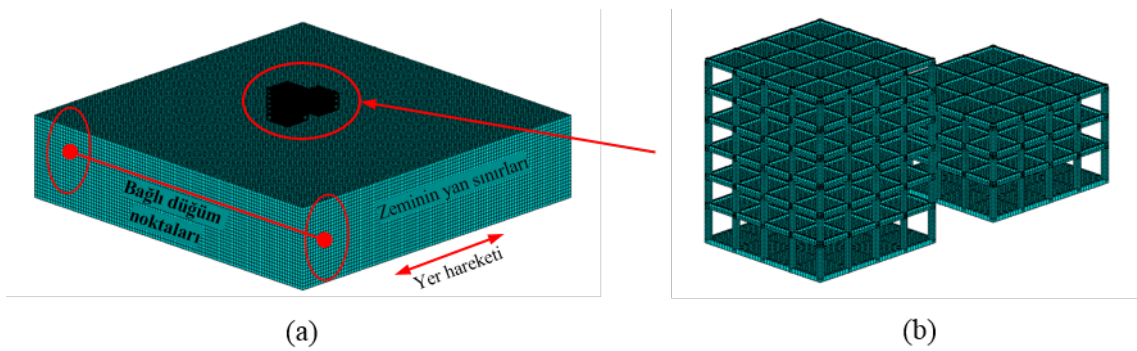
Yapı ve zeminlerden oluşan modele deprem etkisi anakaya seviyesinden uygulanabilmektedir. Deprem etkisinin nasıl uygulanması gerektiği zeminin altındaki anakayanın davranışına bağlı olarak değişmektedir. Anakaya şekildeğiştirmeyen (rijit)



Şekil 2.9 Zemin üst orta noktasında ve 24 m mesafe bulunan (a) 3 katlı ve (b) 6 katlı yapıların tip 1 zemini, (c) 3 katlı ve (d) 6 katlı yapıların tip 2 zemini için elde edilen ivme değerlerinin kıyaslanması



Şekil 2.10 3 katlı yapının zemin üst orta noktasında ve 24 m mesafede bulunması durumlarında (a) tip 1 ve (b) tip 2 zeminleri için zemin sınırının davranışının kıyaslanması



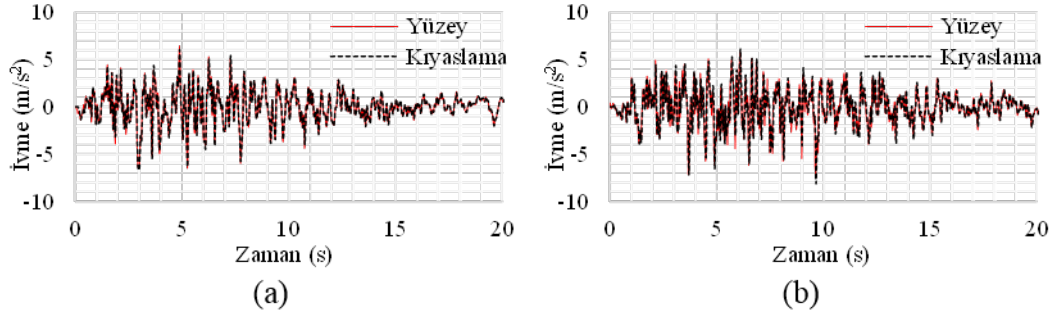
Şekil 2.11 (a) Zemine uygulanan sınır şartları ve (b) 3 ve 6 katlı yapıların görünümü

ya da doğrusal viskoz malzeme olmak üzere iki farklı biçimde bulunabilmektedir: Anakaya yük altında şekildeğiştirmiyorsa ve modellerde bu şekilde dikkate alınmışsa, bu tür sistemlerde yüzeyden yansıyan dalgaların anakaya içerisinde yayılımı önlenmiştir. Diğer taraftan anakaya doğrusal elastik bir şekilde davranıyorsa, yüzeyden yansıyan dalgaların anakaya içerisindeki yayılımına izin verilir ve bunu sağlamak üzere anakaya geçirgen sınırlar kullanılarak modellenir. Yer hareketinin etkisi rijit anakaya durumunda doğrudan zemin profilinin altından ivme, hız ya da yerdeğiştirme olarak uygulanabilirken, doğrusal viskoz anakaya durumunda ise zeminin altına viskoz sönümleyiciler tanımlanır ve yer hareketi zemin anakaya yüzeyine kesme kuvveti biçiminde uygulanmalıdır [114]. Bu çalışma kapsamında ele alınan anakayanın, yüzeyden gelen dalgaların iletimine izin vermeyen ve yükleme altında yerdeğiştirmediği kabul edilmiştir. Bu sebeple, deprem hareketleri anakaya seviyesinden yerdeğiştirme biçiminde uygulanmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulan modellerde yapılan kabullerin doğrulanması gerekmektedir. Bu kapsamda, depremin zemin sınırlarında serbest yüzey hareketine göre yayılması ve zeminin doğal titreşim frekansı değerleri incelenmiştir. İlk olarak, zemin yüzeyinde bulunan bir deprem hareketi Deepsoil programı [115] kullanılarak anakaya seviyesine dekonvolisyon işlemiyle birlikte taşınmıştır ve bu işlem sonucunda anakayada elde edilmiş olan deprem hareketi sınır şartlarının tanımlandığı sonlu elemanlarla oluşturulan modelin tabanından yerdeğiştirme olarak uygulanmıştır. Uygulanan sınır şartları uygun bir davranışı sağlayabiliyorsa, anakaya seviyesine taşınan yüzeydeki deprem ile anakayadan yüzeye sonlu elemanlar yöntemi ile yüzeye taşınan depremlerin aynı olması gerekmektedir. Şekil 2.12'de yüzeydeki deprem ile anakayadan yüzeye taşınan depremlerin kıyaslanması iki farklı deprem için gösterilmektedir. Her iki deprem için de kıyaslanan ivmeler birbirlerine çok benzemekle birlikte aralarında çok az farklılıklar bulunmaktadır. Bunun yüzeyindeki deprem kaydının anakaya seviyesine taşınması sırasında kullanılan programdaki sönümün tanımlanmasıyla anakayadaki deprem kaydının zemin yüzeyine taşınması için kullanılan analizdeki sönüm tanımlama yöntemi arasındaki farklılık sebebiyle kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci doğrulama yönteminde, sınır şartlarının uygulandığı sonlu elemanlar modelinden elde edilen modal analiz sonuçları ile analitik olarak hesaplanan zeminin doğal titreşim frekansı değerleri karşılaştırılmıştır. Kayma dalgası hızı V_s ve yüksekliği H olan bir zemin profilinin n 'inci moduna ait doğal titreşim frekansı

$$f_n = \frac{V_s(2n - 1)}{4H} \quad (2.3)$$



Şekil 2.12 (a) 1 depremi ve (b) 2 depreminin yüzeydeki ve taşınma işlemi sonucunda yüzeydeki ivme değerinin kıyaslanması

denklemleri ile belirlenebilmektedir. Bu denklemlerdeki "n" değerleri değiştirilerek, ilgili moda karşılık gelen doğal titreşim frekansı değerleri hesaplanabilmektedir. Denklem (2.3) kullanılarak 150 m/s ve 300 m/s kayma dalgası hızı olan zeminlere ait doğal titreşim frekansı değerleri sırasıyla 0,781 Hz ve 1,563 Hz olarak elde edilmiştir. Bu değerler zemin sınırlarının uygulandığı sonlu elemanlar ile oluşturulmuş modelin modal analizleri sonucunda elde edilen doğal titreşim frekansı değerleriyle birebir uymaktadır. Tüm bu doğrulama sonuçları değerlendirildiğinde, zemin sınırlarına uygulanan şartların zeminin davranışı üzerinde kısıtlayıcı bir etkisinin olmadığı, zeminin sınırlarının sürekli olduğu duruma benzer şekilde davranabildiği görülmektedir.

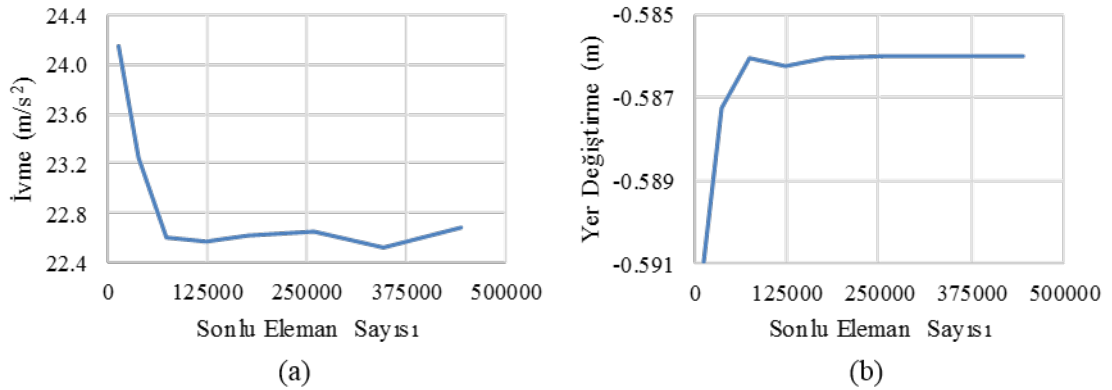
2.2.3 Model Genişliğinin Belirlenmesi

Sonlu elemanlar yöntemiyle herhangi bir sistemin analizini gerçekleştirmek için, ele alınan sistemin belirli bir boyutta olması gerekmektedir. Kısım 2.2.2'de zemin yüzeyinde herhangi bir yapı olmaması (serbest yüzey) hali esas alınarak, zemin ortamının sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda zeminin davranışının sürekli haline benzer şekilde olabilmesi için uygulanan koşullardan bahsedilmiştir. Bu çalışmada kullanılan sınır türü olan "bağlı sınırlar", zemin üzerinde herhangi bir yapı olmaması halinde yatayda tek sıra eleman olması durumu da dahil olmak üzere zemin genişliğine bağlı olmadan anakayadaki deprem hareketini zeminin dinamik etkilerine, saha tepki analizlerine göre zemin yüzeyine taşıyabilmektedir. Zemin üzerinde yapı olması halinde ise, zemin sınırlarının doğru bir şekilde tanımlanmış olması tek başına yeterli olmamaktadır. Ele alınan zemin genişliği yapıdan yayılacak dalgaların yayılımını sağlayacak genişlikte olmalıdır.

Genel olarak, sanal sınırların uygulanması daha küçük model genişliği gerektirdiği ve hesaplama yükünü önemli oranlarda azalttığı için tercih edilebilmektedir. Diğer taraftan, bu sınırların kullanımı kolay gibi görünse de, kullanılan programa bağlı

olarak modelleme sırasında iş gücünü önemli miktarda arttırabilmektedir. Bazı çalışmalarda, yapay sınırların pratik amaçlı problemlerin çözümünde zorlayıcı olduğu belirtilmektedir [116]. Diğer taraftan zemin sınırlarının yeterli genişlikte, uygun sınır şartları ile modellenmesi ve yapıların zemin sınırlarından belirli uzaklıktan daha az mesafede konumlandırılmamış olması davranış açısından daha sağlıklı olacağı belirtilmektedir [117]. Bu sebeple, modellemelerde kullanılması gereken zemin genişliğinin belirlenmesi için bazı yakınsama analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yakınsama çalışmalarında esas olarak zemin sınırlarının mevcudiyetinin yapının davranışını etkilememesi, bunun yanı sıra zemin sınırlarında serbest yüzey hareketinin sağlanması koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda, gerekli olan zemin genişliğinin belirlenmesi için takip edilebilecek en uygun yöntem, aynı sınır koşullarına sahip olan fakat farklı genişlikte olan zemin modelleri analiz edilmesi ve ilgili davranışlardaki değişimlerin incelenmesidir. Modellerin davranışı incelenirken yapı tepkisi ya da zemin sınırlarında oluşan değişimler göz önüne alınabilmektedir.

Uygun zemin genişliğinin belirlenmesi için, farklı genişliklerdeki zeminler üzerinde bulunan 6 katlı yapının en büyük ivme ve yerdeğiştirme değerlerinin zemindeki eleman sayısı ile değişimi incelenmiştir. Şekil 2.13'te zemin tepe noktasındaki en büyük ivme değeri ve en büyük yerdeğiştirme değerlerinin sonlu eleman sayısıyla değişimi verilmektedir. Tablo 2.2'de farklı genişlikteki zeminlerin 2 m boyutunda olan sonlu elemanlar modellenmesi için gerekli eleman sayısı, yapıda ilgili durumunda elde edilen en büyük yapı ivme değerleri ve bu ivme değerlerinin bir önceki genişlikteki ivme değerlerine göre değişimleri verilmektedir. Şekil 2.13'teki eleman sayısı ile birlikte yapı davranışının değişimi ve Tablo 2.2'de verilen değişim miktarları birlikte değerlendirildiğinde, zeminin modellenmesi için 124416 sonlu elemanın gerektiği 144 m genişliğindeki zemin genişliğinin dikkate alınması yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 2.13 6 katlı yapının en büyük (a) ivme ve (b) yerdeğiştirme değerlerinin sonlu eleman sayısına bağlı değişimi

Tablo 2.2 Zemin genişliğine ve eleman sayısına bağlı olarak 6 katlı yapının en büyük ivme değerlerinin değişimi

Zemin Genişliği (m)	Eleman Sayısı	En Büyük Yapı İvmesi (m/s^2)	En Büyük Yapı İvmesi Değişimi (%)
48	13824	24,14	–
80	38400	23,25	-9,55
112	75264	22,60	-2,15
144	124416	22,57	-1,76
176	177504	22,61	-0.35
208	259584	22,65	0.31
240	345600	22,53	-0.50
272	443904	22,68	0.67

Ancak, bu çalışma kapsamında bir ya da iki yapıdan oluşan sistemlerin farklı durumlar için incelenmesi yapılacağı için, zemin ortamının genişliğinin 144 m yerine 208 m olarak göz önüne alınması uygun görülmüştür. Zemin yüksekliği ise 48 m olarak dikkate alınmıştır.

2.2.4 Sönüm

Sonlu elemanlardan oluşan zemin ortamına sönüm tanımlanırken, modellemedeki avantajları sebebiyle yaygın olarak kullanılan Rayleigh sönümü olarak tanımlanması uygun görülmüştür. Fakat, modele Rayleigh sönümünün tanımlanabilmesi için modelin ve maruz kalacağı etkilerin frekans aralıklarının yanı sıra modele atanması istenilen sönüm oranlarının da daha önceden bilinmesi gerekmektedir. Rayleigh sönümünün frekanslarını belirlerken hem zeminin doğal titreşim frekansı değerleri hem de sisteme etkisinde olduğu yüklemeler dikkate alınmıştır. Böylece, zemin için Rayleigh sönümünün tanımlanması için gerekli olan f_1 frekansı sistemin birinci moduna karşılık gelen frekans değeri olarak dikkate alınırken, ikinci frekans değeri ise hem sistemin frekans değerleri hem de uygulanan yükün frekans içeriği dikkate alınarak literatürde önerildiği gibi belirlenmiştir [2], [118], [119]. f_2 frekansının değeri, sisteme uygulanan sismik etkinin dikkate alınacak kadar büyüklükte olan Fourier genliklerini kapsayan en büyük frekans değerinin zemin doğal titreşim frekansına bölünmesiyle elde edilen sayının bir üst tam sayıya yuvarlanmasıyla elde edilen sayının zeminin doğal titreşim frekansıyla çarpılmasıyla elde edilen değer olarak dikkate alınmıştır.

2.3 Yapıların Modellenmesi

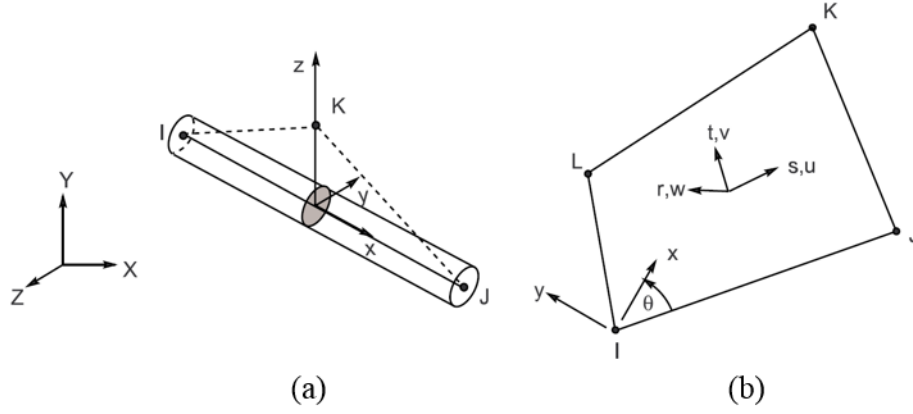
Belirli boyutlarda olan yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizi zemine kıyasla daha kolay olmaktadır. Ancak oluşturulan sonlu eleman modellerinin doğru sonuçlar verebilmesi için yapıların modellenmesi esnasında gerekli bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bunlardan başlıcaları elemanların türü ve boyutları, malzeme özellikleri ve sönüm olarak sıralanabilmektedir.

2.3.1 Sonlu Elemanlar Boyutlarının Belirlenmesi

Yapıların çeşitli etkiler altındaki davranışlarını incelemek amacıyla, yapıların sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapı mühendisliğinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Yapıların sonlu elemanlarla modellenmesinde, 1, 2 ve 3 boyutlu olmak üzere çeşitli eleman türleri kullanılmaktadır. Özellikle büyük kapsamlı sistemlerin modellenmesinde 3 boyutlu elemanların yerine 1 ya da 2 boyutlu elemanların kullanılması analiz için gerekli olan süreyi kısaltmakla birlikte gerekli olan hesaplama yükünü de azaltmaktadır. Böylece, kolon, kiriş ve döşeme gibi davranışları belli olan elemanlar çok daha az düğüm noktasıyla analiz edilebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında yapıların sonlu elemanlarla modellenmesinde, kiriş ve kolonların modellenmesinde 3 boyutlu kiriş elemanlar (BEAM188) kullanılırken, döşeme ve temelin modellenmesi için ise 2 boyutlu kabuk (SHELL181) elemanlar kullanılmıştır.

BEAM188 elemanı kısa kirişlerden narin kirişlere kadar çeşitli kirişlerin modellenmesinde kullanılabilen iki düğüm noktası olan (I ve J) ve her bir düğüm noktasında x, y ve z eksenlerinde ötelenme ve dönme olmak üzere toplamda 12 serbestliği bulunan 3 boyutlu bir kiriş elemanıdır (Şekil 2.14 (a)). Bu eleman Timoshenko kiriş teorisine uygun davranmaktadır. SHELL181 elemanı ise, inceden kalına çeşitli kabuk elemanların modellenmesine kullanılabilen bir kabuk elemanıdır. Bu kabuk elemanda, her köşede birer adet olmak üzere toplam 4 adet düğüm noktası (I, J, K ve L) bulunmakta olup, her bir düğüm noktasında x, y ve z doğrultularında toplam üç ötelenme ve aynı eksenler etrafında üç adet dönme serbestliği olmak üzere toplam 24 serbestlik derecesi bulunmaktadır (Şekil 2.14 (b)). Bu tür elemanların analizi tam integrasyon ya da azaltılmış integrasyonla gerçekleştirilebilmektedir. Tez kapsamında yapıların döşemelerinde ve temel modellenmesinde kullanılan bu elemanlar tam integrasyonla birlikte analiz edilmiştir.

Yapılar sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilirken, 3 boyutlu hacim elemanlarının kullanılması sebeplerinden birisi de yapıyla birebir aynı geometriye sahip modellerin oluşturulabilmesidir. Fakat, bu elemanlarla modellerin oluşturulması için gerekli olan düğüm noktası sayısı ve gerekli eleman sayısı artması sonucunda, analizlerin



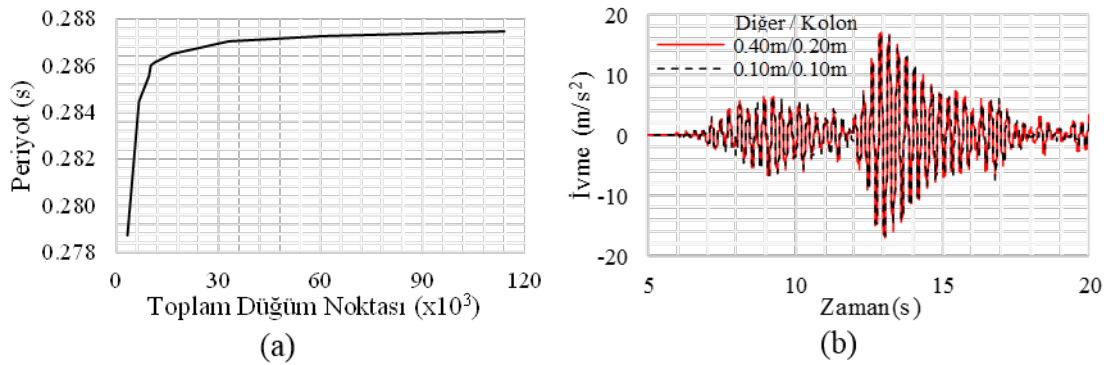
Şekil 2.14 Yapıların sonlu elemanlarla modellenmesinde kullanılan (a) BEAM188 ve (b) SHELL181 elemanları

hesaplama süreleri artmaktadır. Bu çalışmada göz önüne alınan 3 katlı bir yapının hacim elemanlarla ve aynı yapının düzlem ve kiriş elemanlarla modellenmesi için gerekli olan toplam düğüm noktalarının sayıları sırasıyla 212000 ve 10000 civarındadır. Yapının sonlu elemanlar modelini oluşturmak için gerekli olan düğüm noktası sayılarından da görüldüğü gibi kiriş ve kabuk elemanların kullanımıyla birlikte yapıların çok daha az düğüm noktasıyla birlikte analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Fakat, hacimsel elemanlar yerine bu elemanların kullanılması bazı ek düzeltmelerin yapılmasını gerektirmektedir. Normalde aks açıklıklarıyla yan yana bulunan yapı elemanlarının birbirine paralel yüzeyleri arasındaki mesafeler farklı olurken, yapıların kiriş ve kabuk elemanlarla modellendiği sistemlerde bu iki mesafe birbirine eşit olmaktadır. Bunun sonucunda oluşturulan modeller istenilenden daha farklı bir biçimde davranabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla, özellikle yapıların analizi için geliştirilmiş olan çeşitli paket programlarda (SAP2000 ve ETABS (CSI, 2011) gibi), ilgili elemanların en kesitlerinin içerisinde kalan kısmı belirli oranda kapsayacak şekilde rijit bölgeler tanımlanarak bahsedilen bu etkiden kaynaklanan hatalar kısmen de olsa düzeltilebilmektedir. Genel amaçlı sonlu elemanlar programlarında böyle bir özellik bulunmadığı için, genel mühendislik yaklaşımları kullanılarak bu uyumsuzluğun çözümüne gidilmesi gerekmiştir. İlgili elemanların enkesitleri içerisinde kalan kısımların elastisite modülü değerleri normalin 10 kat kadar artırılmış hali olarak tanımlanarak bu kısımlarda kısmen de olsa rijit bir bölge tanımlanması sağlanmıştır.

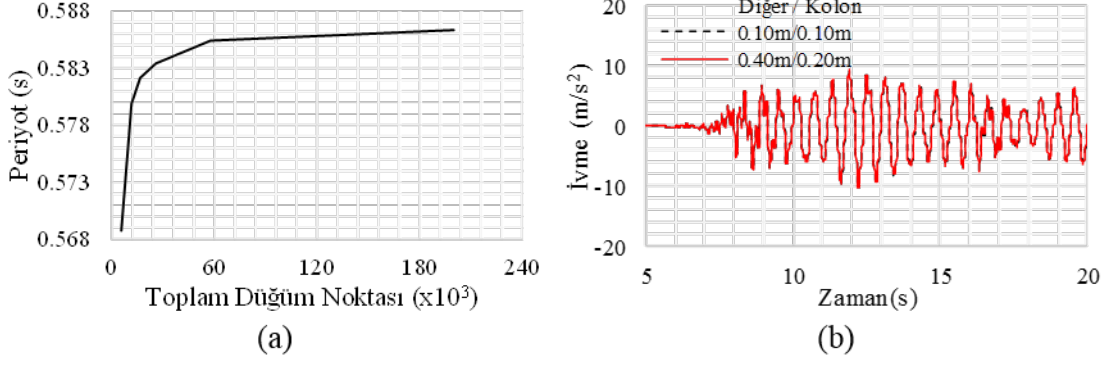
Yapıların modellerinin oluşturulmasında kullanılan sonlu elemanların boyutları analiz sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilmektedir. Sonlu elemanların boyutları yapının davranışını temsil edecek kadar küçük olmakla birlikte, fazla işlem yüküne sebep olmayacak kadar da büyük olmalıdır. Bunun için, yapılarda kullanılacak olan

eleman türleri belirlendikten sonra, farklı sonlu eleman boyutlarıyla modellenmiş olan yapıların modal analizleri gerçekleştirilerek modal sonuçlarının toplam düğüm noktası sayısı ile olan değişimi incelenmiştir. Bu işlemin sonrasında, aynı modeller dinamik etkiler altında analiz edilerek, yapıların dinamik davranışlarının düğüm noktası sayısı ile olan değişimine göre uygun olan sonlu eleman boyutları değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen bu iki değerlendirme sonucunda, ilgili yapıların modellenmesi için en uygun olan sonlu eleman boyutları tayin edilmiştir.

Şekil 2.15 (a)'da farklı boyuttaki sonlu elemanlarla modellenmiş olan 3 katlı yapının doğal titreşim periyodu değerlerinin toplam düğüm noktası sayısı ile olan değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, bir noktadan sonra düğüm noktası sayısı artmasına rağmen yapının periyot değerlerinde önemli bir değişimin meydana gelmediği görülmektedir. Buna göre, yapıdaki tüm elemanların boyutlarının 20 cm olarak tanımlanması ve toplam düğüm noktası sayısının 30000 olması 3 katlı yapının modellenmesi için en uygun durumdur. Elde edilen bu eleman boyutu, kiriş ve kabuk elemanlar için farklı değerleri göz önünde alınarak modal analizler ve dinamik analizler tekrarlanmıştır. Bunun sonucunda, en uygun sonlu eleman boyutlarının kolonlar için 20 cm, temel, döşeme ve kirişler için ise 40 cm olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.15 (b)'de temel, döşeme ve kirişlerin 40 cm, kolonların ise 20 cm boyutundaki elemanlarla modellenen olan yapının dinamik analiz sonucu ile tüm eleman boyutlarının 10 cm olduğu model sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu şekilden görüldüğü gibi, seçilen eleman boyutları yapının dinamik davranışında önemli bir farklılığa sebep olmazken, hesaplama açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Aynı işlemler 6 katlı ve 12 katlı yapılar için de gerçekleştirildiğinde, elde edilen sonuçların 3 katlı yapı için elde edilen sonuçlarla aynı olduğu belirlenmiştir. 6 ve 12 katlı yapıların doğal titreşim periyodu değerlerinin toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve temel, döşeme ve kirişlerin 40 cm, kolonların ise 20 cm boyutundaki elemanlarla



Şekil 2.15 (a) 3 katlı yapının doğal titreşim periyodunun toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve (b) farklı boyutta olan sonlu elemanlarla modellenmiş olan 3 katlı yapının davranışlarının karşılaştırılması

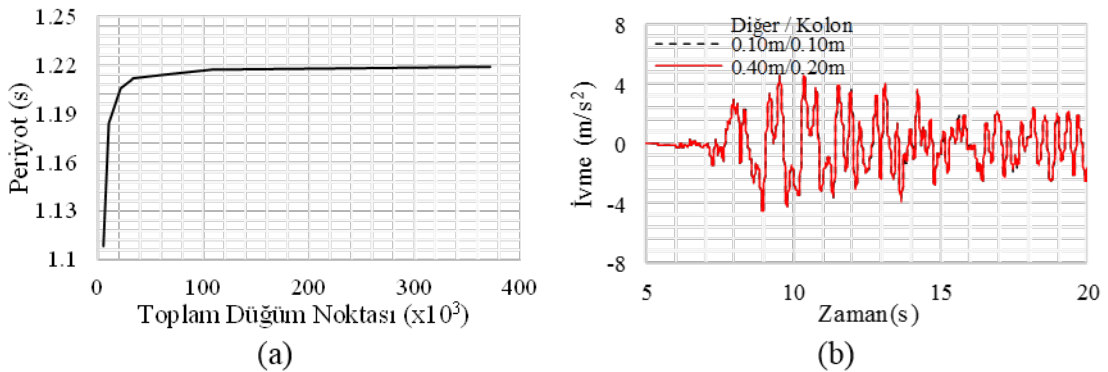


Şekil 2.16 (a) 6 katlı yapının doğal titreşim periyodunun toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve (b) farklı boyutta olan sonlu elemanlarla modellenmiş olan 6 katlı yapının davranışlarının karşılaştırılması

modellenen yapının dinamik analiz sonucu ile tüm eleman boyutlarının 10 cm olduğu modellerin dinamik davranışlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de verilmektedir.

2.3.2 Malzeme Özellikleri ve Sönüm

Çalışma kapsamında ele alınan yapılar döşeme, kiriş, kolon ve temelden oluşmaktadır. Yapılarda duvarlardan ve döşemelerdeki hareketli yük etkilerini dikkate almak amacıyla TS 498’e göre konut ve bürolardaki hareketli yükler 2 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır [120]. Yapıların deprem etkisi altındaki analizlerini gerçekleştirilmesi için ise, hareketli yükler hareketli yük katılım kat sayısı 0,3 olarak dikkate alınmıştır [9]. Yapılarda modellerde bulunmayan duvar ağırlıklarını dikkate alınması amacıyla, tüm kirişlerin üzerinde duvarların olduğu düşünülmüştür: dış duvarlarda 19 cm kalınlığında olan ve birim alan ağırlığının $2,90 \text{ kN/m}^2$ olan tuğlaların olduğu, iç



Şekil 2.17 (a) 12 katlı yapının doğal titreşim periyodunun toplam düğüm noktası sayısı ile değişimi ve (b) farklı boyutta olan sonlu elemanlarla modellenmiş olan 12 katlı yapının davranışlarının karşılaştırılması

duvarlarda ise 13,5 cm kalınlığında ve birim alan ağırlığının $2,45 \text{ kN/m}^2$ olan tuğlaların olduğu kabul edilmiştir. Hareketli yük katılım katsayısı dikkate alınarak elde edilen hareketli yük etkileri ve duvar ağırlıkları yapıdaki kolon, kiriş ve döşemelere hacimleri oranında dağıtılmıştır. Bu hesaplama sonucunda, 3, 6 ve 12 katlı yapılarda kullanılan malzemenin birim hacim ağırlıkları sırasıyla $3534,8 \text{ kg/m}^3$, $3758,3 \text{ kg/m}^3$ ve 3913 kg/m^3 olarak dikkate alınmıştır. Malzemelerin elastisite modülleri ise 30000 MPa olarak dikkate alınırken, kirişlerde çatlamış kesitleri dikkate almak amacıyla bu değerlerin %40'ı olarak şekilde dikkate alınmıştır. Poison oranı da beton için 0,2 olarak dikkate alınmıştır.

Yapılarda enerjinin yok olma mekanizması çok uzun süredir çeşitli kapsamlı çalışmalarla aydınlatılmaya çalışılmasına rağmen yeteri kadar açıklığa kavuşturulamamıştır. Bu sebeple, yapıların sönüm oranları genellikle taşıyıcı sisteme ve yapı malzemesine bağlı olarak belirlenerek kullanılması oldukça yaygındır [121]. Yapı türlerine ve durumlarına göre sönüm oranı değerlerinin aralıkları Tablo 2.3'de verilmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi, sönüm oranlarının hem yapıların inşa edildikleri malzemeye göre hem de hasar durumlarına göre değişebildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında ele alınan yapıların normal çatlaklı betonarme yapılar oldukları dikkate alınarak, yapıların elemanlarının çatlamış oldukları dikkate alınarak sönüm oranları %5 olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 2.3 Çeşitli yapı türlerine göre sönüm oranları [121]

Gerilme seviyesi	Yapı türü	Sönüm oranı (%)
Kullanma durumu	Önemli boru hatları	1-2
	Kaynaklı çelik yapı, ön gerilmeli beton ve hafif çatlaklı betonarme yapı	2-3
	Normal çatlaklı betonarme yapı	3-5
	Bulonlu veya perçinli çelik yapı ve bulonlu ahşap yapı	5-7
Göçme durumu	Önemli boru hatları	2-3
	Bulonlu veya perçinli çelik yapı ve bulonlu ahşap yapı	10-15
	Çivili ahşap yapı	15-20
	Kaynaklı çelik yapı, ön gerilmeli beton yapı	5-7
	Betonarme yapı	1-10

Yapı modelleri için ön görülen sönüm oranlarının sonlu elemanlar modelinde tanımlanması için sönümün α ve β katsayıları ile tanımlandığı Rayleigh sönümü kullanılmıştır. Bu denklemden görüldüğü gibi α ve β katsayılarının hesaplanabilmesi için ω_i ve ω_j açısal frekans değerlerinin ve sönüm oranlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ele alınan sistemlerde zemin ve üzerinde benzer ya da farklı dinamik özelliklere sahip olan yapıların bulunduğu durumlar göz önüne alınacağından, sönümlerin her bir bileşen için ayrı ayrı

tanımlanması, ön görülen sönüm oranlarının yapılara ve zemine atanabilmesi için, gereklidir. Çünkü, Rayleigh sönümü atandığı yapının dinamik özelliklerine göre atanmış olan α ve β değerleriyle elde edilmektedir. Farklı sistemlere aynı Rayleigh sönümü atanırsa, farklı dinamik özellikte olan sistemlere atanan sönüm oranları birbirinden farklı olmakla kalmayıp, bazı bileşenler az sönümlü olurken bazıları da fazla sönümlü olarak davranacaklardır. Rayleigh sönüm katsayılarının belirlenmesi için öncelikle yapıların modal analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapıların doğal titreşim modunun olduğu frekans değeri f_1 frekansı olarak dikkate alınırken, modal analiz sonuçlarına göre %90 kütle katılım oranını sağlandığı modun frekansı ise f_2 frekansı olarak Rayleigh sönüm katsayılarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 3 katlı yapıya Rayleigh sönümü atanması için gereken α ve β katsayıları sırasıyla 1,16190 ve $6,827 \times 10^{-4}$, 6 katlı yapı için 0,98145 ve $7,404 \times 10^{-4}$ ve 12 katlı yapı için ise 0,48031 ve $1,323 \times 10^{-3}$ olmaktadır.

2.4 Kuvvetli Yer Hareketinin Belirlenmesi

Yapıların sismik analizleri gerçekleştirilirken genellikle yönetmeliklerde bulunan tasarım spektrumu değerleri dikkate alınmaktadır. Tasarım spektrumu eğrilerinin biçimleri yerel zemin koşullarına, bölgenin depremselliğine ve tasarımda göz önüne alınan depremin tekrarlama periyoduna bağlı olarak değişmektedir. Tasarım spektrumu eğrilerinin tanımlandığı bölgedeki muhtemel depremlerin ortalamasının düzgün bir şekilde sokuşmasıyla elde edilirken, bu bölgede meydana gelmesi muhtemel depremlerin genel bir biçimini de tanımladığı düşünülmektedir. Literatürde ve birçok yönetmelikte, yapılar tasarlanırken ya da mevcut yapılar değerlendirilirken tasarım spektrum eğrisine göre ölçeklendirilmiş ya da ilgili bölgede kaydedilmiş birkaç deprem etkisi altında yapıların analizlerinin yapılmasının gerektiği belirtilmektedir. Ancak, bu çalışma kapsamında oluşturulan modellerin büyük hacimli olması ve çeşitli parametreler için bir çok durum inceleneceği için, aynı durumun yönetmeliklerde belirtildiği gibi birden çok deprem etkisi altında çözülmemiştir. Bunun yerine bir yaklaşım olarak, tasarım spektrumu temel alınarak üretilmiş olan deprem etkileri altında analizlerin gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

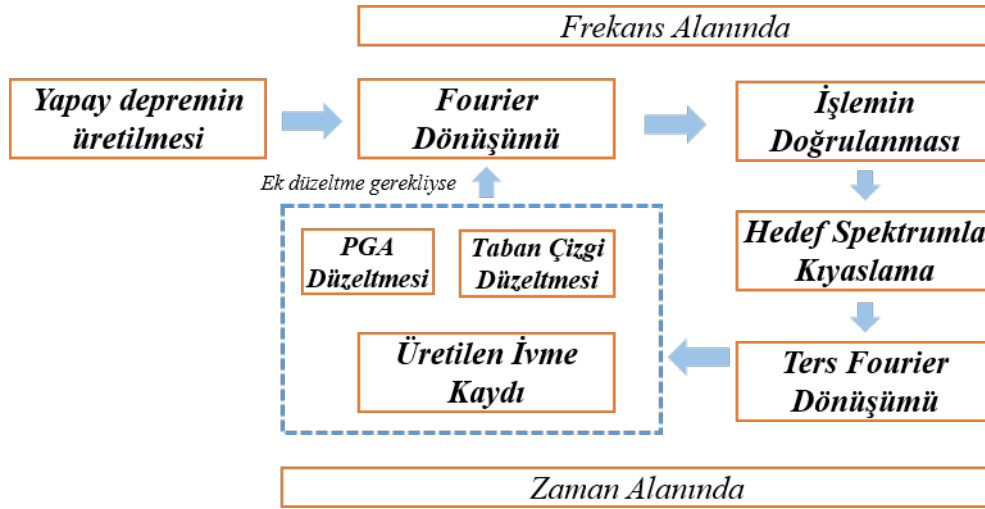
Bu çalışmada temel alınan tasarım spektrumu eğrisi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [9] dikkate alınarak oluşturulmuştur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarım eğrisinin elde edilebilmesi için öncelikle bölgenin koordinatlarının ya da adresinin belirli olması, yerel zemin sınıfının ve ilgili depremin dönüş periyodunun da önceden belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu çalışmada tasarım spektrumunun belirlenmesi için Kocaeli şehir merkezinde 40,765442; 29,940809 koordinatlarındaki konumun yerel zemin sınıfının D ve tekrarlama periyodunun ise 475 yıl olarak

dikkate alınması uygun görülmüştür. Bu parametreler kullanılarak elde edilen tasarım spektrumu temel alınarak, SeismoArtif [122] programıyla moment büyüklüğünün 7,2 ve Joyner-Boore mesafesinin 12 km olduğu duruma göre, iki adet yapay deprem kaydı üretilmiştir. Üretilmiş olan bu depremler, durağan (stationary) deprem kayıtlardır. SeismoArtif programı ön tanımlı tasarım spektrumlarına ya da depremlerin spektrumlarını baz alarak yapay deprem üretilmesini sağlayan bir programdır. Bu programda öncelikle bir yapay deprem ivmesi üretilmekte ve daha sonra frekans ortamında bu depremin istenilen tasarım spektrum eğrisine göre düzeltilmesi yolu izlenmektedir. Bu kapsamda, programda bulunan Halldorsson ve Papageorgiou [123] tarafından tanımlanmış olan yöntem takip edilmektedir: Bu yöntemde, öncelikle hedef tasarım spektrumu ile uyumlu rastgele bir deprem verisi üretilmektedir. Bu deprem kaydı, beyaz gürültünün Saragoni ve Hart [124] tarafından oluşturulan zarf eğrisi ile çarpılıp belirli bir kaynak spektrumuna göre uyarlanmasıyla elde edilmekte ve bu depremin süresi girilen parametrelere göre belirlenmektedir. Deprem kaydı üretildikten sonra, üretilen depremin frekans içeriği Fourier dönüşüm yöntemiyle hedef spektruma benzetilmeye çalışılmaktadır. Benzetilen depremin her bir iterasyondaki doğruluğu Mucciarelli vd. [125] tarafından sunulmuş olan

$$F(f)_{i+1} = F(f)_i [SRT(f)/SR(f)_i] \quad (2.4)$$

denklemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu denklemdeki $SRT(f)$ ilgili f frekansındaki hedef spektrum değeri, $SR(f)_i$ i iterasyon adımında ilgili f frekansına karşılık gelen ivmeye ait olan tepki spektrumunun değeridir. $F(f)_{i+1}$ ve $F(f)_i$ ise hesaplanan ve bir önceki hesaplama adımına ait olan ivmelere ait frekans ortamındaki değerleridir. Bu yöntemde her bir iterasyon adımında zaman tanım alanından frekans ortamına Fourier dönüşümü ile dönüşüm yapılmakta ve ivme değerlerinin düzeltilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Daha sonra, ters Fourier dönüşümü ile frekans ortamından zaman tanım alanına geri dönülmekte ve bu ivmelere ait olan tepki spektrumu hesaplanmaktadır. İterasyon sonunda elde edilen tepki spektrumu ile hedef spektrumunun yakınsama durumu kontrol edilmekte ve sonuca göre daha fazla iterasyonun gerekip gerekmediği değerlendirilmektedir. Gerçekleştirilen bu işlemlerin şematik olarak gösterimi Şekil 2.18'de verilmektedir.

Yukarıda belirtilen tasarım spektrumuna göre üretilmiş olan depremlerin en büyük ivme değerleri (p_{ga}) 0,66 g ve 0,72 g'dir. Bu çalışmanın geri kalan kısmında p_{ga} değeri 0,66 g olan deprem "1 depremi", p_{ga} değeri 0,77 g olan diğer deprem ise "2 depremi" olarak adlandırılacaktır. Bu depremlere ait tepki spektrumu eğrilerinin tasarım spektrumu ile karşılaştırılması, depremlerin ivme ve yerdeğiştirme

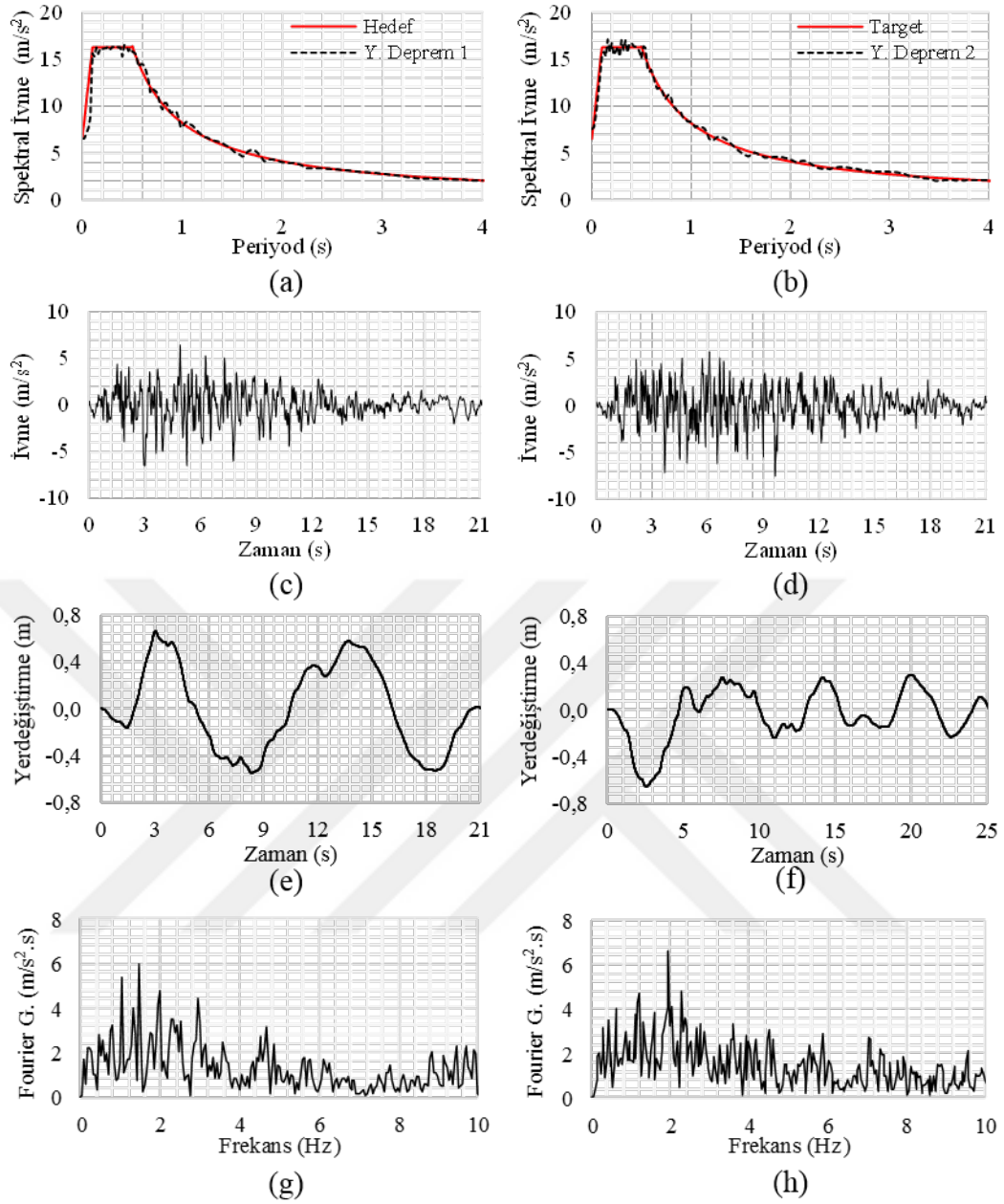


Şekil 2.18 Tasarım spektrumuna göre deprem kaydı üretilmesi [122]

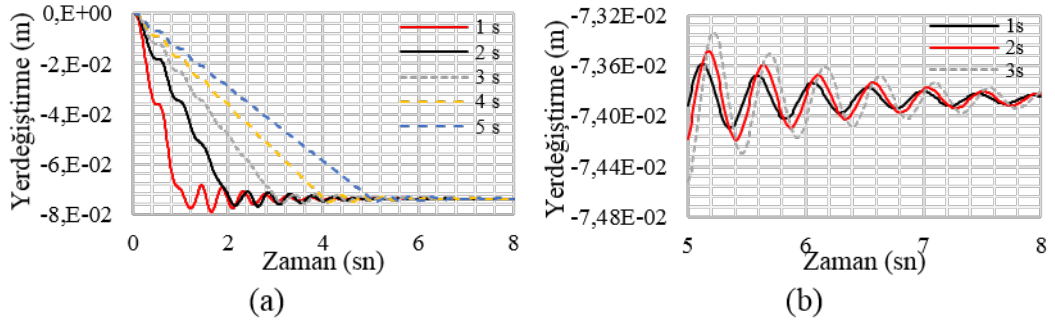
değerlerinin zamanla değişimi ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi Şekil 2.19'da verilmektedir.

Üretilen bu yapay depremlerin zemin yüzeyinde olduğu kabul edildiği için, depremlerin analizlerde kullanılabilmesi için anakaya seviyesine dekonvolusyon işlemi ile taşınması gerekmektedir. Anakaya hareketinin zemin tipinden bağımsız olduğu düşünüldüğü için, zemin yüzeyindeki deprem kaydı anakaya taşınırken zeminin tip 2 olduğu durum dikkate alınmıştır. Böylelikle, aynı anakaya hareketi etkisinde olan farklı rijitlikteki zeminlerden oluşan zemin profillerinin hem deprem hareketine olan etkileri hem de yapı-zemin-yapı etkileşimine olan etkilerinin incelenmesi mümkün olmaktadır. Modellerdeki zeminin altında rijit anakaya olduğu varsayımı yapıldığı için, uygulanan yer hareketi doğrudan yerdeğiştirme olarak modele uygulanabilmektedir [114].

Modele uygulanan deprem hareketi yanındaki diğer bir yüklemeye de yer çekimidir. Bu etki modele önce statik analizle uygulanıp daha sonra dinamik analizle uygulanabileceği, dinamik analiz başlangıcında, deprem etkisi henüz modele tanımlanmadan da uygulanabilmektedir. Şekil 2.20'de yer çekiminin tamamının 1 s ile 5 s arasındaki zamanlar içerisinde sisteme uygulandığı durumlar sonucunda sistemin düşey yerdeğiştirmesinin zamanla değişimleri verilmektedir. Buna göre yer çekiminin 1 s içerisinde uygulandığı sistemde şok etkisine benzer etkilerin oluştuğu görülürken, yer çekimi etkisinin uygulanma süresinin artmasıyla birlikte oluşan bu şok etkisinin azaldığı görülmektedir. Hesaplama yükü de göz önüne alındığında, bu sürenin 5 s olması uygun olmaktadır.



Şekil 2.19 Üretilen 1 ve 2 yapay depremlerinin (a) ve (b) spektrum değerlerinin hedef tasarım spektrumu ile karşılaştırılması, (c) ve (d) ivme ve (e) ve (f) yerdeğiştirme değerlerinin zamanla, (g) ve (h) Fourier genliklerinin frekansla değişimleri



Şekil 2.20 (a) Sistemin düşey yerdeğiştirme değerlerinin farklı yer çekimi uygulama süreleriyle değişimi ve (b) bazı durumlar için yerdeğiştirme değerlerinin 5 s sonrasındaki değişimi

Bu çalışmanın amacı birbirlerine yakın konumda bulunan yapılar arasındaki yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışında meydana gelen değişikliklerin farklı durumlar için incelenmesidir. Bu kapsamda, öncelikle temel zeminin yapı davranışına olan etkilerini incelemek üzere temelleri ankastre mesnetli olan durumlar ile yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlar karşılaştırılmıştır. Sonra, zemin üzerinde bulunan iki yapı arasında oluşan yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapı davranışlarında meydana gelen değişimler zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumu göz önüne alınarak incelenmiştir. Her iki etkileşim için de çeşitli durumlara ait sonuçlar değerlendirilerek, bu etkilerin etkileşimler ve yapı davranışları üzerindeki etkilerinin ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır.

3.1 Yapı-Zemin Etkileşimine Ait Bulgular ve İrdelemeler

Yapı mühendisliğinde yapılar genelde analiz edilirken yapıların altındaki zeminden dolayı oluşabilecek etkiler hesaplamaların daha hızlı bir şekilde yapılabilmesi için ihmal edilmektedir. Fakat, yapıların altındaki zeminlerin yapıların esneklikleri üzerinde önemli değişikliklere sebep olması sebebiyle, yapıların dinamik özelliklerinde ve davranışlarında değişimlere sebep olabilmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada yapı özelliklerinde ve davranışlarında zemin sebebiyle meydana gelen bu değişimler değerlendirilirken, öncelikle yapıların modal özelliklerinde ve daha sonra deprem etkisi altında davranışlarında meydana gelen değişiklikler aşağıdaki alt başlıklarda incelenmiştir.

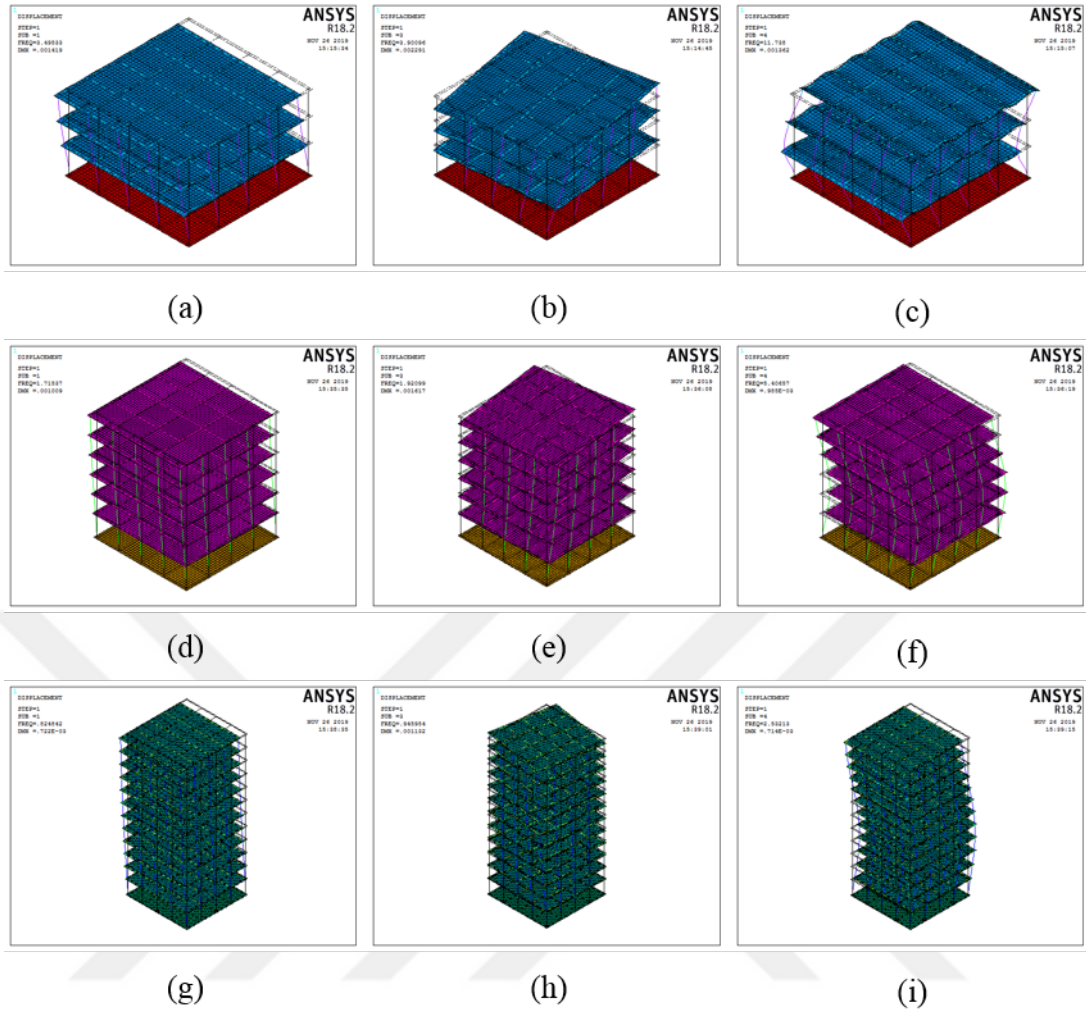
3.1.1 Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Modal Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Yapıların esnekliklerinin değişmesiyle birlikte, yapıların doğal titreşim periyotları da değiştirmektedir. Bir yapı analiz edilirken, yapı-zemin etkileşimi sonucunda oluşan etkilerin dikkate alınmasıyla birlikte, yapının esnekliği yapının zemine tam bağlı olması durumuna, yani yapı temelini ankastre olarak bağlı olduğu durumuna, kıyasla

daha fazla olmaktadır. Bunun sonucu olarak, yapının doğal titreşim periyodu yapı altındaki zeminin dikkate alınmasıyla birlikte artmaktadır. Yapıların doğal titreşim değerlerinde meydana gelebilecek bu değişikliğin incelenmesi amacıyla her bir yapının modal analizleri iki zemin türünü de dikkate alarak gerçekleştirilmiştir. Yapı-zemin etkileşimi sonucunda yapıların modal özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi için analizi gerçekleştirilen durumlarda, zeminin kütlelerinin olmadığı dikkate alınmaktadır. Yapılan analizler sonucu belirlenen ilk 5 moda ait doğal titreşim periyotları, her iki zemin türü, temelin ankastre olup olmaması ve farklı kat sayıları için Tablo 3.1’de verilmektedir. Ayrıca, tip 1 zemini üzerinde bulunan 3, 6 ve 12 katlı yapılar için mod şekilleri Şekil 3.1’de verilmektedir. Tablo 3.1’den görüldüğü gibi, her bir durum için değişen miktarlarda olsa da yapıların periyotlarında artış meydana gelmektedir. Periyotlardaki bu değişimler özellikle ilk modlarda çok daha belirgindir ve en fazla değişim 3 katlı yapının periyot değerlerinde görülmektedir. Bunun yanı sıra, tip 1 zemini üzerinde bulunan yapıların doğal titreşim periyodu değerlerinde görülen değişimlerin miktarları, tip 2 zemini üzerinde bulunan yapıların periyot değerlerinde görülen değişim miktarlarına kıyasla çok daha fazla olmaktadır. Bu farklılığın sebebi, tip 1 zemininin tip 2 zeminine göre daha yumuşak olmasından dolayı yapıların esnekliklerinin daha fazla artmasından kaynaklanmaktadır. Tablo 3.1’de verilmiş olan üçüncü periyotlar yapıların burulma moduna karşılık gelmektedir. Şekil 3.1 (b), (e) ve (h)’de bu moda ait olan şekillerin yapıların mesnetlenmesine ya da yapı altındaki zeminin türüne bağlı olmadığı görülmektedir. Yapıların simetrik olması sebebiyle 1. ve 2 modlar ile 4. ve 5. modlara ait doğal titreşim periyotları aynı olmaktadır.

Tablo 3.1 Yapıların doğal titreşim periyotları

Zemin Türü	Yapı Tabanı	Kat Sayısı	1. Mod (s)	2. Mod (s)	3. Mod (s)	4. Mod (s)	5. Mod (s)
-	Tam B.	3	0,286	0,286	0,256	0,085	0,085
	Tam B.	6	0,583	0,583	0,521	0,185	0,185
	Tam B.	12	1,212	1,212	1,057	0,395	0,395
1	YZE	3	0,314	0,314	0,256	0,107	0,107
	YZE	6	0,610	0,610	0,521	0,197	0,197
	YZE	12	1,238	1,239	1,057	0,405	0,405
2	YZE	3	0,293	0,239	0,256	0,088	0,088
	YZE	6	0,590	0,590	0,521	0,188	0,188
	YZE	12	1,220	1,220	1,058	0,397	0,397



Şekil 3.1 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının (a) 1.mod, (b) 3.mod ve (c) 4.mod, 6 katlı yapının (d) 1.mod, (e) 3.mod ve (f) 4.mod , 12 katlı yapının (g) 1.mod, (h) 3.mod ve (i) 4. modlarına ait şekil değiştirmeler

3.1.2 Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Dinamik Davranışları Üzerindeki Etkisi

Yapıların altındaki zeminin etkisi sonucunda yapıların dinamik özelliklerinin önemli miktarlarda değişebildiği Kısım 3.1.1'de gösterilmiştir. Bu bağlamda, yapıların dinamik etkiler altındaki davranışlarının dinamik özelliklerine bağlı olarak değiştiği düşünüldüğünde, yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınmasıyla birlikte yapıların davranışlarında önemli miktarlarda değişimlerin meydana gelmesi muhtemeldir. Yapıların davranışlarında meydana gelebilecek bu değişikliklerin belirlenmesi amacıyla, yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlar ile yapıların zemine tam bağlı olduğu durumlarda elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapıların analizlerinin yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak gerçekleştirilmesi durumunda, anakaya hareketi zeminin altından uygulanabilmektedir. Diğer taraftan,

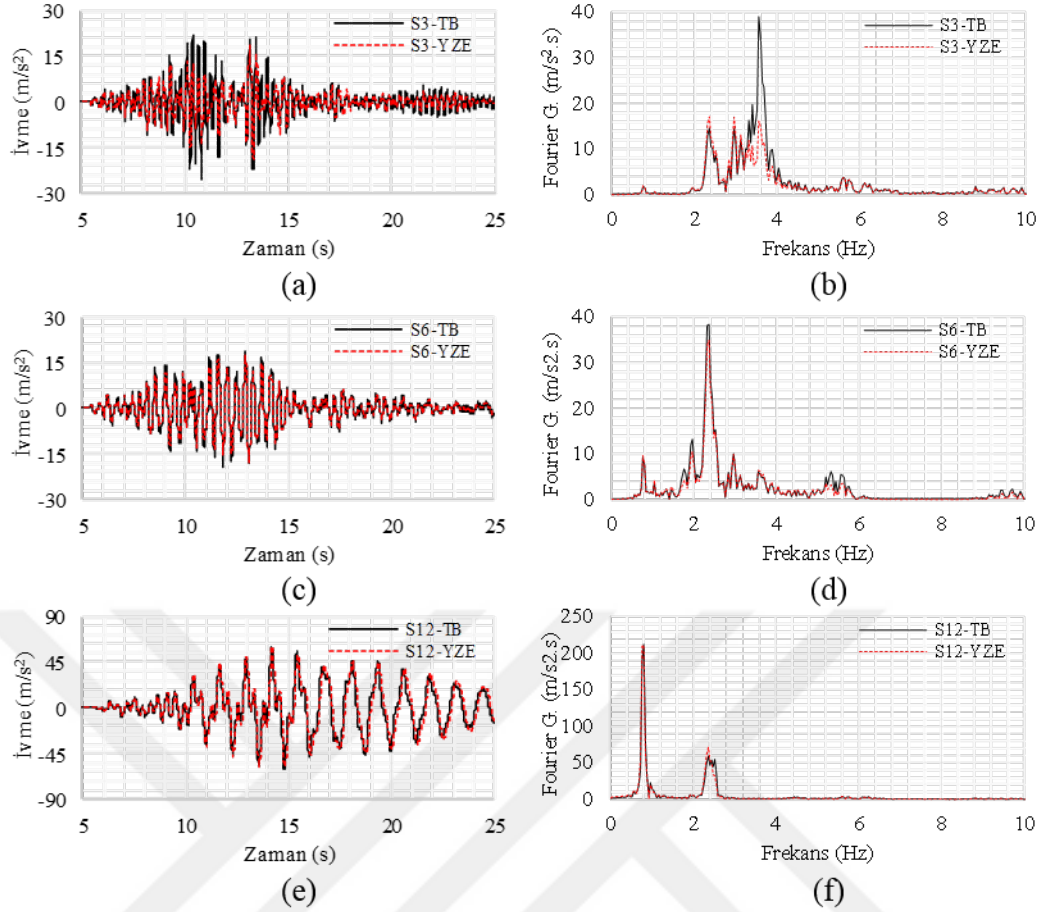
zemine tam bağı olan yapıların analizlerinde sadece yapıların dikkate alınması ve oluşturulan modellerde zemin bulunmaması sebebiyle, zemin yüzeyindeki deprem etkisi yapılara uygulanmalıdır. Bu nedenle, zemine tam bağı yapıların ve yapı-zemin etkileşimi analizlerini aynı anakaya hareketi altında gerçekleştirilmesi için anakayadaki deprem hareketinin serbest zemin yüzeyine taşınması ve elde edilen bu yüzey hareketinin zemine tam bağı olan yapılara uygulanması gerekmektedir. Böylece, yapılar her iki durum için de aynı deprem etkisinde analiz edilebilecek ve sonuçların birbirleriyle karşılaştırılması mümkün olabilecektir. Bu çalışma kapsamında, yapıların davranışları değerlendirilirken, yapıların üst orta noktasının temel orta noktasına göre olan göreceli değerleri kullanılmıştır.

Yapıların altında tip 1 zemini olması durumlarında, zemine tam bağı ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlar için farklı kat sayısına sahip yapıların en büyük ivme (EB ivme), en büyük yerdeğiştirme (EB yerdeğiştirme), en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri (EBZKÖ) ve bu değerlerin yapıların zemine tam bağı olduğu durumlara göre değişimleri ("% olarak) Tablo 3.2'de, tip 1 zemini üzerinde bulunan 3, 6 ve 12 katlı yapıların 1 ve 2 depremleri etkisinde yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlar ile yapıların zemine tam bağı oldukları durumlar için ivme değerlerinin, yerdeğiştirme değerlerinin ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliklerinin frekansla değişimleri Şekil 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'te verilmektedir.

Tablo 3.2, Şekil 3.2 (a) ve 3.3 (a)'dan görüldüğü gibi, tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının en büyük ivme değerinde her iki deprem etkisinde de %20'den fazla azalmaktadır. Benzer şekilde, Tablo 3.2, Şekil 3.2 (c) ve 3.3 (c)'den

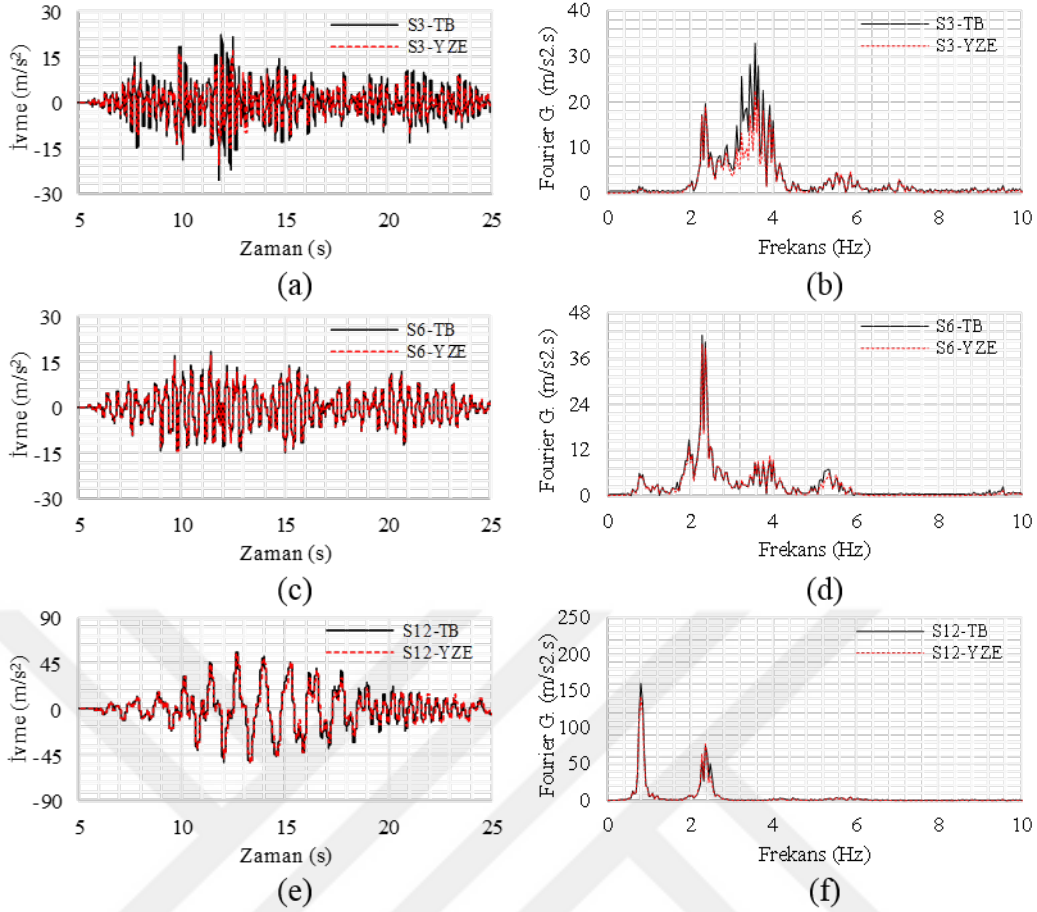
Tablo 3.2 Tip 1 zemini üzerinde bulunan yapılara ait bazı bulgular

Deprem	Yapı Durumu	Kat Sayısı	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değiş. (%)	EB Yerd. (m)	EBY Değiş. (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değiş. (%)
1	Tam B.	3	25,42	-	7,07	-	0,83	-
	Tam B.	6	19,23	-	12,66	-	0,73	-
	Tam B.	12	60,35	-	169,32	-	5,03	-
	YZE	3	18,95	-25,42	6,80	-3,89	0,81	-3,03
	YZE	6	17,88	-7,01	11,71	-7,45	0,72	-1,23
	YZE	12	59,17	-1,96	175,61	3,71	4,97	-1,24
2	Tam B.	3	25,52	-	7,60	-	0,98	-
	Tam B.	6	18,20	-	11,88	-	0,84	-
	Tam B.	12	56,38	-	173,36	-	5,32	-
	YZE	3	20,20	-20,86	6,15	-19,07	0,72	-25,96
	YZE	6	16,88	-7,28	11,87	-0,04	0,72	-13,55
	YZE	12	53,33	-5,41	166,38	-4,03	4,29	-19,37



Şekil 3.2 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi

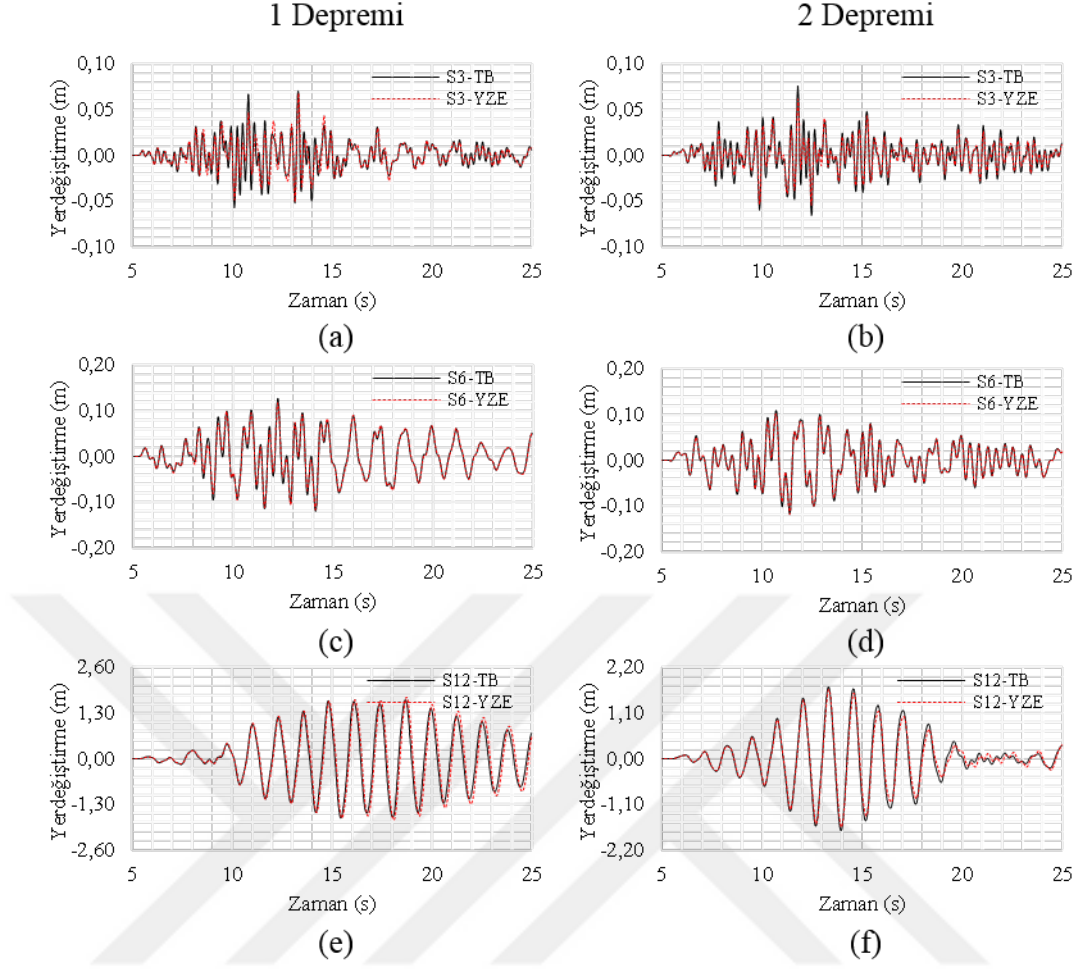
görüldüğü gibi, 6 katlı yapı için de en büyük ivme değerinde her iki deprem içinde %7'den fazla azalmalar meydana gelmektedir. Yine Tablo 3.2, Şekil 3.2 (e) ve 3.3 (e)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının en büyük ivme değerinde ise, 1 depreminde %2 civarında bir azalma olurken, 2 depremi etkisinde bu azalmanın değeri %5,4 civarındadır. İvme değerlerinin Fourier genliklerinde oluşan farklılıklar yapıların kat sayısı artmasıyla birlikte azalmaktadır. Şekil 3.2 ve 3.3'ten görüldüğü gibi, 3 katlı yapının Fourier genliklerinde oluşan değişiklik diğer yapılara kıyasla daha fazla olmaktadır. Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi, yerdeğiştirme değerlerinin ivme değerlerindeki kadar olmasa da, bir miktar azalmanın olduğu görülmektedir. 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerindeki azalmalar 1 ve 2 depremleri için sırasıyla %3,9 ve %19,1 olarak elde edilmektedir (Şekil 3.4 (a) ve (b)). 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerindeki değişim miktarları 1 depreminde %7,5 olurken, 2 depreminde ise önemli bir değişiklik olmamaktadır (Şekil 3.4 (c) ve (d)). 12 katlı yapının yerdeğiştirme değerleri 1 depremi etkisinde %3,7 oranında artarken, 2 depremi için ise %4 civarında azalmaktadır (Şekil 3.4 (e) ve (f)). Şekil 3.5'den



Şekil 3.3 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi

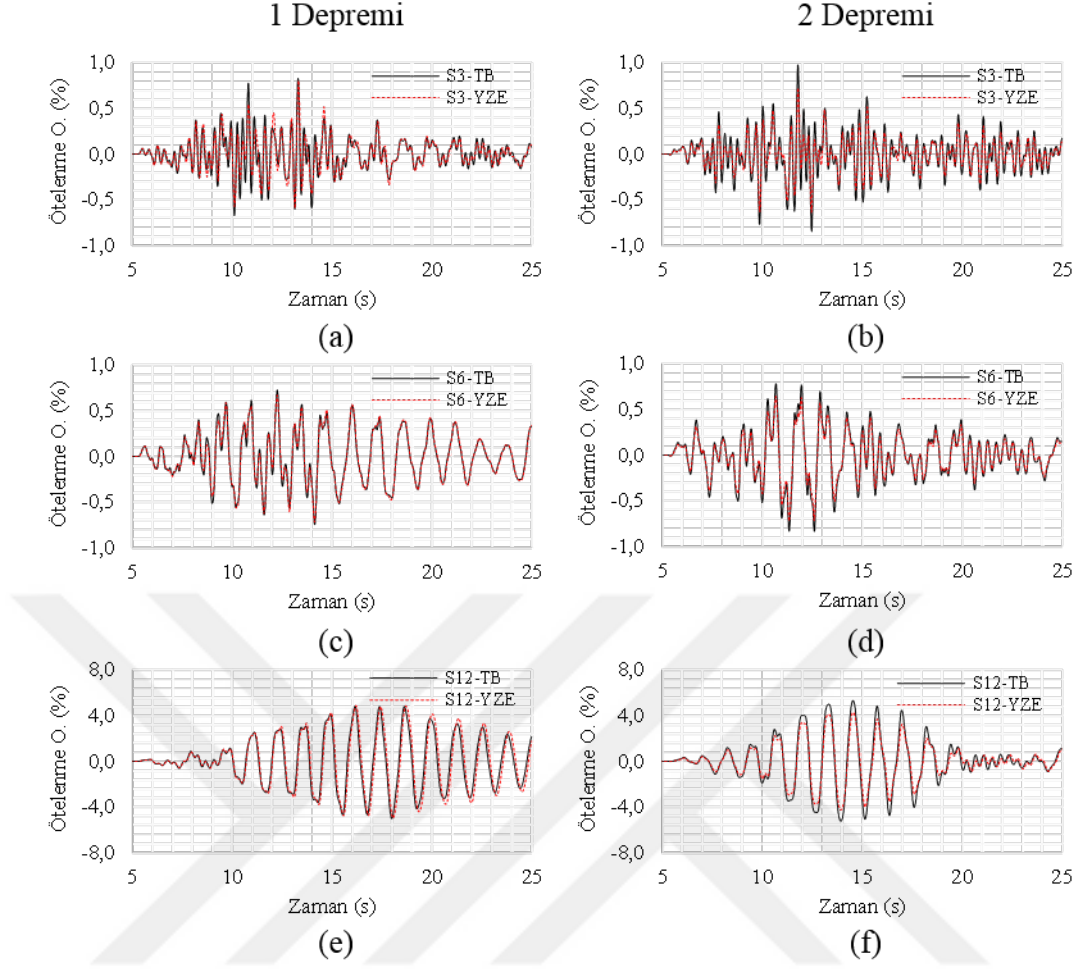
görüldüğü gibi, yapıların zemin kat ötelenme oranı değerleri, yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınması durumunda 1 depremi etkisinde 3 katlı yapı için %3 azalırken, 2 depremi etkisinde bu değişimin miktarı %26 civarında olmaktadır (Şekil 3.5 (a) ve (b)). 6 katlı yapının zemin kat ötelenme oranı değerleri 1 depremi için %1,2, 2 depremi için ise %13,6 civarında azalmaktadır (Şekil 3.5 (c) ve (d)). Aynı değerler 12 katlı yapı için incelendiğinde, ötelenme oranı değerleri 1 depremi için %1,2, 2 depremi için ise %19,4 azalmaktadır (Şekil 3.5 (e) ve (f)).

Tam bağlı ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı model yapıların tip 2 zemini üzerinde bulunması durumlarında en büyük ivme, en büyük yerdeğiştirme, en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri ve bu değerlerin yapıların zemine tam bağlı olduğu duruma göre değişimleri ("%" olarak) Tablo 3.3'te, tip 2 zemini üzerinde bulunan 3, 6 ve 12 katlı yapıların 1 ve 2 depremleri etkisinde yapı-zemin etkileşiminin dikkate alındığı ve yapıların zemine tam bağlı olduğu durumlarda ivme değerlerinin, yerdeğiştirme değerlerinin ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimleri Şekil 3.6 - 3.9'da verilmektedir.



Şekil 3.4 Tip 1 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda yerdeğiştirme değerlerinin zamanla değişimi

Tablo 3.3, Şekil 3.6 ve 3.7'den görüldüğü gibi, incelenen yapıların tip 2 zemin üzerinde bulunması durumunda, 3 katlı yapının en büyük ivme değeri 1 depremi etkisinde %14,3 oranında azalırken, 2 depremi etkisinde %3,4 oranında artmaktadır. 6 katlı yapının en büyük ivme değeri 1 depremi etkisinde %3,6 azalırken, 2 depremi için de %0,4 oranında azalmaktadır (Şekil 3.6 (c) ve Şekil 3.7 (c)). 12 katlı yapı için ivme değerlerinin değişimi incelendiğinde, diğer yapılardaki davranışın tersine 1 ve 2 depremleri için sırasıyla %2,2 ve %3,3 oranlarında artışın olduğu görülmektedir (Şekil 3.6 (e) ve Şekil 3.7 (e)). Yapıların ivme değerlerinin Fourier genliklerinde oluşan değişiklikler diğer yapılara kıyasla 3 katlı yapıda daha belirgin olurken, yapıların kat sayılarının artmasıyla birlikte bu farklılıkların miktarı azalmaktadır. Yapıların altında tip 2 zemini olduğu durumlarda, Fourier genliklerinde meydana gelen değişimler, zeminin tip 1 olması durumlarına göre daha az miktarlarda olmaktadır. Şekil 3.8'den görüldüğü gibi, yapıların en büyük yerdeğiştirme değerleri 3 katlı yapı için 1 ve 2 depremleri için sırasıyla %6,1 ve %10,1 oranlarında azalma meydana gelmekte (Şekil

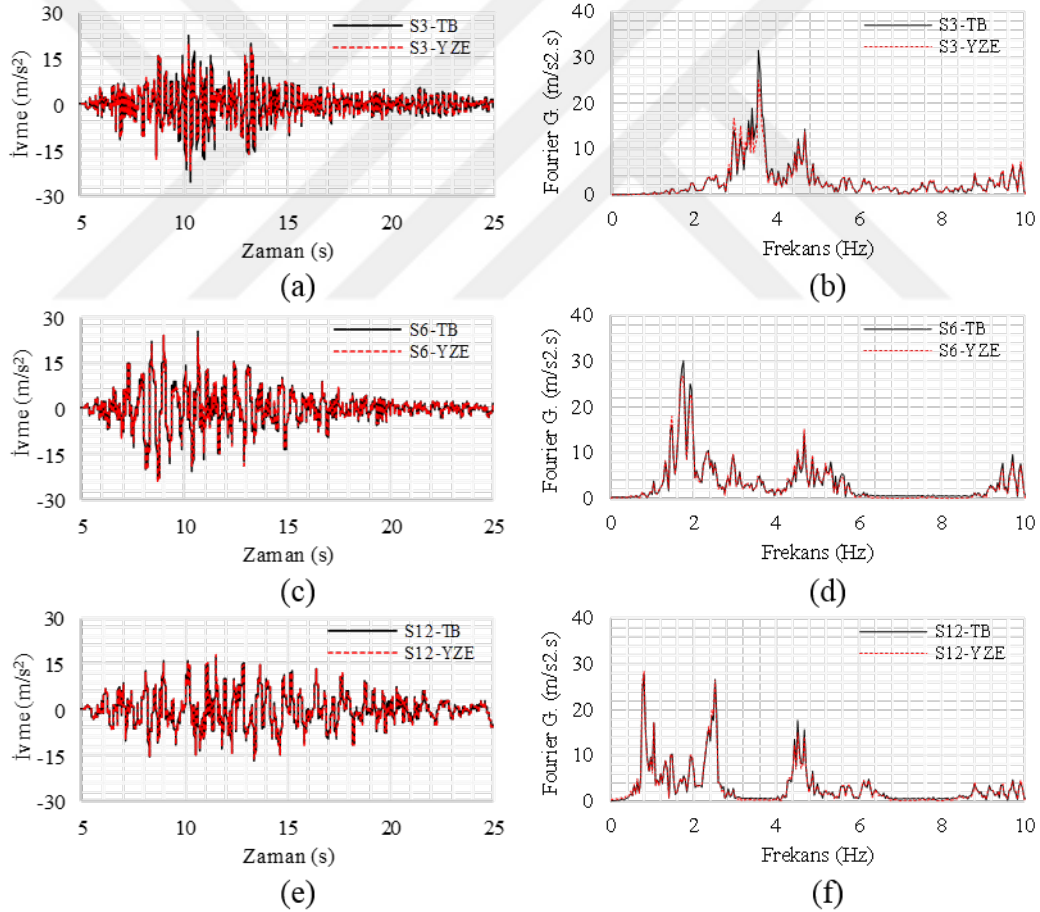


Şekil 3.5 Tip 1 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda zemin kat ötelenme değerlerinin zamanla değişimi

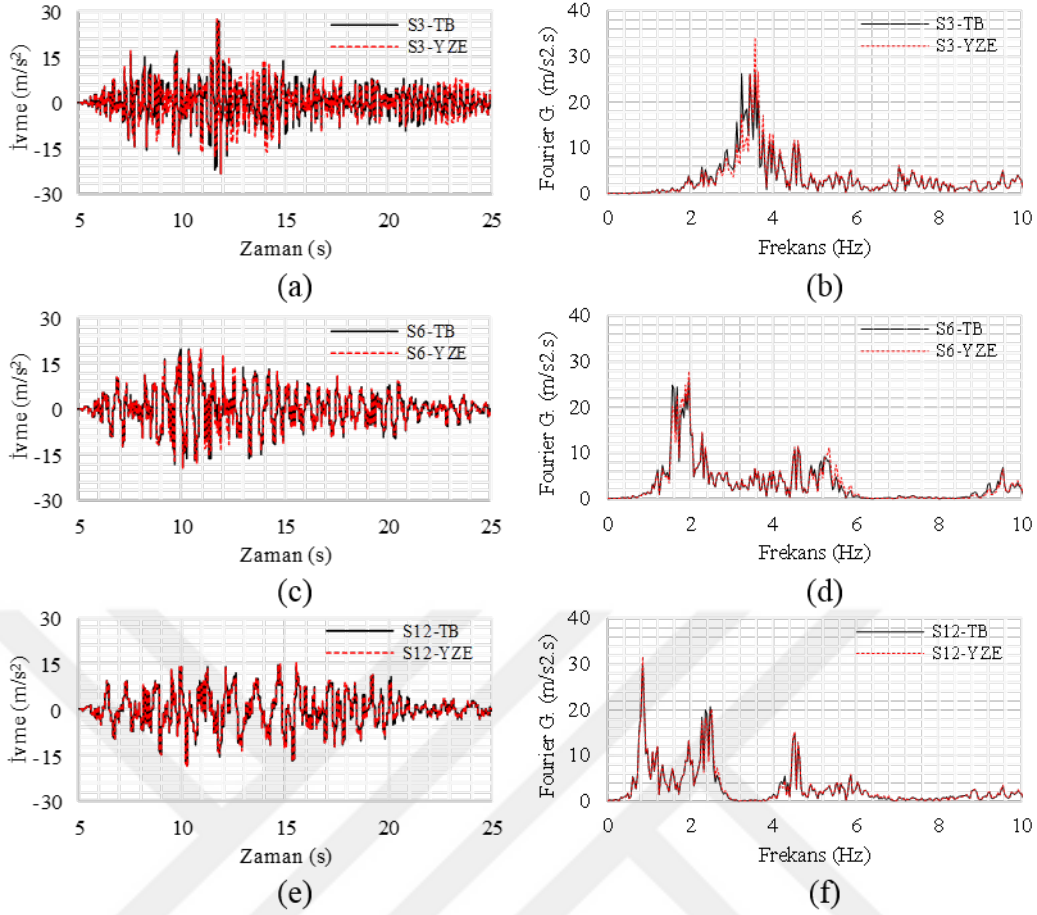
3.8 (a) ve (b)), 6 katlı yapının yerdeğiştirme değerleri 1 depremi etkisinde %1,2 oranında artarken, 2 depremi etkisinde ise %3,6 oranında azalmaktadır (Şekil 3.8 (c) ve (d)). Benzer şekilde, 12 katlı yapının yerdeğiştirme değerleri 1 depremi etkisinde %12,5 arttığı, ancak 2 depremi etkisinde %3,4 oranında azaldığı görülmektedir (Şekil 3.8 (e) ve (f)). Şekil 3.9'dan görüldüğü gibi, yapı-zemin etkileşimi sebebiyle 3 katlı yapının zemin kat ötelenme oranında 1 depremi etkisinde %1 değerinde azalma görülürken, 2 depremi etkisinde bu azalma %23,2 olarak elde edilmektedir (Şekil 3.9 (a) ve (b)). 6 katlı yapının zemin kat ötelenme oranı değerinde 1 depremi altında %1,2 artış görülürken, 2 depremi etkisinde ise %18,9 oranında bir azalma olmaktadır (Şekil 3.9 (c) ve (d)). 12 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerleri 1 depremi etkisinde %0,8 artarken, 2 depremi etkisinde azalma miktarı %14,9 olarak elde edilmektedir (Şekil 3.9 (e) ve (f)). Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının her iki deprem etkisi altında da elde edilen ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin çok büyük miktarlarda olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin 12

Tablo 3.3 Tip 2 zemini üzerinde bulunan yapılara ait bazı bulgular

Deprem	Yapı Durumu	Kat Sayısı	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değiş. (%)	EB Yerd. (m)	EBY Değiş. (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değiş. (%)
1	Tam B.	3	25,54	–	4,29	–	0,47	–
	Tam B.	6	19,23	–	16,38	–	1,01	–
	Tam B.	12	17,52	–	29,91	–	1,01	–
	YZE	3	21,89	-14,28	4,03	-6,05	0,47	-1,01
	YZE	6	23,97	-3,59	16,58	1,21	1,02	1,19
	YZE	12	17,91	2,20	33,65	12,51	1,02	0,74
2	Tam B.	3	26,61	–	5,00	–	0,64	–
	Tam B.	6	19,73	–	15,16	–	1,16	–
	Tam B.	12	17,98	–	31,93	–	1,22	–
	YZE	3	27,52	3,40	4,50	-10,11	0,49	-23,21
	YZE	6	19,65	-0,37	14,61	-3,58	0,94	-18,85
	YZE	12	18,57	3,25	30,85	-3,37	1,04	-14,91



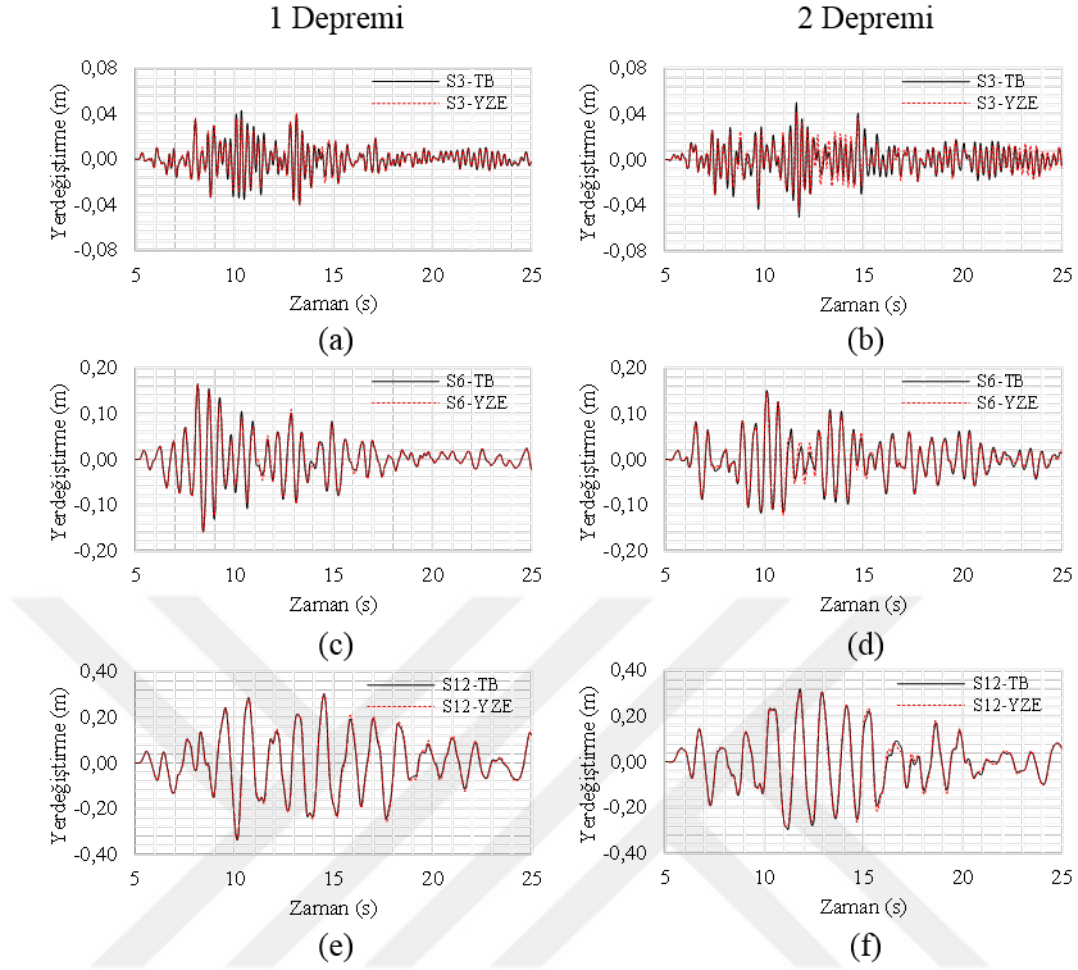
Şekil 3.6 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi



Şekil 3.7 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda ivme değerlerinin zamanla ve Fourier genliklerinin frekansla değişimi

katlı yapının doğal titreşim periyodu ile zeminin doğal titreşim periyodu değerlerinin birbirlerine çok yakın (tip 1 zeminin doğal titreşim periyodu 1,28 s ve 12 katlı yapının periyodu 1,24 s) olması sebebiyle meydana geldiği düşünülmektedir.

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışları incelendiğinde, yapıların zemine tam bağlı olduğu durumlarda elde edilen sonuçları ile yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlara ait sonuçlar arasında önemli miktarlarda farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar özellikle yapıların yumuşak zemin (tip 1 zemini) üzerinde bulunduğu durumlarda önemli miktarlara ulaşmaktadır. Yapı tepkilerinde meydana gelen değişikliklerin miktarlarına bakıldığında, diğer yapılara göre daha az kat sayısında olan 3 katlı yapının tepkilerinde meydana gelen değişiklikler diğer yapılara kıyasla daha fazla oranlarda olduğu görülmektedir. Bu durumun, yapı rijitliğinin zemin rijitliği oranına olan farkının en fazla 3 katlı yapıda görülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

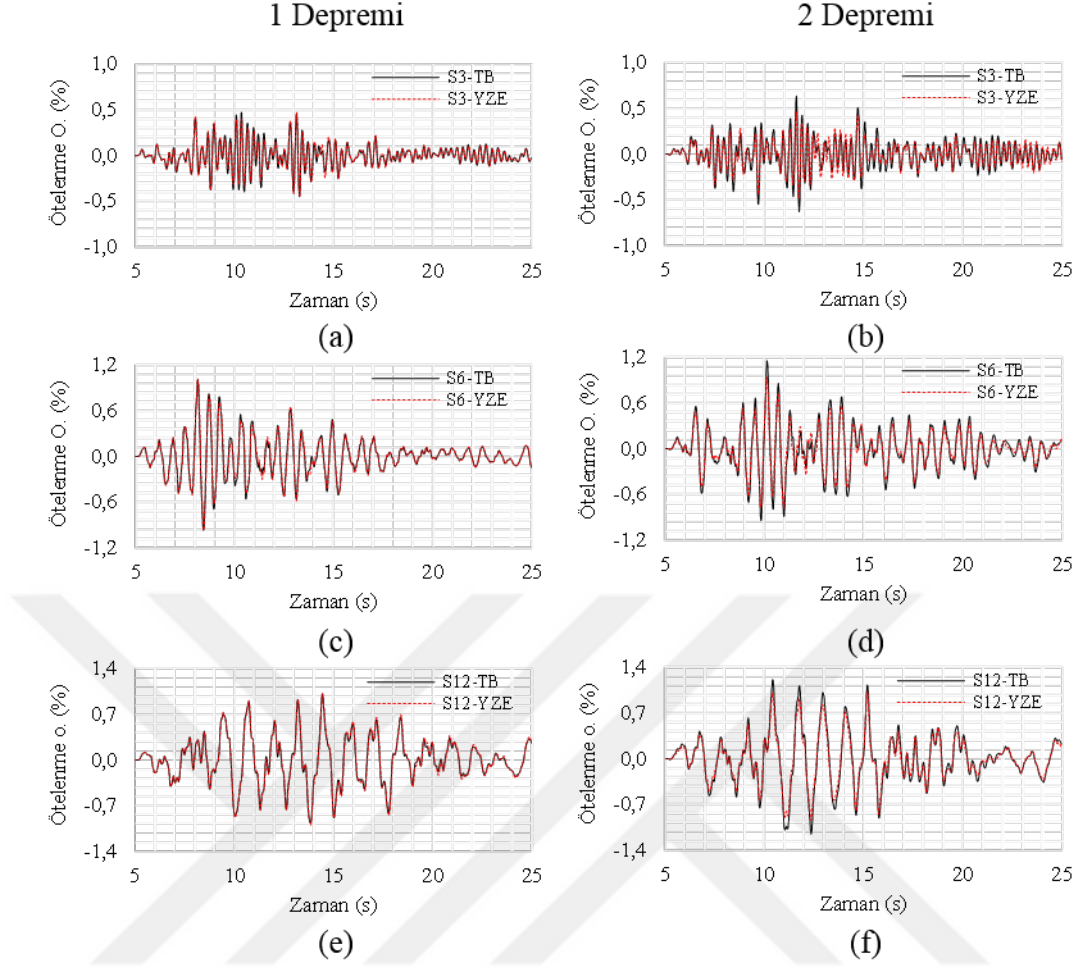


Şekil 3.8 Tip 2 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda yerdeğiştirme değerlerinin zamanla değişimi

3.2 Yapı-Zemin-Yapı Etkileşimine Ait Bulgular ve İrdelemeler

Aynı hizada bulunan, aralarında 4 m olan ve tip 1 zeminine oturan yapılardan dolayı 11., 20. ve 25. saniyelerde zemin yüzeyinde meydana gelen eşyerdeğiştirme eğrileri Şekil 3.10'da, farklı hizada bulunan, aralarındaki 48 m olan ve tip 1 zeminine oturan yapılardan dolayı 11., 20. ve 25. saniyelerde zemin yüzeyinde meydana gelen eşyerdeğiştirme eğrileri Şekil 3.11'de ve farklı hizada bulunan, aralarında 4 m olan ve tip 1 zeminine oturan yapılardan dolayı 11., 20. ve 25. saniyelerde zemin yüzeyinde meydana gelen eşyerdeğiştirme eğrileri ise Şekil 3.12'de verilmektedir.

Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12'den görüldüğü gibi yapıların birbirlerine göre konumuna, aralarındaki mesafeye ve kat sayılarına bağlı olarak eşyerdeğiştirme eğrilerinde ve konumlarında değişiklik olmaktadır.



Şekil 3.9 Tip 2 zemini üzerinde bulunan, 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3, 6 ve 12 katlı yapıların zemine tam bağlı olduğu ve yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimi

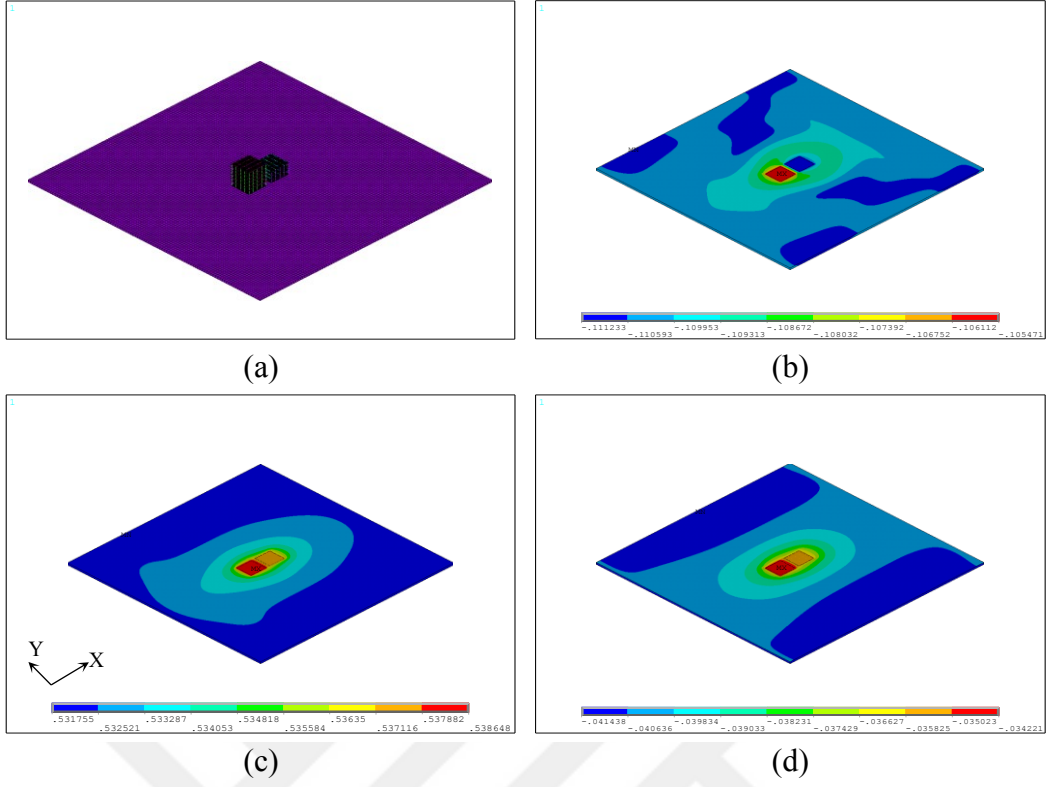
3.2.1 Aynı Hizada Bulunan Yapılar Arasındaki Etkileşime Ait Bulgular ve İrdemeler

Bu kısımda, Şekil 2.1 (b)'de verilen iki yapının aynı hizada, yan yana bulunduğu çeşitli durumlarda yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda çalışma kapsamında ele alınan yapıların (3, 6 ve 12 katlı) davranışlarında meydana gelen değişikliklere ait bulgular sunulmaktadır.

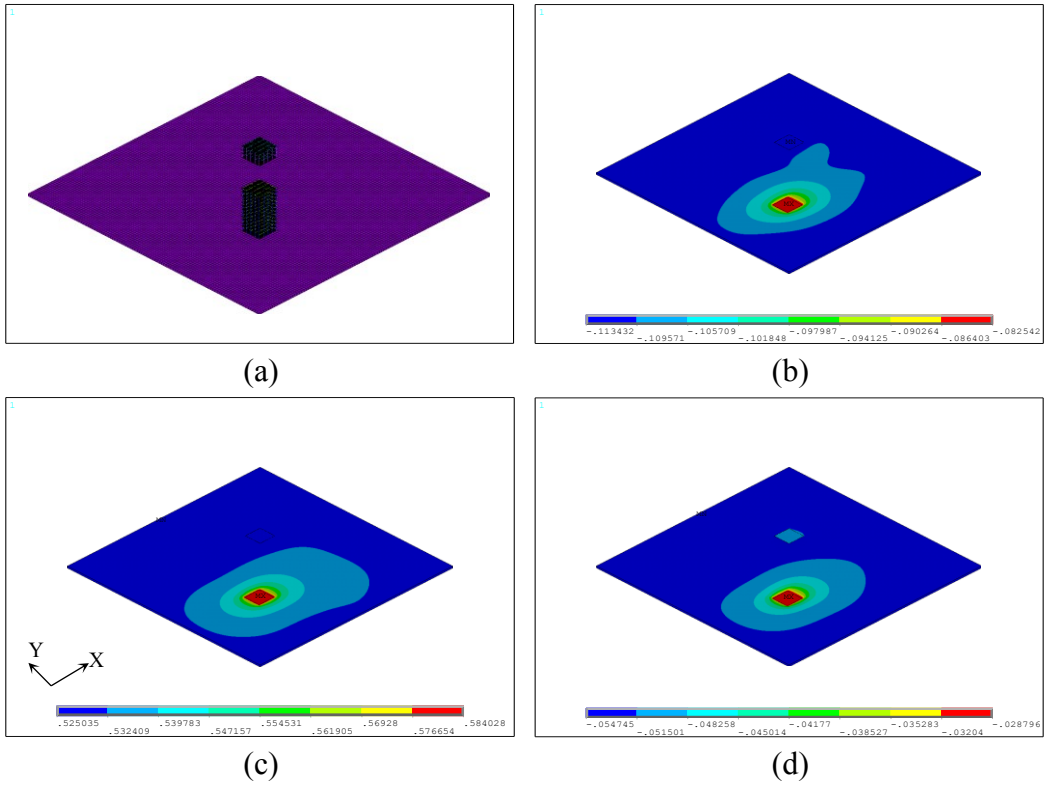
3.2.1.1 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdemeler,

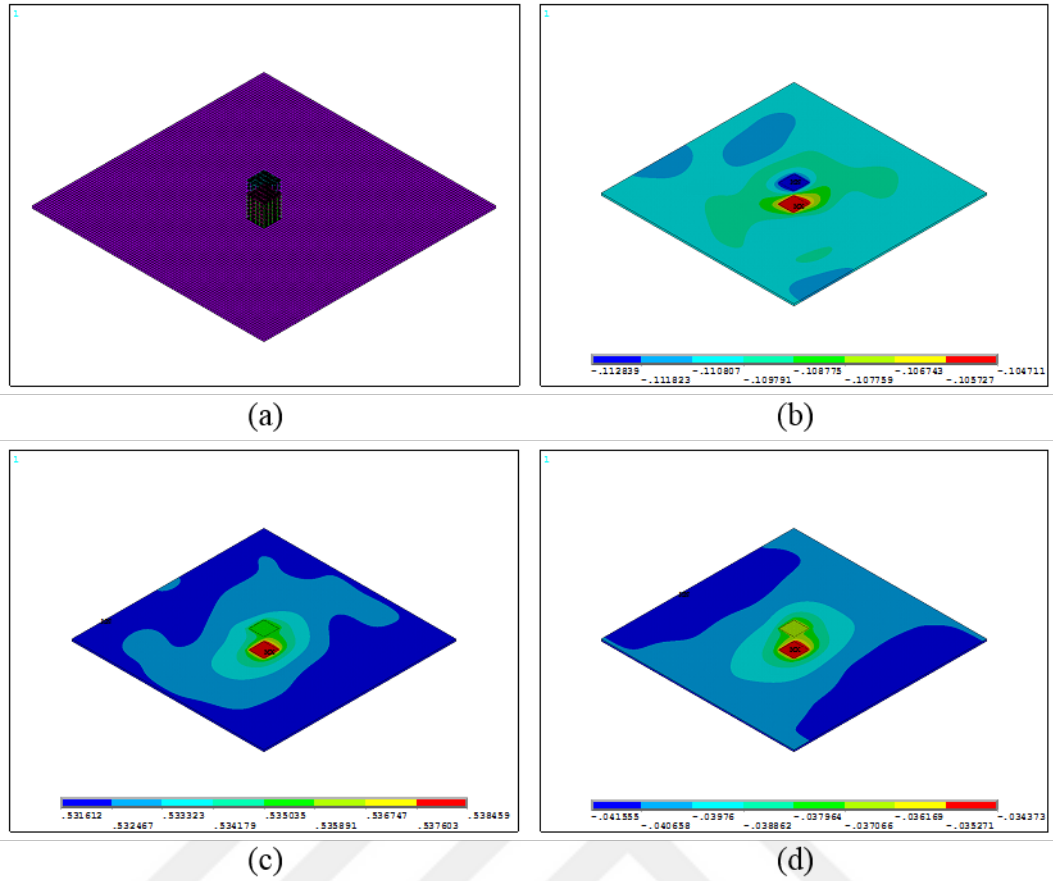
Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük



Şekil 3.10 (a) Zemin üzerinde yan yana aynı hizada bulunan 3 ve 6 katlı yapılar ve bu yapıların (b) 11.s, (c) 20.s ve (d) 25.s'deki zemin yüzeyi eşyerdeğiştirme eğrileri



Şekil 3.11 (a) Zemin üzerinde yan yana farklı hizada bulunan 3 ve 12 katlı yapılar ve bu yapıların (b) 11.s, (c) 20.s ve (d) 25.s'deki zemin yüzeyi eşyerdeğiştirme eğrileri



Şekil 3.12 (a) Zemin üzerinde yan yana farklı hizada bulunan 3 ve 6 katlı yapılar ve bu yapıların (b) 11.s, (c) 20.s ve (d) 25.s'deki zemin yüzeyi eşyerdeğiştirme eğrileri

Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.13'te ve bu durumlardan bazılarında 3 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.14'de verilmektedir.

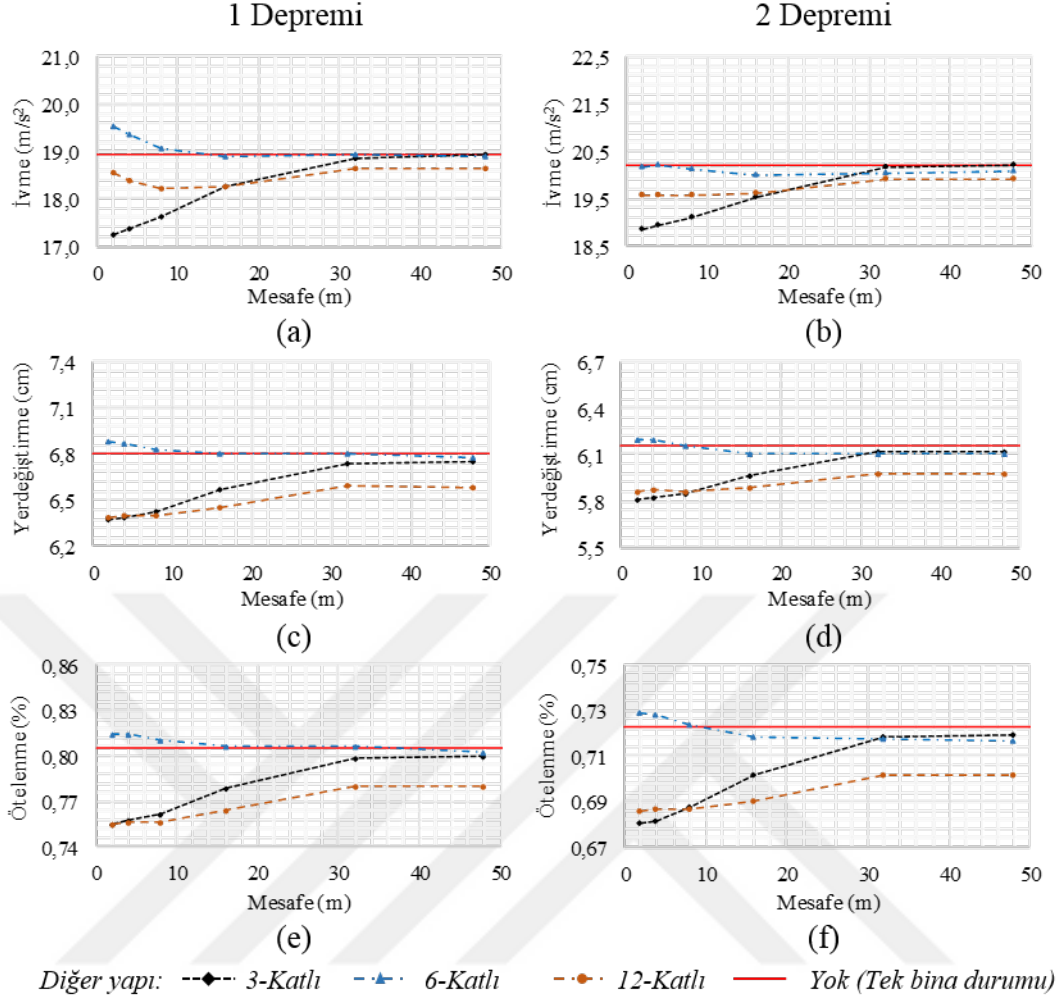
Tablo 3.4 ve 3.5 ile Şekil 3.13 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında başka bir 3 katlı yapının bulunduğu durumlarda, her iki deprem etkisi altında da yapıda oluşan en büyük ivme değerleri azalmaktadır: 1 depremi etkisinde, 3 katlı yapının en büyük ivme değerindeki en fazla azalma yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda olmaktadır ve bu değişimin miktarı 3 katlı yapının tek başına olması durumuna göre %9 oranında azdır. Şekil 3.14 (a)'dan görüldüğü gibi, 2 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %6,6 civarında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında farklı kat sayısında olan bir yapı bulunması durumlarında ise, yapıların ivmelerindeki değişimin miktarı

Tablo 3.4 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	18,95	-	17,11	-	6,80	-	0,81	-
3	2	17,25	-8,98	17,05	-0,37	6,37	-6,31	0,76	-6,22
3	4	17,35	-8,45	16,96	-0,90	6,39	-6,09	0,76	-6,03
3	8	17,63	-6,98	16,86	-1,49	6,43	-5,43	0,76	-5,41
3	16	18,25	-3,72	16,90	-1,23	6,57	-3,40	0,78	-3,39
3	32	18,86	-0,48	16,85	-1,52	6,74	-0,91	0,80	-0,94
3	48	18,92	-0,16	17,13	0,12	6,76	-0,64	0,80	-0,67
6	2	19,52	2,99	17,62	3,01	6,88	1,19	0,81	1,07
6	4	19,34	2,06	17,55	2,55	6,87	1,07	0,81	1,00
6	8	19,07	0,60	17,54	2,52	6,84	0,52	0,81	0,51
6	16	18,90	-0,27	17,28	0,99	6,80	0,07	0,81	0,08
6	32	18,94	-0,09	17,17	0,34	6,80	0,02	0,81	0,02
6	48	18,91	-0,24	17,04	-0,41	6,78	-0,33	0,80	-0,35
12	2	18,54	-2,20	17,62	2,96	6,39	-5,97	0,76	-6,25
12	4	18,40	-2,95	17,59	2,79	6,40	-5,90	0,76	-6,14
12	8	18,21	-3,93	17,63	3,06	6,40	-5,87	0,76	-6,05
12	16	18,27	-3,64	17,26	0,87	6,45	-5,08	0,76	-5,15
12	32	18,64	-1,67	17,06	-0,29	6,59	-3,05	0,78	-3,13
12	48	18,63	-1,72	16,82	-1,69	6,59	-3,11	0,78	-3,19

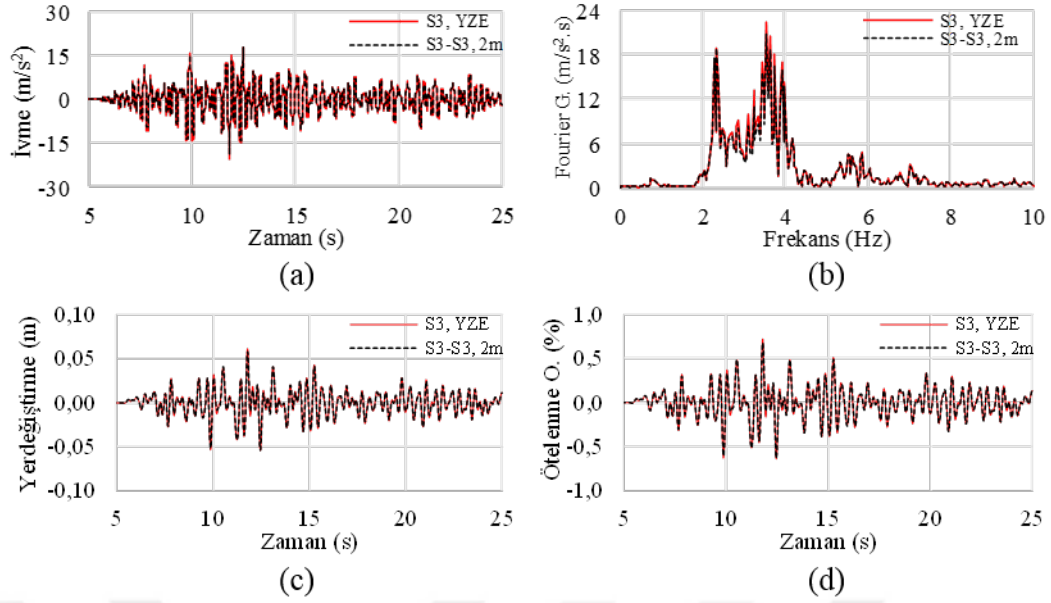
Tablo 3.5 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	20,20	-	22,51	-	6,15	-	0,72	-
3	2	18,86	-6,64	20,76	-7,73	5,81	-5,63	0,68	-5,89
3	4	18,93	-6,27	21,31	-5,31	5,81	-5,49	0,68	-5,77
3	8	19,10	-5,45	22,28	-1,01	5,85	-4,98	0,69	-4,95
3	16	19,53	-3,32	23,45	4,18	5,97	-2,98	0,70	-3,01
3	32	20,16	-0,16	23,11	2,68	6,12	-0,53	0,72	-0,60
3	48	20,18	-0,07	23,07	2,49	6,12	-0,48	0,72	-0,52
6	2	20,18	-0,08	24,48	8,77	6,20	0,79	0,73	0,76
6	4	20,22	0,12	23,44	4,14	6,20	0,71	0,73	0,70
6	8	20,12	-0,40	22,68	0,78	6,16	0,12	0,72	0,13
6	16	19,98	-1,09	22,73	1,01	6,11	-0,68	0,72	-0,68
6	32	20,05	-0,74	22,58	0,35	6,11	-0,77	0,72	-0,79
6	48	20,06	-0,67	22,82	1,41	6,10	-0,80	0,72	-0,84
12	2	19,59	-3,02	24,48	8,78	5,86	-4,70	0,69	-5,09
12	4	19,59	-3,03	23,42	4,06	5,87	-4,61	0,69	-5,03
12	8	19,55	-3,19	22,67	0,75	5,86	-4,69	0,69	-4,99
12	16	19,60	-2,97	22,78	1,24	5,88	-4,40	0,69	-4,49
12	32	19,93	-1,34	22,55	0,21	5,98	-2,86	0,70	-2,96
12	48	19,90	-1,48	22,85	1,54	5,98	-2,87	0,70	-2,96



Şekil 3.13 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

komşu yapının 3 katlı olduğu durumlara kıyasla daha az miktarlarda olmaktadır: 1 depremi etkisinde, 3 katlı yapının ivme değerleri yapıların arasındaki mesafenin 15 m'den daha az olduğu durumlarda artarken, mesafenin daha fazla olduğu durumlarda ise bu değerlerde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 2 depremi etkisinde, yapıların arasında 16 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,1 oranında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, yapı tepkileri incelenen tüm mesafelerde azalmaktadır: Yapıların arasındaki mesafe 8 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %3,9 oranında azalmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde ise, yapıların arasında 8 m olması durumunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %3,2 oranında azalmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte değişimlerin miktarları azalmaktadır.



Şekil 3.14 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Tablo 3.4 ve 3.5'ten görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapı bulunduğunda, 1 depremi etkisinde Fourier genliklerindeki en büyük değişim yapıların arasındaki mesafenin 32 m olması durumunda olurken, 2 depremi için ise yapıların arasında 2 m olması durumunda Şekil 3.14 (b)'den görüldüğü gibi olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 ya da 12 katlı diğer bir yapı bulunduğunda her iki deprem etkisi için de yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğu durumlarda Fourier genliğindeki en fazla değişimin meydana gelmektedir.

Tablo 3.4 ve 3.5 ile Şekil 3.13 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapı bulunduğunda, yapıların en büyük yerdeğiştirme değerleri zemin üzerinde tek bir yapı olması durumuna göre azalmaktadır: 1 depremi etkisinde, 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerindeki azalmanın miktarı yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda %6,3 olurken, aynı mesafe için 2 depremi etkisinde ise Şekil 3.14 (c)'den görüldüğü gibi %5,6 oranında olmaktadır. Bu durumlarda, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte yerdeğiştirme değerlerinde meydana gelen değişimlerin miktarları azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapı bulunduğunda, 1 depremi etkisinde yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri %1 civarında artarken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte bu değerlerde meydana gelen değişimlerin miktarları azalmaktadır. Aynı sistemlerin 2 depremi etkisinde incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafe 2 m iken 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri

%0,8 oranında artarken, mesafe 48 m olduğunda ise en büyük yerdeğiştirme değeri %0,8 oranında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğunda, 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri 1 depremi için %6 oranında azalırken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte bu değişimin miktarı yaklaşık yarı yarıya azalmaktadır. 2 depremi, 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerinin yapıların arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda %4,7'ye ulaşan miktarlarda azalırken ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte 1 depremi etkisinde görülen şekilde değişim miktarının yaklaşık yarı yarıya azalmaktadır.

Tablo 3.4 ve 3.5 ile Şekil 3.13 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapı bulunduğunda, yapıların birbirine yakın olduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri azalırken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı olduğu durumuna kıyasla önemli miktarlarda değişmemektedir: 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük zemin katının ötelenme oranı %6,2 azalırken, Şekil 3.14 (d)'den görüldüğü gibi 2 depremi etkisinde mesafenin 2 m olduğunda bu değerdeki azalma %5,9 oranında olmaktadır. 3 katlı yapıya yanında 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu, 1 depremi etkisinde 3 katlı yapının en büyük zemin katının ötelenme oranı değerleri yapıların arasında 2 m olduğunda %1,1 oranında artarken ve yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması durumunda ise %0,4 oranında azalmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda en büyük ötelenme oranı %0,8 artarken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte %0,8 civarında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu, 3 katlı yapının zemin katına ait ötelenme oranı değerleri tüm durumlarda azalmaktadır: Yapıların arasında 2 m olduğunda, 1 depremi etkisinde 3 katlı yapının ötelenme oranı %6,3 azalırken, 2 depremi etkisinde ise %5,1 oranında azalmaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 1 ve 2 depremleri etkisindeki 3 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖÖ) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.15'te ve bu durumlardan bazılarında 3 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.16'da verilmektedir.

Tablo 3.6 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	21,89	-	25,03	-	4,03	-	0,47	-
3	2	21,43	-2,10	23,44	-6,36	4,00	-0,77	0,47	-0,70
3	4	21,54	-1,57	23,72	-5,24	4,00	-0,70	0,47	-0,64
3	8	21,73	-0,71	24,10	-3,71	4,00	-0,60	0,47	-0,54
3	16	22,02	0,60	24,67	-1,41	4,01	-0,30	0,47	-0,25
3	32	22,25	1,64	25,21	0,72	4,04	0,34	0,47	0,34
3	48	22,08	0,87	25,11	0,33	4,07	1,06	0,47	0,71
6	2	21,90	0,03	25,36	1,32	4,07	1,02	0,47	-0,19
6	4	21,68	-0,96	24,94	-0,37	4,06	0,79	0,47	-0,23
6	8	21,52	-1,66	24,51	-2,08	4,05	0,53	0,47	-0,36
6	16	21,45	-2,02	23,89	-4,55	4,03	0,10	0,47	-0,57
6	32	21,49	-1,80	23,05	-7,90	4,02	-0,17	0,47	-0,54
6	48	21,48	-1,88	22,64	-9,54	4,03	0,10	0,47	-0,29
12	2	22,12	1,06	25,35	1,29	4,01	-0,51	0,47	-0,77
12	4	21,92	0,16	24,93	-0,39	4,00	-0,66	0,47	-0,85
12	8	21,75	-0,62	24,51	-2,09	3,99	-0,87	0,46	-1,02
12	16	21,63	-1,20	23,89	-4,54	3,99	-1,02	0,46	-1,26
12	32	21,62	-1,24	23,04	-7,94	4,00	-0,59	0,46	-1,13
12	48	21,59	-1,34	22,64	-9,56	4,03	0,09	0,47	-0,56

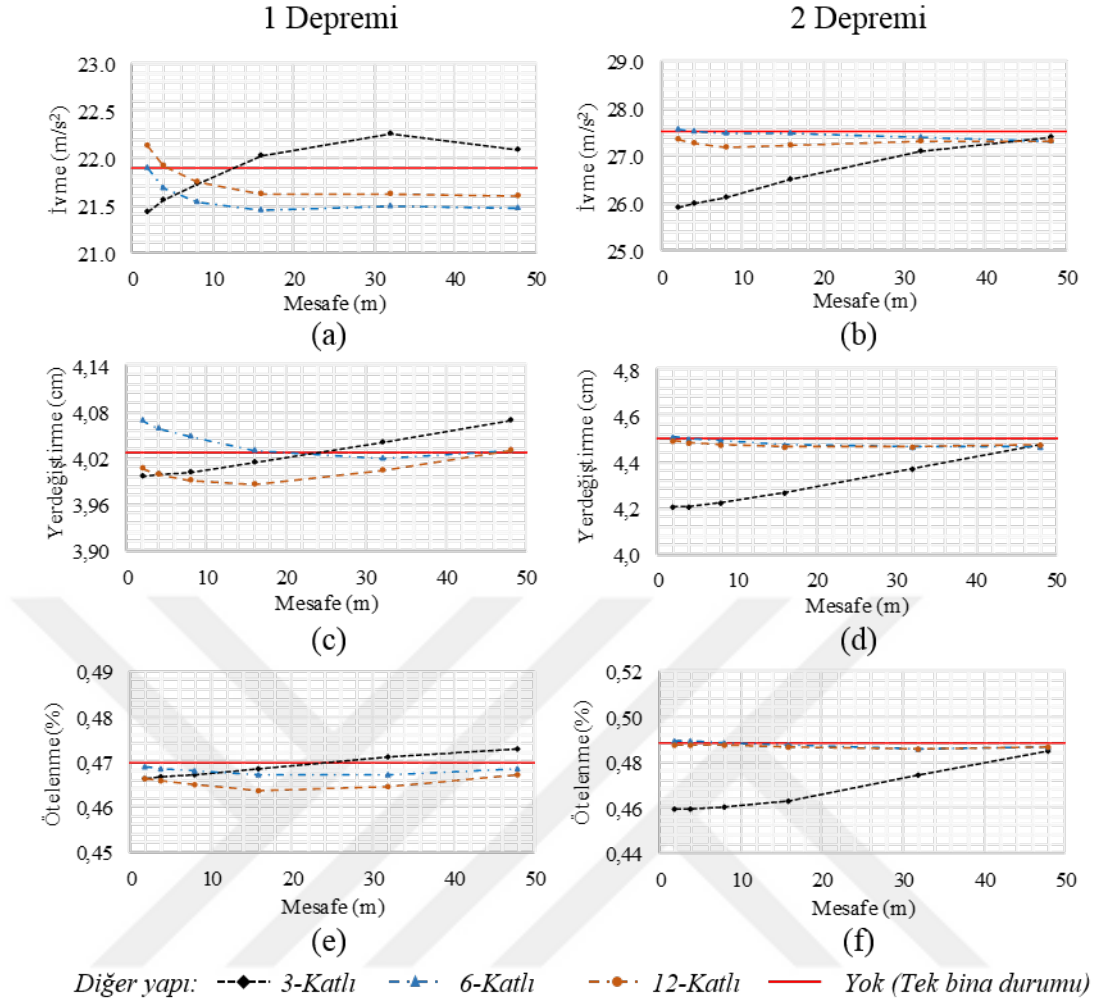
Tablo 3.7 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	27,52	-	34,19	-	4,50	-	0,49	-
3	2	25,91	-5,85	31,81	-6,97	4,20	-6,54	0,46	-5,98
3	4	25,97	-5,60	32,17	-5,91	4,21	-6,38	0,46	-5,94
3	8	26,12	-5,06	32,67	-4,44	4,23	-6,01	0,46	-5,80
3	16	26,49	-3,72	33,45	-2,15	4,27	-5,05	0,46	-5,18
3	32	27,08	-1,59	34,26	0,20	4,37	-2,70	0,47	-3,00
3	48	27,40	-0,41	34,24	0,15	4,47	-0,54	0,49	-0,68
6	2	27,54	0,10	34,62	1,25	4,51	0,21	0,49	0,18
6	4	27,53	0,03	34,08	-0,32	4,50	0,10	0,49	0,13
6	8	27,49	-0,09	33,53	-1,92	4,49	-0,09	0,49	0,04
6	16	27,46	-0,20	32,74	-4,23	4,48	-0,42	0,49	-0,25
6	32	27,38	-0,48	31,66	-7,39	4,46	-0,75	0,49	-0,62
6	48	27,32	-0,71	31,14	-8,91	4,47	-0,63	0,49	-0,45
12	2	27,34	-0,64	34,61	1,22	4,49	-0,20	0,49	-0,18
12	4	27,24	-1,00	34,07	-0,35	4,48	-0,36	0,49	-0,19
12	8	27,17	-1,25	33,52	-1,95	4,47	-0,53	0,49	-0,28
12	16	27,22	-1,08	32,73	-4,26	4,47	-0,65	0,49	-0,44
12	32	27,31	-0,74	31,64	-7,46	4,47	-0,60	0,49	-0,50
12	48	27,29	-0,84	31,13	-8,94	4,48	-0,45	0,49	-0,31

Tablo 3.6 ve 3.7 ile Şekil 3.15 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı özellikte diğer bir yapının bulunduğu, en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye ve depreme bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, 3 katlı yapının en büyük ivme değerinin yapıların arasındaki mesafenin 12 m'den az olduğu durumlarda azalırken, daha fazla mesafeler için ise artmaktadır: Şekil 3.16 (a)'dan görüldüğü gibi, yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %2,1 oranında azalmaktadır. Ancak, yapıların arasındaki mesafenin 32 m olması durumunda ise 3 katlı yapının en büyük ivme değerindeki artışın miktarı %1,6'dan fazla olmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde, yapıların arasında 2 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri yaklaşık %6 oranında azalmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ivme değerlerinde görülen değişimlerin etkisi azalmaktadır. 3 katlı yapının yanındaki yapının 6 katlı olduğu durumlarda, 1 depremi etkisinde yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafenin 16 m'ye kadar olduğu durumlarda az miktarlarda değişirken, yapıların arasındaki mesafenin daha fazla olduğu durumlarda ise en büyük ivme değerleri %2 oranı civarında azalmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde, 3 katlı yapının en büyük ivme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapı bulunduğu, 1 depremi etkisinde yapıların arasında 2 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,1 civarında artarken, yapıların arasındaki mesafenin 16 m ve daha fazla olduğu durumlarda ise yapı tepkilerindeki değişim hemen hemen sabit kalmış olmaktadır ve bu durumlardaki ivme değerleri yaklaşık olarak %1,2 oranında azalmaktadır. 2 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafenin 8 m olduğunda en fazla değişim meydana gelmektedir ve bu değişimin miktarı %1,3'tür.

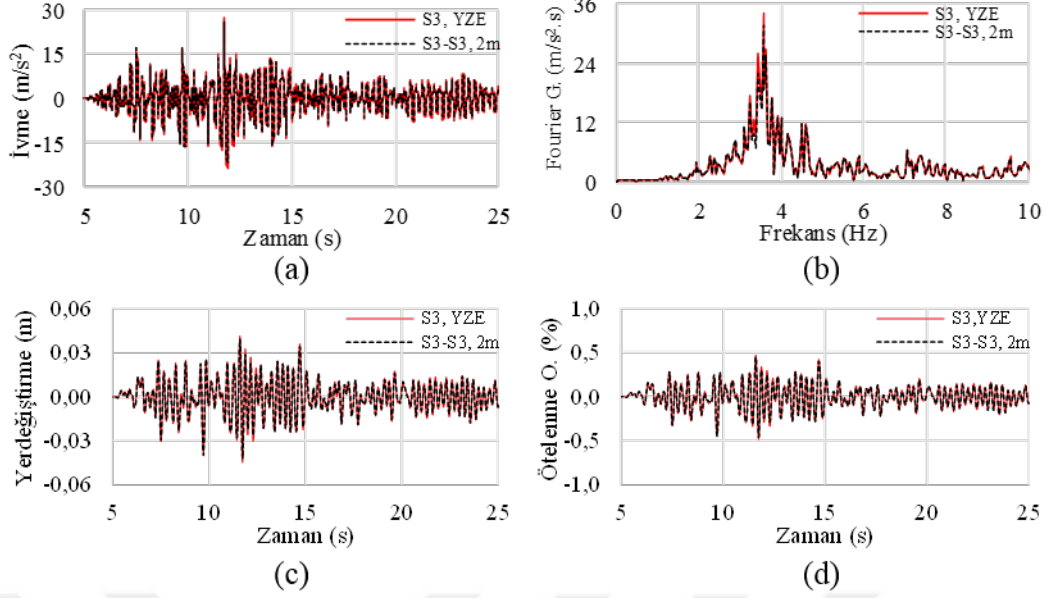
Tablo 3.6 ve 3.7'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapının bulunduğu durumlarda, Fourier genliklerindeki en fazla değişim, her iki deprem etkisi için de yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Şekil 3.16 (b)'de 2 depremi etkisinde aralarında yapıların arasında 2 m olması durumunda 3 katlı yapının Fourier genliklerinin frekansla değişimi verilmektedir. 3 katlı yapının yanındaki yapının 6 ve ya 12 katlı olduğu durumlarda, her iki deprem etkisinde de yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda Fourier genliklerinde en fazla değişim olmaktadır.

Tablo 3.6 ve 3.7 ile Şekil 3.15 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı kat sayısında olan diğer bir yapının bulunduğu en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafenin 25 m'den az olduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri azalırken, mesafenin daha fazla olduğu durumlarda ise bu değerler artmaktadır. Bu durumlar için, yapı tepkilerindeki



Şekil 3.15 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı zamanda diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeye değişimi

değişimler ile yapılar arasındaki mesafeler arasında neredeyse doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu durumlarda 1 depremi altında 3 katlı yapının en büyük yer değiştirme değerinde meydana gelen azalma yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda %0,8 civarındayken, mesafenin 48 m olması durumunda ise en büyük yer değiştirme değeri %1 oranında artmaktadır. Aynı durumlar 2 depremin etkisinde incelendiğinde, 3 katlı yapının tepkileri incelenen tüm durumlarda azalmaktadır: Şekil 3.16 (c)'den görüldüğü gibi bu azalma yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda %6,5 civarında olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu, 1 depremi etkisinde yapıların arasındaki mesafenin 16 m'den az olduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük yer değiştirme değerleri artarken, daha fazla mesafeler için ise önemli bir değişiklik olmamaktadır: 3 ve 6 katlı yapıların arasındaki 2 m olduğunda, 3 katlı yapının en büyük yer değiştirme



Şekil 3.16 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

değeri yaklaşık olarak %1 civarında artmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisi incelendiğinde ise, en büyük yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişim görülmemektedir. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı olduğu durumlarda, yapı tepkileri genel olarak azalmaktadır: 1 depremi etkisindeki sonuçları incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin 16 m olduğu durumda en büyük yerdeğiştirme değeri %1 oranında azalmaktadır. Aynı durumların 2 depremi etkisi altında incelendiğinde ise, en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasında 16 m olduğunda %0,7 oranında azalmaktadır.

Tablo 3.6 ve 3.7 ile Şekil 3.15 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı özellikte diğer bir yapının bulunduğu, 1 depremi etkisinde yapıların en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak olumlu ya olumsuz olarak değişmektedir: Yapıların arasındaki mesafe 24 m'den az olduğunda, yapıların zemin kat ötelenme oranı değerlerinin azalırken, daha fazla mesafelerde ise ötelenme oranı değerleri artmaktadır: Şekil 3.16 (d)'den görüldüğü gibi, yapıların arasında 2 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ötelenme oranı değeri %0,7 oranında azalmaktadır. Ancak, yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda ise %0,7 oranında artmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde ise, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda ötelenme oranı değerleri %6 oranında azalırken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte bu değerlerde görülen değişimlerin miktarları azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu,

1 depremi etkisinde en büyük ötelenme oranı değerleri genel olarak azalmaktadır ve en fazla azalma yapıların arasında 16 m olduğunda %0,6 oranında olmaktadır. Aynı durumların 2 depremi etkisinde incelendiğinde, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda ötelenme oranlarında önemli miktarlarda değişiklikler olmazken, yapıların arasındaki mesafenin 32 m olması durumunda 3 katlı yapının en büyük zemin kat ötelenme oranı değeri %0,6 oranında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlar her iki depremi etkisinde incelendiğinde, yapıların en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri genel olarak azalmaktadır: 1 depremi etkisinde, bu azalmanın miktarı yapıların arasındaki mesafenin 16 m olduğu durumda %1,3 oranında olurken, 2 depremi etkisinde mesafe 32 m olduğunda %0,5 oranında olmaktadır.

3.2.1.2 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdellemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdellemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 ve 2 depremleri etkisindeki 6 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.17'de ve bu durumlardan bazılarında 6 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.18'de verilmektedir.

Tablo 3.8 ve 3.9 ile Şekil 3.17 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye ve deprem etkisine bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafe değerinin 30 m'den az olduğu durumlarda yapı tepkileri azalırken, daha fazla mesafelerde ise ivme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır. Bu durumlardaki en fazla değişim, yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda meydana gelmektedir ve bu durumdaki azalmanın miktarı %2,1 civarındadır. Aynı durumların 2 depremi etkisindeki sonuçları incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin 8 m'den az olduğu durumlarda yapı tepkileri azalırken, daha fazla mesafelerde ise artmaktadır: 3 katlı yapının en büyük ivme değerindeki en fazla azalma yapıların arasında 2 m olduğunda meydana gelmekte olup bu durumdaki değişim %2,4 oranındadır, en çok artış ise yapıların arasında 32 m olduğunda olmaktadır ve bu durumda ivme değerindeki değişimin

Tablo 3.8 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	17,88	-	34,92	-	11,71	-	0,72	-
3	2	17,68	-1,14	36,46	4,42	12,12	3,44	0,73	1,22
3	4	17,54	-1,93	35,61	1,99	11,96	2,07	0,72	0,39
3	8	17,46	-2,34	34,73	-0,54	11,79	0,64	0,72	-0,42
3	16	17,44	-2,46	34,03	-2,56	11,66	-0,49	0,71	-1,26
3	32	17,81	-0,39	34,19	-2,08	11,68	-0,32	0,71	-1,45
3	48	17,91	0,17	34,44	-1,38	11,73	0,11	0,71	-1,47
6	2	17,51	-2,09	34,04	-2,53	11,72	0,10	0,72	0,60
6	4	17,53	-1,95	34,19	-2,08	11,74	0,23	0,72	0,73
6	8	17,59	-1,62	34,43	-1,41	11,77	0,46	0,73	0,94
6	16	17,74	-0,77	34,75	-0,50	11,81	0,83	0,73	1,07
6	32	17,92	0,18	35,08	0,46	11,84	1,12	0,73	1,05
6	48	17,93	0,29	35,08	0,47	11,81	0,80	0,72	0,80
12	2	18,00	0,68	35,88	2,75	12,22	4,33	0,72	-0,38
12	4	17,60	-1,59	34,79	-0,38	11,97	2,21	0,70	-2,51
12	8	17,25	-3,52	33,72	-3,45	11,74	0,21	0,69	-4,36
12	16	17,04	-4,73	32,98	-5,55	11,59	-1,04	0,68	-5,29
12	32	17,48	-2,28	33,40	-4,34	11,62	-0,75	0,68	-4,93
12	48	17,62	-1,48	33,72	-3,45	11,63	-0,72	0,68	-5,20

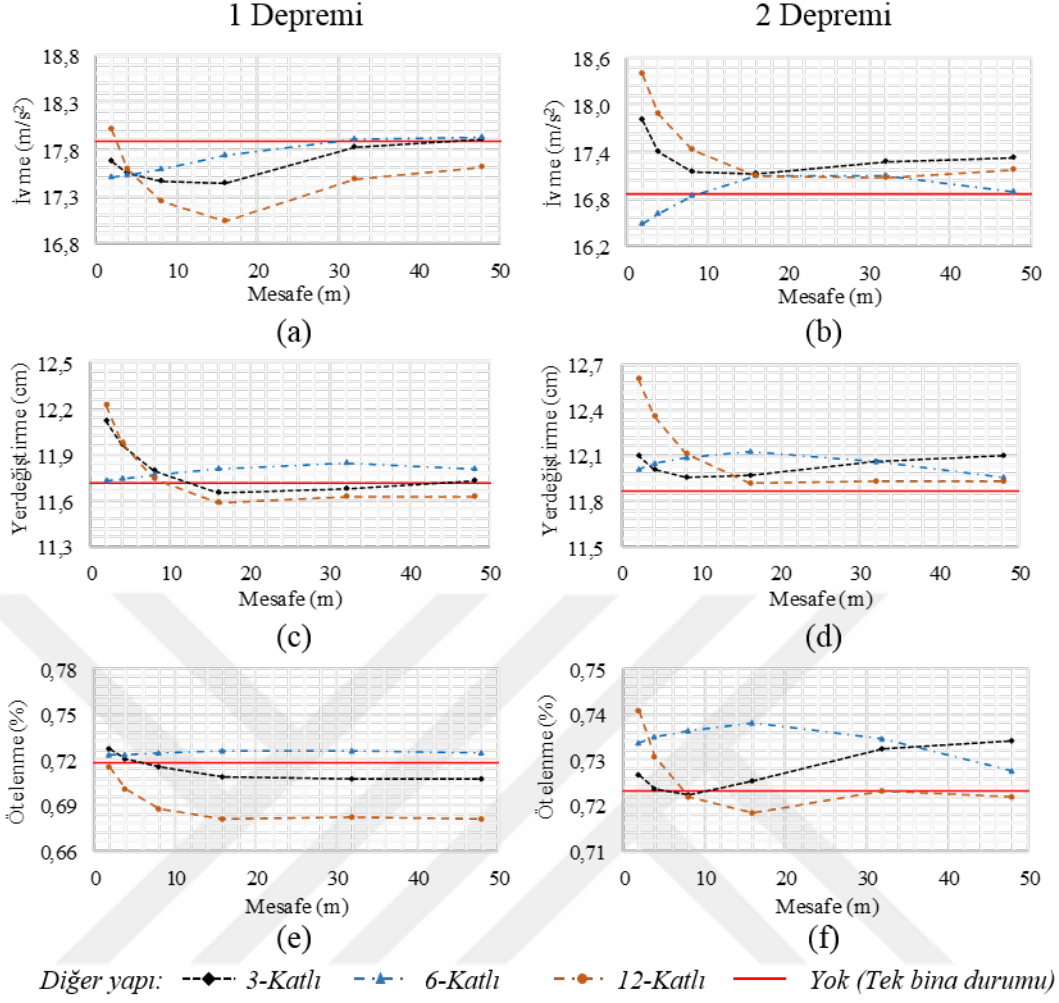
Tablo 3.9 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	16,88	-	39,93	-	11,87	-	0,72	-
3	2	17,80	5,50	43,07	7,87	12,11	1,99	0,73	0,45
3	4	17,41	3,15	42,22	5,74	12,01	1,19	0,72	0,04
3	8	17,14	1,58	41,38	3,64	11,96	0,76	0,72	-0,14
3	16	17,11	1,40	40,80	2,18	11,97	0,84	0,73	0,28
3	32	17,27	2,31	41,10	2,95	12,06	1,63	0,73	1,25
3	48	17,32	2,64	41,30	3,44	12,10	1,94	0,73	1,49
6	2	16,48	-2,37	38,42	-3,76	12,01	1,22	0,73	1,45
6	4	16,62	-1,52	38,65	-3,19	12,05	1,51	0,73	1,60
6	8	16,85	-0,18	39,00	-2,33	12,09	1,88	0,74	1,81
6	16	17,08	1,23	39,43	-1,24	12,12	2,12	0,74	2,04
6	32	17,09	1,29	39,79	-0,33	12,06	1,63	0,73	1,54
6	48	16,90	0,14	39,79	-0,34	11,96	0,74	0,73	0,61
12	2	18,39	8,99	43,34	8,56	12,61	6,24	0,74	2,40
12	4	17,88	5,96	42,27	5,88	12,36	4,17	0,73	1,00
12	8	17,42	3,24	41,21	3,22	12,12	2,08	0,72	-0,22
12	16	17,08	1,23	40,52	1,49	11,92	0,44	0,72	-0,69
12	32	17,08	1,22	41,03	2,75	11,94	0,56	0,72	-0,02
12	48	17,18	1,79	41,29	3,42	11,94	0,56	0,72	-0,22

miktarı %1,3'tür. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu, 1 depremi etkisinde 3 katlı yapının tepkilerinin genel olarak azalmaktadır ve en fazla azalma yapıların arasında 16 m olduğunda meydana gelmiş olup değeri %2,5'tir. Aynı sistemler 2 depremi etkisinde incelendiğinde ise, 6 katlı yapının tepkileri tüm inceleme mesafelerinde artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda %5,5 oranında olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının olduğu durumlarda ise, 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye ve depreme önemli oranda bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, 6 katlı yapının en büyük ivme değeri yapıların arasında 2 m olduğu durum hariç olmak üzere tüm durumlarda azalmaktadır, bu durumlardaki en büyük azalma yapıların arasında 16 m olduğunda meydana gelmektedir ve bu azalmanın miktarı %4,7'dir. Aynı sistemler 2 depremi etkisinde olduğunda 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri artmaktadır ve artış miktarlarının yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte azalmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğu durumda olmaktadır ve Şekil 3.18 (a)'dan görüldüğü gibi bu durumda 6 katlı yapının en büyük ivme değeri %9 oranında artmaktadır.

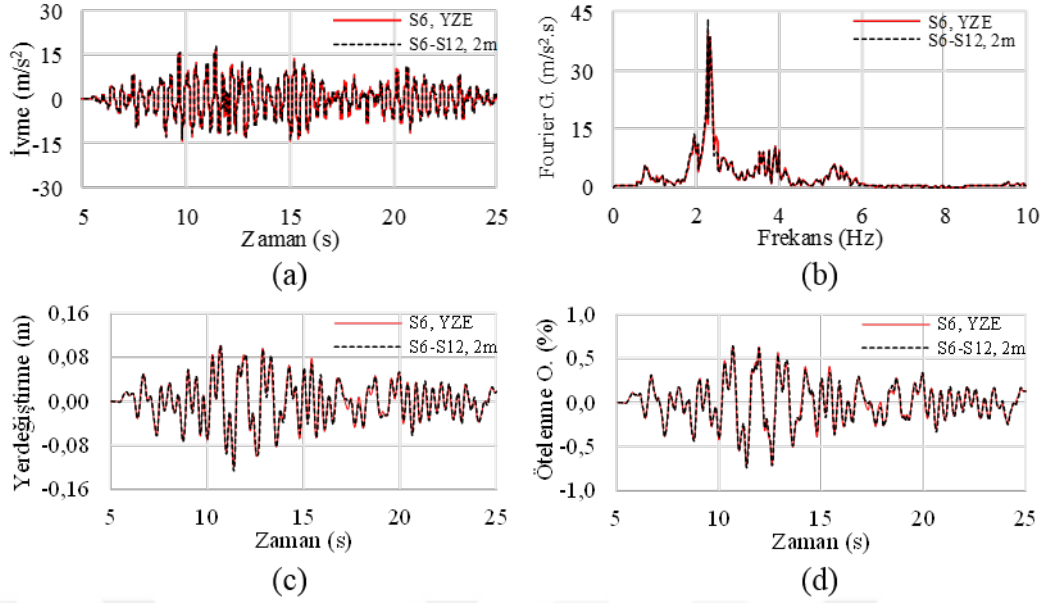
Tablo 3.8 ve 3.9'dan görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında diğer bir yapı bulunduğu, Fourier genliklerindeki en fazla değişim her iki deprem için de yapıların arasında 2 m olduğunda meydana gelmektedir. Benzer şekilde, 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda da yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması halinde Fourier genliklerindeki en fazla değişim meydana gelmektedir. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlar 1 depremi etkisinde incelendiğinde, Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 16 m olduğunda görülürken, 2 depremi etkisinde ise, en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda Şekil 3.18 (b)'de görüldüğü gibi meydana gelmektedir.

Tablo 3.8 ve 3.9 ile Şekil 3.17 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 6 katlı yapının yerdeğiştirme değerlerinin arttığı görülmektedir: 1 depremi etkisinde 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerinde oluşan en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 32 m olduğu durumda olmaktadır ve bu değişimin miktarı %1,1'den fazla olmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde ise, en fazla değişimin yapıların arasındaki mesafenin 16 m olduğu durumda %2,1 oranında olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bulunduğu durumlarda, 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafe 12 m'den daha az olduğunda 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri artarken, daha fazla mesafeler için



Şekil 3.17 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

ise azalmaktadır: Yapıların arasında 2 m olduğunda 6 katlı yapının yerdeğiştirmesi %3,4 civarında artarken, mesafenin 16 m olması durumunda ise %0,5 oranında azalmaktadır. Ayrı durumlar 2 depremi etkisi altında olduğunda ise, 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafenin 2 m ve 48 m olması durumlarda %2'ye varan miktarlarda artmaktadır. Bu iki mesafe arasındaki diğer durumlarda ise, yerdeğiştirme değerleri yaklaşık olarak %1,1 civarında artmaktadır. 6 katlı yapının yanındaki yapı 12 katlı olduğunda, 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinin yapıların arasındaki mesafe ile olan değişimi komşu yapının 3 katlı olduğu duruma benzer biçimde olmaktadır: 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri %4,5 civarında artmaktadır. Ancak, yapıların arasındaki mesafe 10 m'den fazla olduğunda 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri %1'e varan miktarlarda azalmaktadır. Aynı



Şekil 3.18 Tip 1 zemininde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizadaki diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

durumların 2 depremi etkisi sonuçları incelendiğinde ise, Şekil 3.18 (c)'den de görüldüğü gibi 6 katlı yapının en büyük yer değiştirme değeri %6,2 oranında artarken, yapıların arasındaki mesafenin 16 m'den çok olduğu durumlarda değişimlerin miktarı %1'den az olmaktadır.

Tablo 3.8 ve 3.9 ile Şekil 3.17 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının olduğunda, 6 katlı yapının zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı olması durumuna göre olan değişimleri uygulanan depreme ve yapıların arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır: 1 depremi etkisinde, 6 katlı yapının tepkisi tüm inceleme aralıkları için yaklaşık olarak sabit olup %1 civarında artmaktadır. 2 depremi etkisinde ise mesafe 16 m olduğunda %2, diğer mesafelerde ise %0,6 ile %1,8 arasında artmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı olması durumları 1 depremi etkisinde analiz edildiğinde, 6 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değeri yapıların arasındaki mesafelerin az olduğu durumlarda %1,2'ye ulaşan miktarlarda artarken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme değerlerindeki azalma %1,5'e ulaşmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde, yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğu durumlarda 6 katlı yapının ötelenme değeri sırasıyla %0,5 ve %1,5 oranlarında artarken, mesafe 8 m olduğunda ise ötelenme oranı miktarındaki değişim önemsiz mertebelerde olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapı olduğunda, 1 depremi etkisinde yapıların arasındaki mesafenin 2 m

olması durumunda 6 katlı yapının ötelenme değerinde dikkate değer bir değişim meydana gelmezken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme oranları %5,3'e ulaşan miktarlarda azalmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde, 6 katlı yapının en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değiştiği görülmektedir: Şekil 3.18 (d)'den görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük ötelenme oranı değeri %2,4 oranında artmaktadır. Ancak, yapıların arasındaki mesafe 16 m olduğunda ise, ötelenme oranı değerleri %0,7 oranında azalmaktadır ve daha fazla mesafeler için ise önemli miktarlarda değişiklik olmamaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 1 ve 2 depremleri etkisindeki 6 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.10 ve Tablo 3.11'de, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.19'da ve bu durumlardan bazılarında 6 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.20'de verilmektedir.

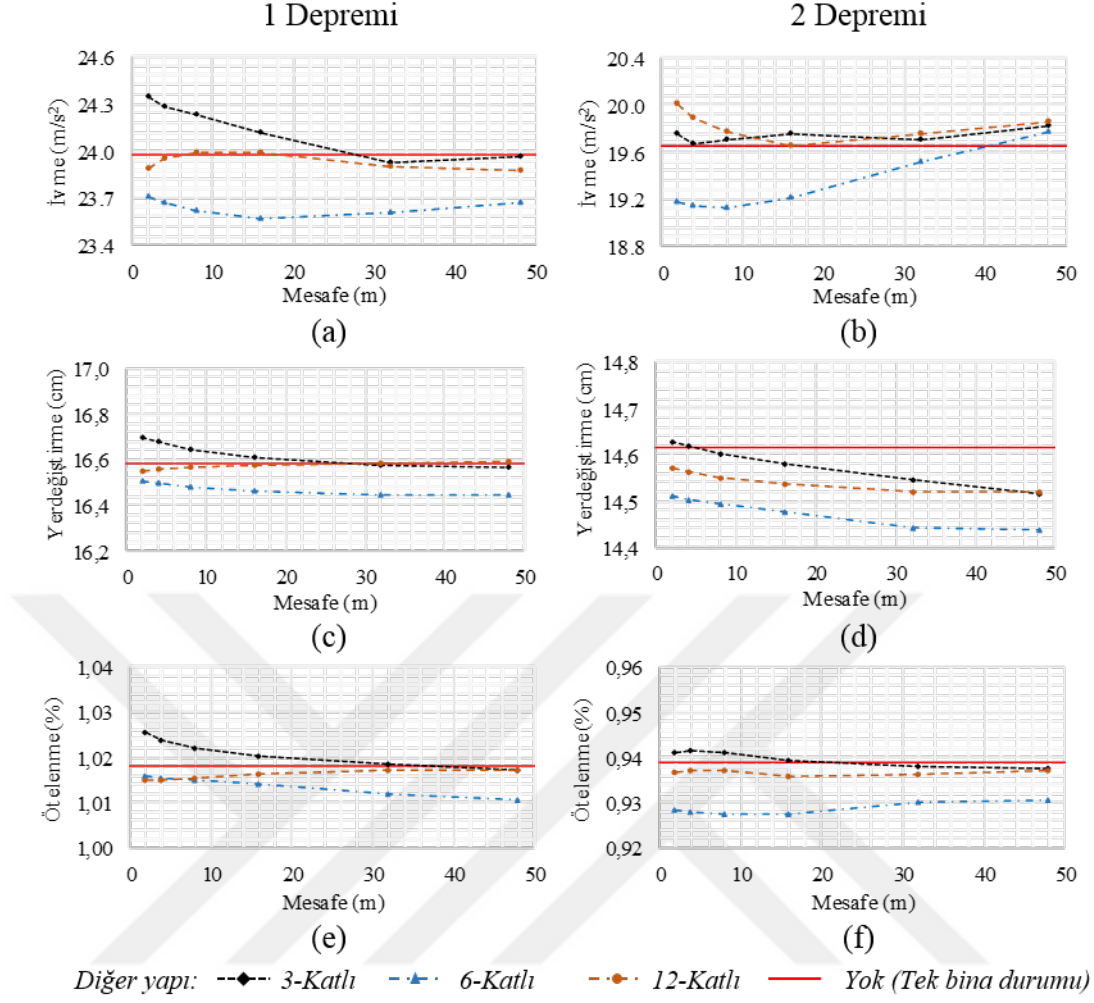
Tablo 3.10 ve 3.11 ile Şekil 3.19 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında olan diğer bir yapının bulunduğu, 1 depremi etkisinde yapıların arasında 2 m bulunduğu yapıların en büyük ivme değerleri %1,1 civarında azalırken, mesafenin 16 m olması durumunda ise %1,7 civarında artmaktadır. Aynı sistemlerin 2 depremi etkisindeki sonuçları incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin 40 m'den az olduğu durumlarda 6 katlı yapının tepkilerinin azaldığı, daha fazla mesafelerde ise arttığı görülmektedir: Bu durumlarda içerisinde yapı tepkisinde oluşan en fazla değişim yapıların arasındaki mesafe 8 m olduğunda %2,7 oranında meydana gelmektedir, bu durumda 6 katlı yapının ivme değerleri ile zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarına ait ivme değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.20 (a)'da verilmektedir. 6 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapı bulunduğu, 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafe 25 m'den az olduğunda 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri artarken, daha fazla mesafeler için ise ivme değerlerinin az miktarlarda da olsa azalmaktadır: 6 katlı yapının en büyük ivme değerinde meydana gelen en fazla değişim yapıların arasında 2 m olduğunda %1,5 oranında olmaktadır. 2 depremi etkisinde, 6 katlı yapının en büyük ivme değerlerindeki değişim yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Bu durumlarda görülen en fazla

Tablo 3.10 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	23,97	-	26,83	-	16,58	-	1,02	-
3	2	24,34	1,52	27,16	1,24	16,70	0,72	1,03	0,76
3	4	24,29	1,30	27,06	0,85	16,68	0,58	1,02	0,58
3	8	24,23	1,07	26,97	0,51	16,65	0,40	1,02	0,39
3	16	24,11	0,58	26,88	0,19	16,61	0,18	1,02	0,21
3	32	23,93	-0,20	26,81	-0,06	16,58	-0,01	1,02	0,03
3	48	23,96	-0,04	26,79	-0,15	16,57	-0,07	1,02	-0,10
6	2	23,71	-1,11	25,74	-4,05	16,50	-0,46	1,02	-0,20
6	4	23,68	-1,25	25,82	-3,75	16,49	-0,52	1,02	-0,24
6	8	23,62	-1,47	25,95	-3,29	16,48	-0,60	1,01	-0,30
6	16	23,57	-1,70	26,12	-2,64	16,46	-0,71	1,01	-0,39
6	32	23,60	-1,56	26,33	-1,87	16,45	-0,79	1,01	-0,58
6	48	23,68	-1,24	26,49	-1,27	16,44	-0,81	1,01	-0,71
12	2	23,89	-0,35	27,06	0,85	16,55	-0,17	1,02	-0,29
12	4	23,95	-0,11	26,98	0,56	16,56	-0,12	1,02	-0,29
12	8	23,99	0,05	26,92	0,32	16,57	-0,07	1,02	-0,26
12	16	23,98	0,04	26,87	0,14	16,57	-0,03	1,02	-0,17
12	32	23,91	-0,29	26,84	0,03	16,58	0,03	1,02	-0,07
12	48	23,88	-0,40	26,83	0,02	16,59	0,08	1,02	-0,09

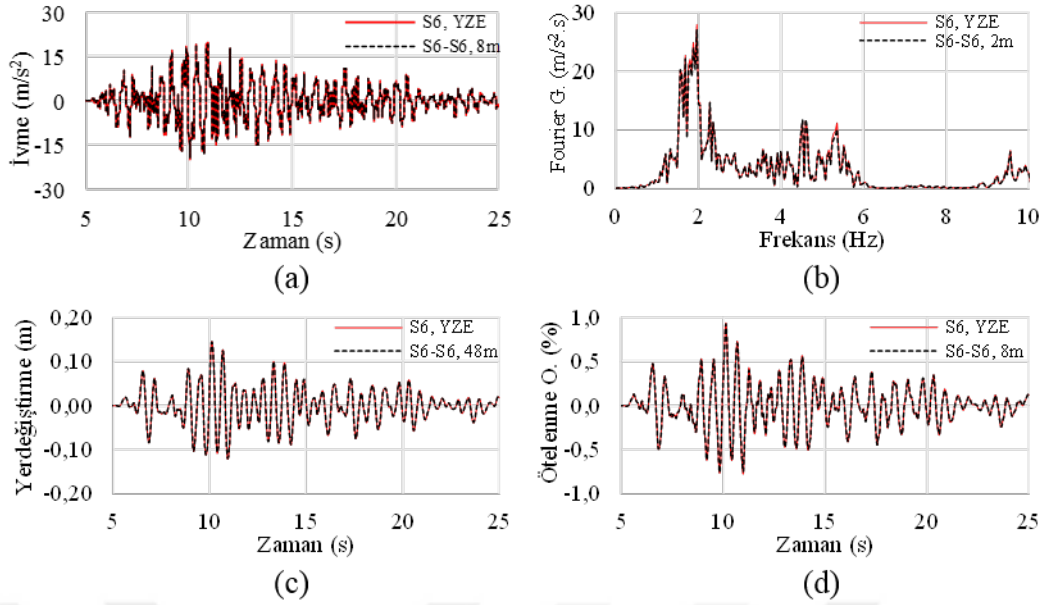
Tablo 3.11 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	19,65	-	27,95	-	14,61	-	0,94	-
3	2	19,75	0,49	28,58	2,23	14,63	0,10	0,94	0,23
3	4	19,67	0,10	28,45	1,76	14,62	0,02	0,94	0,26
3	8	19,70	0,25	28,33	1,33	14,60	-0,09	0,94	0,20
3	16	19,76	0,54	28,21	0,91	14,58	-0,22	0,94	0,02
3	32	19,71	0,27	28,10	0,53	14,54	-0,48	0,94	-0,10
3	48	19,82	0,86	28,06	0,38	14,51	-0,69	0,94	-0,14
6	2	19,17	-2,44	27,05	-3,23	14,51	-0,72	0,93	-1,12
6	4	19,15	-2,56	27,13	-2,96	14,50	-0,75	0,93	-1,16
6	8	19,12	-2,71	27,25	-2,53	14,49	-0,82	0,93	-1,22
6	16	19,21	-2,27	27,43	-1,89	14,48	-0,95	0,93	-1,22
6	32	19,52	-0,68	27,66	-1,06	14,44	-1,17	0,93	-0,97
6	48	19,77	0,58	27,82	-0,47	14,44	-1,22	0,93	-0,89
12	2	20,02	1,85	28,45	1,78	14,57	-0,28	0,94	-0,26
12	4	19,89	1,23	28,34	1,39	14,56	-0,36	0,94	-0,19
12	8	19,76	0,57	28,25	1,04	14,55	-0,45	0,94	-0,20
12	16	19,65	-0,02	28,15	0,71	14,54	-0,54	0,94	-0,33
12	32	19,75	0,50	28,08	0,44	14,52	-0,65	0,94	-0,30
12	48	19,85	1,00	28,05	0,33	14,52	-0,64	0,94	-0,22



Şekil 3.19 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeye değişimi

değişim yapıların arasında 48 m bulunduğunda meydana gelmekte olup, bu değişimin miktarı %0,9'dur. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumda, 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, 6 katlı yapının en büyük ivme değerindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması halinde %0,4 oranında olurken diğer mesafelerde ise daha az miktarlarda olmaktadır. Görülen bu değişimlerin farklı mesafelerde yapıya etkileyen deprem kuvvetini olumlu ya da olumsuz olarak etkilemektedir. Aynı durumların 2 depremi etkisindeki sonuçlarına bakıldığında ise, 6 katlı yapının davranışındaki değişimler yapıların arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır: Yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğu en büyük yapı ivmesi değerleri %1,9 ve %1 oranlarında artarken, yapıların arasında 16 m bulunduğu ise ivme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır.



Şekil 3.20 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Tablo 3.10 ve 3.11'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, her iki deprem için de Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğu durumlarda görülmektedir. Şekil 3.20 (b)'de yan yana bulunan 6 katlı yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğunda ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında yapıların ivme değerlerine ait Fourier genlikleri verilmektedir. Benzer şekilde, 6 katlı yapının yanında 3 ya da 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, her iki deprem etkisi altında da yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması halinde Fourier genliklerindeki en büyük değişim elde edilmektedir.

Tablo 3.10 ve 3.11 ile Şekil 3.19 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı yapı olduğunda, yapıların en büyük yer değiştirme değerleri her iki deprem etkisi için de azalmaktadır: 1 depremi etkisinde, bu azalmalar tüm mesafelerde neredeyse sabit olup değeri yaklaşık %0,8 olurken, aynı durumlar 2 depremi etkisinde ise yapı yer değiştirmelerinde meydana gelen azalmaların miktarları yapıların arasındaki mesafeyle birlikte artmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin 32 m'den fazla olduğu durumlarda ise neredeyse sabit kalmaktadır: Bu durumlarda en büyük yer değiştirme değerinde meydana gelen en fazla değişim Şekil 3.20 (c)'den görüldüğü gibi olmaktadır ve bu değişimin miktarı yaklaşık olarak %1,2'dir. 6 katlı bir yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda, 1 depremi etkisinde, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda yapı yer değiştirme değerleri

%0,7'a varan miktarlarda artmaktadır, ancak bu etki yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte azalmaktadır. 2 depremi etkisinde, yapıların birbirine yakın olduğu durumlarda önemli bir değişiklik olmazken, yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması durumunda ise yaklaşık %0,7 civarında azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu, 1 depremi etkisinde 6 katlı yapının yerdeğiştirme değerleri az miktarlarda değişmektedir. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde ise, 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinin azalmaktadır. Bu azalmanın yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte artarken, en büyük artış yapıların arasında 32 m olduğunda %0,7 oranına olmaktadır.

Tablo 3.10 ve 3.11 ile Şekil 3.19 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı yapı bulunduğu, her iki deprem etkisi için de yapıların zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerleri azalmaktadır: 1 depremi etkisinde bu değerlerdeki değişimler yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte artarak yaklaşık %0,7 civarına kadar ulaşmaktadır. 2 depremi etkisinde ise, yapı tepkilerindeki en fazla değişimler yapıların arasındaki mesafe 8 m ve 16 m olduğunda meydana gelmektedir ve bu durumlardaki değişimler miktarları %1,2'dir. Şekil 3.20 (d)'de 6 katlı yapıların arasında 8 m olduğunda ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında yapıların ötelenme oranı değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. 6 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapının bulunduğu, yapıların birbirlerine yakın olduğunda 6 katlı yapının zemin katına ait ötelenme oranı değerleri artarken, yapıların birbirinden uzaklaştıkça bu değerler azalmaktadır: 1 depremi etkisinde, yapıların arasında 2 m olduğu durumda 6 katlı yapının en büyük ötelenme değeri %0,8 civarında artarken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır. 2 depremi etkisinde, 6 katlı yapının zemin kat ötelenme değerleri kısa mesafelerde artarken, uzun mesafelerde ise azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğu, her iki deprem etkisi altında da ötelenme değerleri %0,3'a ulaşan miktarlarda azalmaktadır.

3.2.1.3 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdellemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdellemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 ve 2 depremleri etkisindeki 12 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.12 Tablo 3.13'te, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.21'de

Tablo 3.12 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	59,17	-	211,13	-	175,61	-	4,97	-
3	2	59,52	0,59	211,02	-0,05	174,95	-0,37	5,00	0,57
3	4	59,40	0,40	211,19	0,03	175,27	-0,19	5,00	0,60
3	8	59,25	0,14	211,18	0,02	175,34	-0,15	4,99	0,46
3	16	59,01	-0,26	211,03	-0,05	175,27	-0,19	4,98	0,20
3	32	58,98	-0,32	210,81	-0,15	175,27	-0,19	4,98	0,16
3	48	58,96	-0,35	210,68	-0,21	175,28	-0,19	4,98	0,23
6	2	59,25	0,14	211,96	0,39	176,03	0,24	5,00	0,68
6	4	59,56	0,66	211,91	0,37	176,20	0,34	5,00	0,64
6	8	59,87	1,19	211,65	0,24	176,10	0,28	4,99	0,48
6	16	60,01	1,42	211,20	0,03	175,78	0,10	4,98	0,28
6	32	59,80	1,06	210,66	-0,22	175,42	-0,11	4,98	0,26
6	48	59,61	0,74	210,38	-0,36	175,28	-0,18	4,98	0,30
12	2	55,09	-6,88	204,91	-2,95	166,82	-5,00	4,67	-6,04
12	4	55,25	-6,63	204,10	-3,33	166,38	-5,25	4,67	-6,08
12	8	55,51	-6,17	202,81	-3,94	165,65	-5,67	4,66	-6,18
12	16	56,03	-5,29	201,03	-4,78	164,69	-6,22	4,66	-6,18
12	32	56,83	-3,96	199,08	-5,71	163,46	-6,92	4,68	-5,79
12	48	57,02	-3,63	198,05	-6,20	162,87	-7,25	4,68	-5,93

Tablo 3.13 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

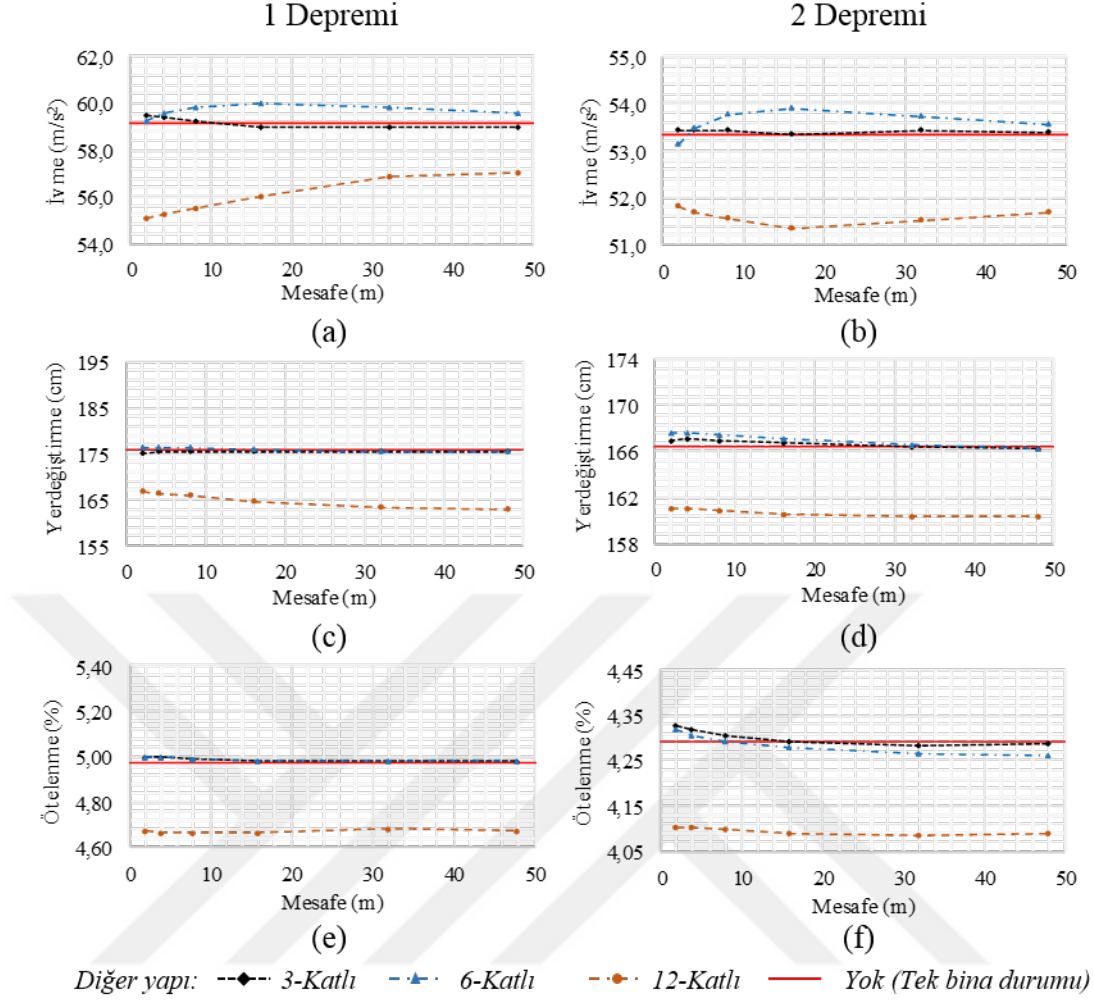
Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	53,33	-	142,64	-	166,38	-	4,29	-
3	2	53,42	0,17	142,41	-0,16	167,00	0,37	4,33	0,80
3	4	53,44	0,20	142,52	-0,08	167,03	0,40	4,32	0,57
3	8	53,43	0,17	142,52	-0,08	166,98	0,36	4,30	0,27
3	16	53,34	0,02	142,42	-0,15	166,79	0,25	4,29	0,01
3	32	53,43	0,18	142,26	-0,26	166,45	0,04	4,28	-0,18
3	48	53,37	0,06	142,17	-0,33	166,28	-0,06	4,29	-0,16
6	2	53,12	-0,40	142,87	0,17	167,68	0,79	4,32	0,57
6	4	53,46	0,24	142,84	0,14	167,65	0,77	4,31	0,31
6	8	53,75	0,79	142,68	0,03	167,53	0,69	4,29	-0,01
6	16	53,87	1,02	142,39	-0,17	167,20	0,50	4,28	-0,35
6	32	53,71	0,71	142,03	-0,43	166,55	0,11	4,26	-0,65
6	48	53,55	0,40	141,84	-0,56	166,16	-0,13	4,26	-0,73
12	2	51,82	-2,83	127,29	-10,76	161,13	-3,16	4,10	-4,37
12	4	51,70	-3,06	127,24	-10,79	161,02	-3,22	4,10	-4,45
12	8	51,56	-3,32	127,13	-10,87	160,85	-3,32	4,10	-4,55
12	16	51,34	-3,73	126,92	-11,02	160,61	-3,46	4,09	-4,69
12	32	51,49	-3,45	126,64	-11,21	160,44	-3,57	4,09	-4,82
12	48	51,69	-3,08	126,49	-11,32	160,38	-3,61	4,09	-4,68

ve bu durumlardan bazılarında 12 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.22'de verilmektedir.

Tablo 3.12 ve 3.13 ile Şekil 3.21 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı bulunduğu durumlarda, 12 katlı yapıların en büyük ivme değerleri her iki deprem etkisi altında da azalmaktadır: 1 depremi etkisinde, yapı tepkilerindeki en fazla değişim yapıların arasında 2 m olduğunda meydana gelmektedir ve bu azalmanın miktarı yaklaşık olarak %6,9'dur. Yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte yapıların arasındaki etkileşim ve yapı tepkilerinde görülen değişimler azalmaktadır. Aynı sistemler 2 depremi etkisinde olduğunda, 12 katlı yapının en büyük ivme değerindeki en fazla azalma yapıların arasında 16 m olması durumunda meydana gelmektedir ve bu durumdaki değişim miktarının yaklaşık olarak %3,7'dir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğunda, 12 katlı yapının en büyük ivme değeri her iki deprem için de önemsiz miktarlarda değişmektedir: Bu durumlardaki en fazla değişim 1 depremi etkisinde yapıların arasında 2 m olduğunda %0,6 oranında olmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğunda, 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri her iki deprem etkisi altında incelenen çoğu durum için artmaktadır ve en fazla artış yapıların arasında 16 m olması durumunda meydana gelmektedir: 1 depremi etkisinde 12 katlı yapının ivme değeri %1,4 artarken, Şekil 3.22 (a)'dan görüldüğü gibi 2 depremi etkisinde ise bu artışın değeri %1'den fazla olmaktadır.

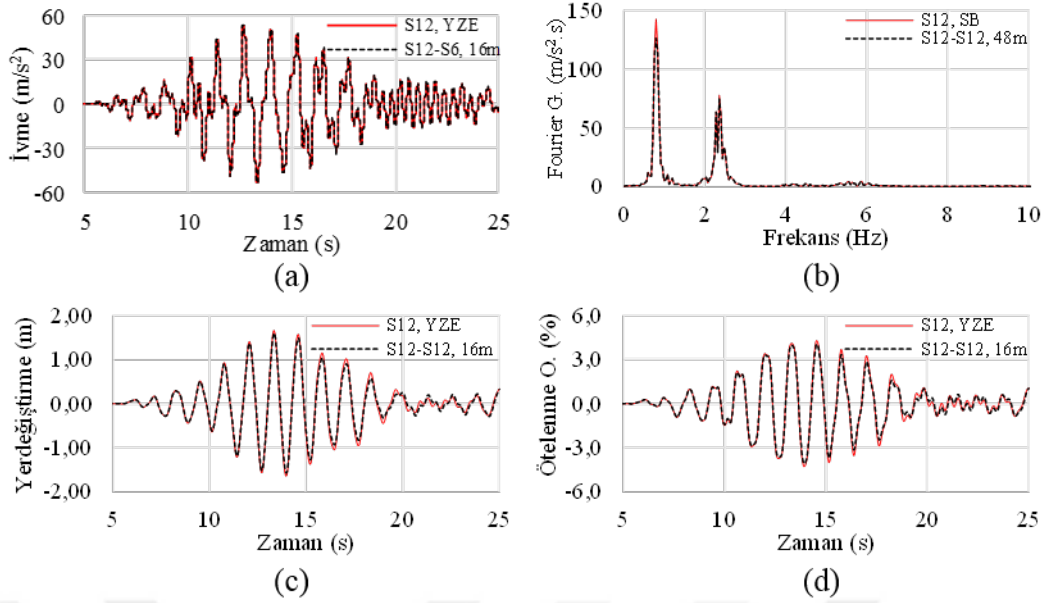
Tablo 3.12 ve 3.13'ten görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı bulunduğu durumlarda her iki deprem etkisi Fourier genliklerindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m bulunduğu durumlarda olmaktadır. Şekil 3.22 (b)'de 12 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının arasında 48 m bulunması durumu ile zemin üzerinde sadece 12 katlı yapının bulunduğu durumlara ait Fourier genlikleri verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı ya da 6 katlı bir yapı bulunduğunda ise, her iki deprem etkisi altında da en büyük Fourier genliklerinde önemli bir değişim olmamaktadır.

Tablo 3.12 ve 3.13 ile Şekil 3.21 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı olması durumlarına ait yerdeğiştirme sonuçları her iki deprem etkisi için de incelendiğinde, 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır: 1 depremi etkisinde en büyük yerdeğiştirme değerlerindeki azalma miktarı kısa mesafelerde %4,6 civarında olurken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte %6,9'a kadar ulaşmaktadır. 2 depremi etkisinde ise, kısa mesafelerde en büyük yerdeğiştirme değerleri %3,2'e varan miktarlarda azalırken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte yerdeğiştirme değerlerindeki



Şekil 3.21 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

%3,6'ya ulaşan miktarlarda azalmaktadır. Yan yana bulunan 12 katlı yapıların arasında 16 m olduğu durumda 2 depremi etkisi sonucunda yapılarda oluşan yer değiştirme değerleri ile zemin üzerinde tek bir yapı olması durumunda elde edilen yer değiştirme değerleri Şekil 3.22 (c)'de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapı bulunduğu, incelenen durumlarda 12 katlı yapının en büyük yer değiştirme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumlarında 1 depremi etkisinde %0,4 azalma olurken, 2 depremi etkisinde ise %0,4 oranında artış olmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu, 1 depremi etkisinde en büyük yer değiştirme değerlerinde önemli bir değişiklik meydana gelmezken, 2 depremi etkisinde ise 12 katlı yapının en büyük yer değiştirme değeri %0,8 oranında artmaktadır.



Şekil 3.22 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Tablo 3.12 ve 3.13 ile Şekil 3.21 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında başka bir 12 katlı yapı olması durumlarına ait zemin kata ait ötelenme oranı değerleri her iki deprem etkisi için de azalmaktadır: 1 depremi etkisinde bu değişimin miktarı %4,5'e kadar ulaşmaktadır ve bu değişim miktarları incelenen tüm mesafeler için hemen hemen sabit kalmaktadır. 2 depremi etkisinde ise, 12 katlı yapının ötelenme değerlerinde %4,8 civarında bir değişim görülmektedir ve incelenen tüm mesafeler için de birbirlerine yakın değişimler olmaktadır. Bu durumlardan yapıların arasında 16 m bulunduğu, 12 katlı yapının zemin katındaki ötelenme oranı değerleri ile zemin üzerinde tek bir yapının bulunduğu durumda oluşan ötelenme oranı değerlerinin zamana bağlı karşılaştırması Şekil 3.22 (d)'de verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumlar 1 depremi etkisi altında incelendiğinde, yapıların arasında 2 m ve 4 m olduğunda yapının ötelenme değerleri %0,6 oranında artmaktadır. 2 depremi etkisinde ise, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda ötelenme değerleri %0,8 civarında artmıştır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte 3 katlı yapının 12 katlı yapının davranışlarını etkileme miktarı azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapı bulunduğu durumlarda, 1 depremi etkisinde ötelenme değerleri yapıların birbirine yakın olduğu durumlarda %0,7'e varan miktarlarda azalmaktadır. Aynı durumlarda 2 depremi etkisinde 12 katlı yapının zemin katına ait ötelenme oranı değerleri incelendiğinde, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda ötelenme

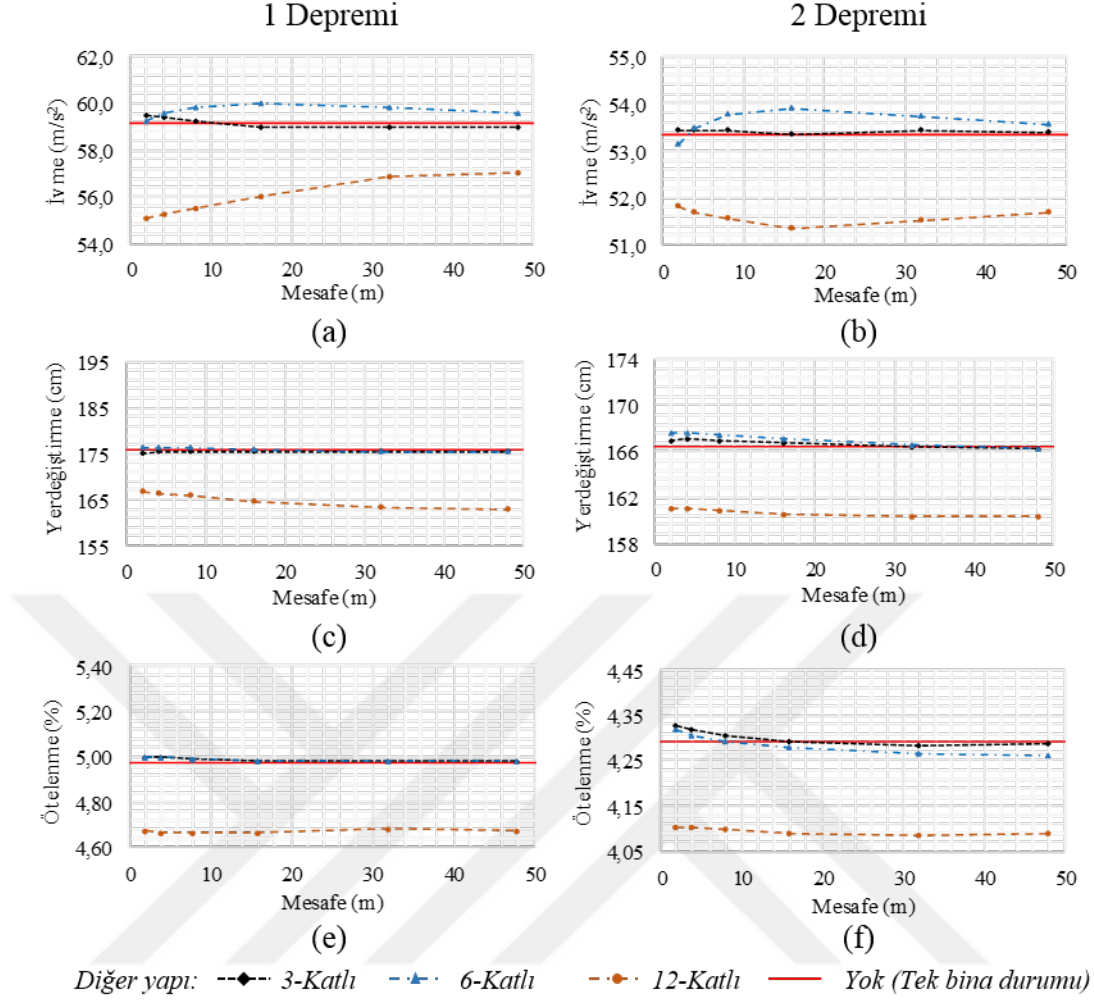
oranı değerleri %0,6 civarında artarken, yapıların birbirlerinden uzaklaşmasıyla birlikte ötelenme oranı değerlerindeki azalma yaklaşık %0,7 oranında olmaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 1 ve 2 depremleri etkisindeki 12 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmdeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖÖ) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.14 ve Tablo 3.15'te, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.23'te ve bu durumlardan bazılarında 12 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.24'te verilmektedir.

Tablo 3.14 ve 3.15 ile Şekil 3.23 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı bulunduğunda, her iki deprem için de yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte yapıların en büyük ivme değerlerindeki değişim miktarları yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlara göre azalmaktadır: Yapıların arasındaki mesafe 4 m olduğu durumda 1 depremi etkisi altında iken 12 katlı yapının en büyük ivme değerindeki değişim miktarı %1,2 iken, Şekil 3.24 (a)'dan görüldüğü gibi 2 depremi etkisinde ise %2,1 olmaktadır. 12 katlı yapının yanındaki yapının 3 katlı bulunduğunda, 1 depremi etkisinde 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri komşu yapının 12 katlı olması durumuyla benzer şekilde olmaktadır. Ancak, bu sistemlerin 2 depremi etkisinde olduğunda 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin az olduğu ivme değerlerinin önemli miktarlarda değişmediği, ancak yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte %0,5 civarında azaldığı görülmektedir. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğunda, 1 depremi etkisi altında yapının ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Bu durumlardaki en fazla azalma yapıların arasında 16 m olduğunda %1,3 oranında meydana gelmektedir. 2 depremi etkisinde ise en büyük ivme değerleri azalmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasında 8 m olduğunda %1,6 oranında meydana gelmektedir.

Tablo 3.14 ve 3.15'ten görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı bulunduğunda, her iki deprem etkisinde de Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda meydana gelmektedir. Şekil 3.24 (b)'de 2 depremi etkisindeki 12 katlı yapıların arasında 2 m olduğunda ve zemin üzerinde tek bir yapı olması durumlarında 12 katlı yapıya ait Fourier genlikleri verilmektedir.



Şekil 3.23 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

12 katlı yapının yanında 3 ya da 6 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda 1 depremi etkisinde Fourier genliklerinde önemli bir değişiklik olmazken, 2 depremi etkisinde ise, yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük Fourier genlikleri değişmektedir.

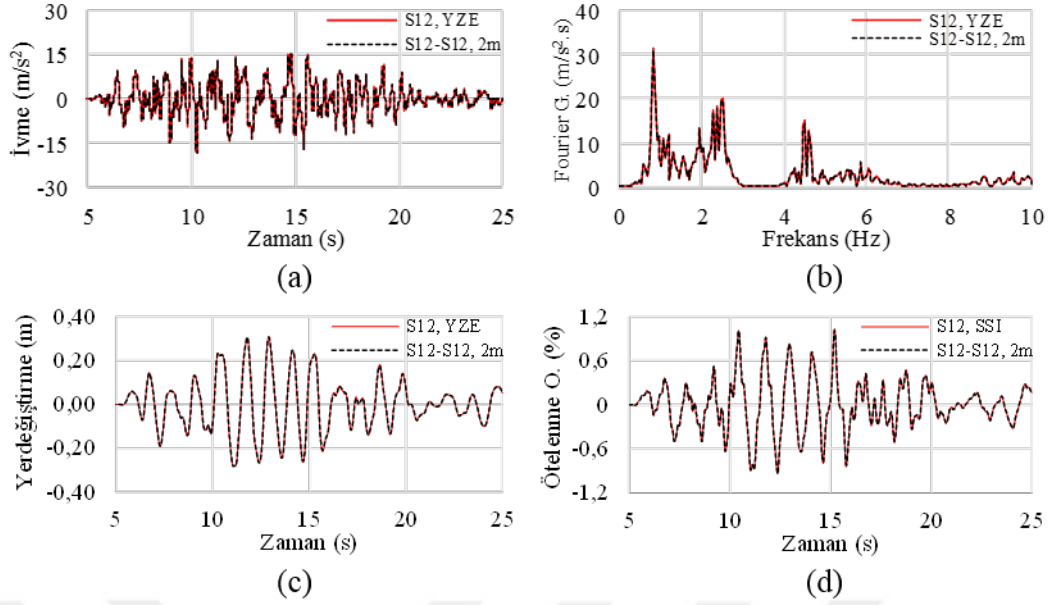
Tablo 3.14 ve 3.15 ile Şekil 3.23 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 12 katlı bir yapının yanındaki aynı kat sayısında diğer bir yapı olduğu durumlarda, yapıda meydana gelen en büyük yer değiştirme değerleri genel olarak azalmaktadır: 1 depremi etkisinde yapı yer değiştirme değerlerindeki değişim miktarları tüm mesafelerde yaklaşık olarak aynı ve %0,3 civarında olmaktadır. Aynı durumlar 2 depremi etkisinde incelendiğinde, yapının ivme değerlerinin yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda değişmektedir, ancak yapıların birbirinden uzaklaşmasıyla birlikte değişim miktarları azalmaktadır: Şekil 3.24 (c)'den görüldüğü gibi, yapıların arasında 2 m olduğunda, en büyük yer değiştirme değeri en fazla değişmektedir ve bu değişimin

Tablo 3.14 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	17,91	-	28,50	-	33,65	-	1,02	-
3	2	17,68	-1,29	28,48	-0,06	33,71	0,16	1,02	-0,21
3	4	17,68	-1,26	28,51	0,02	33,69	0,11	1,02	-0,26
3	8	17,71	-1,12	28,52	0,07	33,67	0,05	1,02	-0,35
3	16	17,78	-0,69	28,52	0,07	33,64	-0,03	1,01	-0,47
3	32	17,87	-0,22	28,52	0,06	33,61	-0,13	1,01	-0,57
3	48	17,87	-0,20	28,51	0,05	33,59	-0,19	1,01	-0,64
6	2	18,03	0,70	28,54	0,14	33,83	0,52	1,02	0,38
6	4	18,10	1,09	28,55	0,19	33,82	0,50	1,02	0,34
6	8	18,14	1,28	28,56	0,20	33,81	0,47	1,02	0,27
6	16	18,14	1,32	28,55	0,16	33,80	0,44	1,02	0,18
6	32	18,10	1,11	28,53	0,11	33,78	0,38	1,02	0,16
6	48	18,10	1,08	28,53	0,09	33,77	0,34	1,02	0,16
12	2	17,70	-1,15	28,85	1,23	33,56	-0,27	1,01	-0,50
12	4	17,69	-1,18	28,81	1,10	33,56	-0,27	1,01	-0,57
12	8	17,71	-1,09	28,76	0,90	33,56	-0,27	1,01	-0,67
12	16	17,79	-0,66	28,68	0,63	33,57	-0,26	1,01	-0,78
12	32	17,86	-0,26	28,60	0,36	33,58	-0,23	1,01	-0,74
12	48	17,82	-0,47	28,57	0,24	33,59	-0,19	1,01	-0,60

Tablo 3.15 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 2 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapı olması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	18,57	-	31,70	-	30,85	-	1,04	-
3	2	18,56	-0,04	31,85	0,49	31,00	0,47	1,05	1,04
3	4	18,56	-0,04	31,80	0,33	30,97	0,37	1,04	0,72
3	8	18,56	-0,06	31,76	0,21	30,94	0,28	1,04	0,39
3	16	18,55	-0,07	31,73	0,12	30,91	0,18	1,04	0,02
3	32	18,53	-0,18	31,72	0,07	30,88	0,09	1,03	-0,39
3	48	18,48	-0,45	31,71	0,05	30,86	0,03	1,03	-0,57
6	2	18,33	-1,26	31,92	0,72	30,97	0,38	1,04	0,66
6	4	18,29	-1,48	31,86	0,52	30,93	0,26	1,04	0,48
6	8	18,26	-1,63	31,81	0,36	30,89	0,14	1,04	0,32
6	16	18,29	-1,47	31,77	0,22	30,85	0,01	1,04	0,19
6	32	18,45	-0,63	31,74	0,13	30,82	-0,11	1,04	0,08
6	48	18,51	-0,29	31,73	0,09	30,80	-0,16	1,04	0,04
12	2	18,18	-2,05	31,19	-1,60	30,75	-0,32	1,01	-2,19
12	4	18,19	-2,01	31,24	-1,44	30,77	-0,27	1,01	-1,99
12	8	18,21	-1,93	31,32	-1,20	30,79	-0,18	1,02	-1,67
12	16	18,25	-1,67	31,42	-0,87	30,83	-0,08	1,02	-1,23
12	32	18,33	-1,26	31,52	-0,54	30,85	0,01	1,03	-0,73
12	48	18,36	-1,11	31,57	-0,38	30,86	0,02	1,03	-0,46



Şekil 3.24 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında aynı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

miktarı 1 depremi ile aynıdır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri depreme ve yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisi altında, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri artarken, yapıların arasındaki mesafe 12 m'den fazla olduğunda ise azalmaktadır: 1 depremi etkisinde 12 katlı yapının yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır, 2 depremi etkisinde ise yapıların arasında 2 m olduğu durumda yerdeğiştirme değerleri %0,5 oranında artmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte bu değişim miktarı azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda, 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinde meydana gelen değişim hem depreme hem de yapılar arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, 12 katlı yapının yerdeğiştirme değerlerinde %0,5'e varan oranlarda artışların olduğu görülürken, 2 depremi etkisinde ise, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda yerdeğiştirmelerin %0,4 civarında arttığı fakat yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte değişim miktarlarının azaldığı görülmektedir.

Tablo 3.14 ve 3.15 ile Şekil 3.23 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında aynı özellikte diğer bir yapının bulunduğu durumda, yapıların zemin katlarına ait en büyük ötelenme değerleri azalmaktadır: 1 depremi etkisinde en büyük ötelenme oranı değerleri zemin üzerinde tek bir yapı bulunduğu durumuna göre

%0,6 - %0,8 arasında azalmaktadır. Şekil 3.24 (d)'de görüldüğü gibi, 2 depremi etkisinde yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri %2,2 oranında azalmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme oranlarındaki değişimin miktarları azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumda, en büyük ötelenme değerlerindeki değişimler yapıların arasındaki mesafeye ve depreme bağlı olarak değişmektedir: 1 depremi etkisinde, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme değerleri %0,6'dan fazla miktarlarda artmaktadır. Aynı durumların 2 depremi etkisindeki sonuçları incelendiğinde ise, yapıların arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda 12 katlı yapının tepkilerinin arttığı, yapıların arasındaki mesafenin 16 m'den daha fazla olduğu durumlarda ise 12 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme değerlerinin azaldığı görülmektedir: Yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda 12 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değeri yaklaşık %1 oranında artarken, yapıların arasındaki mesafenin 48 m olmasıyla birlikte ilgili ötelenme değeri %0,6 civarında azalmaktadır. 12 katlı bir yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, 12 katlı yapının zemin kat ötelenmesi her iki deprem etkisi altında da artmaktadır ve bu artış özellikle yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda olmaktadır: Yapıların arasında 2 m bulunduğu sistemler 1 ve 2 depremleri etkisinde olduklarında en büyük ötelenme değerleri sırasıyla %0,4 ve %0,7 oranlarında artmaktadır.

Yapıların aynı hizada yan yana bulunduğu tüm bu durumlar incelendiğinde, yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle yumuşak zemin (tip 1) üzerinde bulunan yapıların davranışlarında meydana gelen değişimler daha sert olan zemin üzerinde (tip 2) bulunduğu durumlara kıyasla daha fazla miktarlarda olmaktadır. Yapıların birbirine yakın oldukları durumlarda en fazla değişimler görülürken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte yapı tepkilerindeki değişimlerin miktarlarının azalmaktadır. Yan yana bulunan yapıların katsayıları aynı olduğu durumlarda, yapıların en büyük ivme değerleri her iki zemin türü için de genellikle azalmaktadır. Bu durumlardaki en fazla azalma, 3 katlı iki yapının tip 1 zemini üzerinde yan yana bulunduğu durumda meydana gelmektedir. Farklı kat sayısına sahip yapıların aynı hizada yan yana bulunduğu durumlarda ise, yapılardaki en büyük ivme değerleri çoğu durumda azalırken, tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında 3 ya da 12 katlı yapının bulunduğu ve 12 katlı yapının yanında 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda ivme değerleri artmaktadır. Aynı katsayısında olan yapıların aynı hizalarda bulunduğu durumlarda, yapıların en büyük yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı miktarlarında görülen değişimler yapıların özelliklerinde ve depreme bağlı olarak değişmekle birlikte, bu değerlerin değişimi ivme değerlerinde görülen değişimlere benzer şekilde olmaktadır. Farklı katsayısına sahip yapıların aynı hizada

yan yana olduğu durumlarda ise, yapıların en büyük yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerleri yapıların özelliklerine, zemin türüne, yapıların arasındaki mesafeye ve depreme bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, yapıların kat sayısının artmasıyla birlikte yapıların etkilerinin daha uzun mesafelerde etkili olabilmektedir. Her iki deprem de aynı tasarım spektrumu hedef alınarak üretilmesine rağmen bazı durumlarda sonuçlar birbirinden farklı şekillerde elde edilmiştir. Bu farklılığın her iki depremin frekans içeriklerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2.2 Farklı Hizada Bulunan ve Tek Doğrultuda Uygulanan Deprem Etkisindeki Yapılar Arasındaki Etkileşime Ait Bulgular ve İrdelemeler

Bu kısımda, Şekil 2.1 (c)'de verilen iki yapının farklı hizada, birbirine yakın mesafelerde bulunduğu çeşitli durumlarda tek doğrultuda uygulanan 1 depremi etkisi altında yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda çalışma kapsamında ele alınan yapıların (3, 6 ve 12 katlı) davranışlarında meydana gelen değişikliklere ait bulgular sunulmaktadır.

3.2.2.1 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler

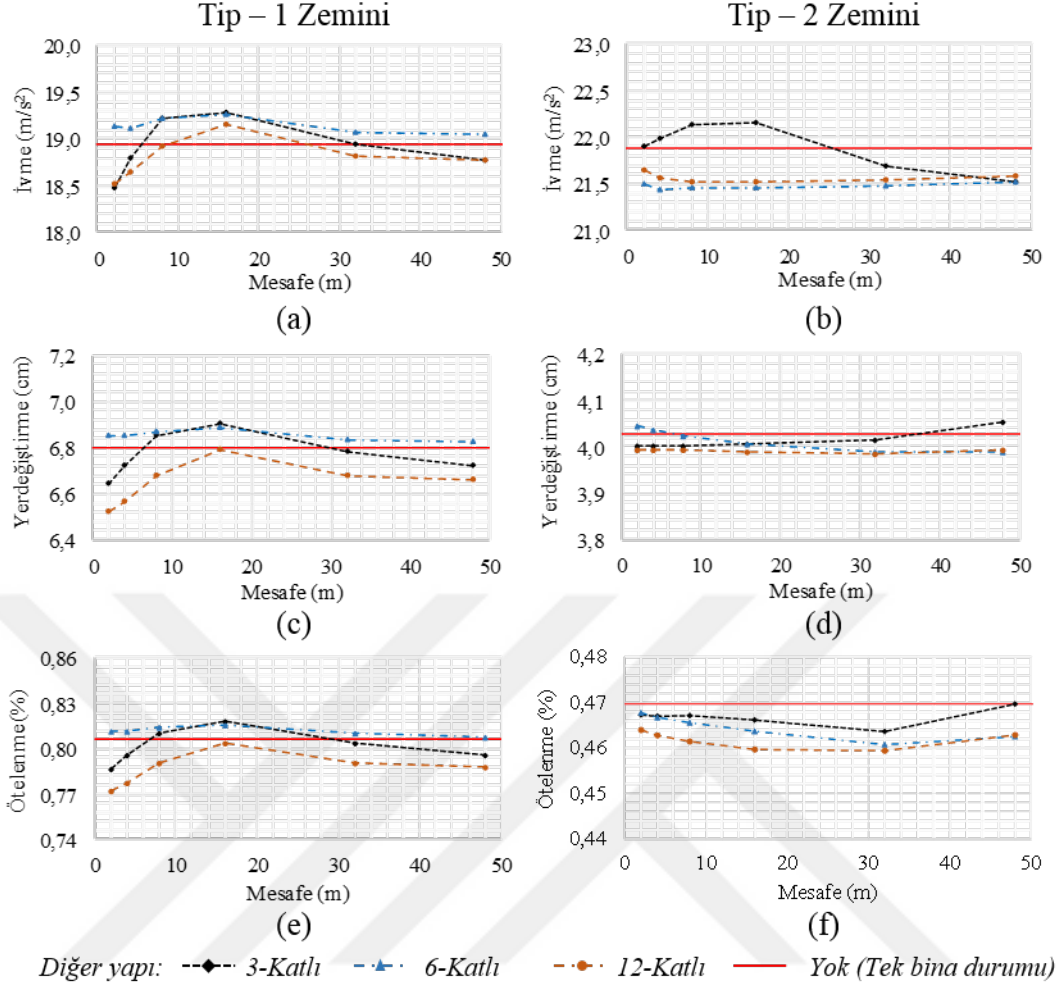
Tip 1 Zemini Üzerindeki 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden Tablo 3.16'da, bu tabloda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.25'te ve bu durumlardan bazılarında 3 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.26'da verilmektedir.

Tablo 3.16 ile Şekil 3.25 (a)'dan görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapının bulunduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri incelendiğinde, 1 depremi etkisinde 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır: Yapıların arasındaki mesafenin 5 m ile 30 m arasında olduğu durumlarda yapı ivmelerinin artarken, diğer mesafelerde ise azalmaktadır: Şekil 3.26 (a)'dan görüldüğü gibi, yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değerinde %2,5 oranında azalma olurken, mesafe 16 m olduğunda ise yapının en büyük ivme değeri %1,7 civarında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda 3 katlı yapının ivme

Tablo 3.16 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular

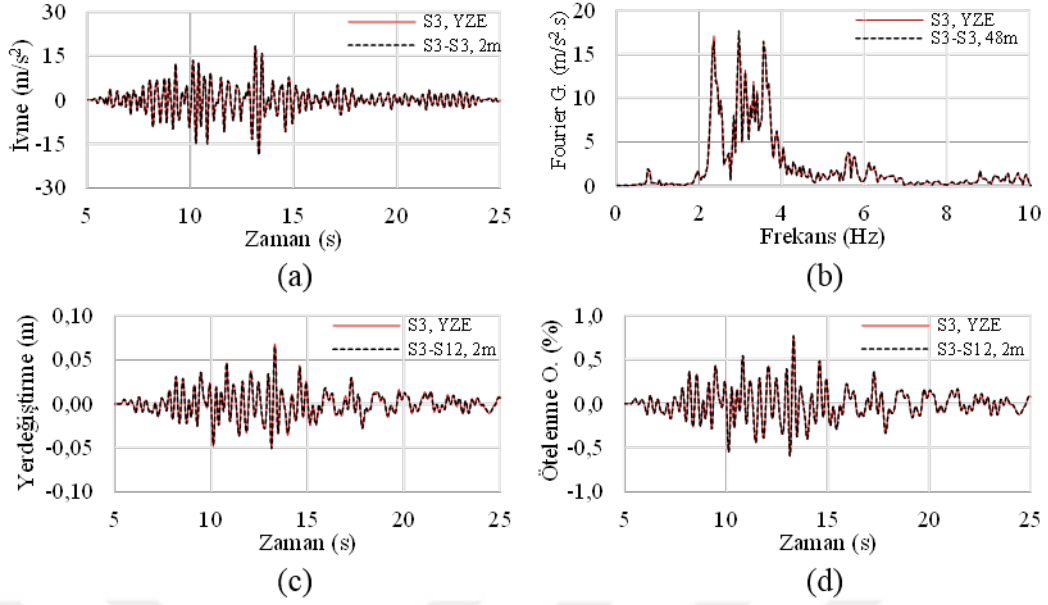
Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	18,95	-	17,11	-	6,80	-	0,81	-
3	2	18,48	-2,48	17,10	-0,04	6,64	-2,35	0,79	-2,35
3	4	18,79	-0,88	17,15	0,24	6,72	-1,17	0,80	-1,20
3	8	19,23	1,44	17,28	0,99	6,85	0,69	0,81	0,64
3	16	19,28	1,71	17,55	2,55	6,90	1,53	0,82	1,52
3	32	18,94	-0,09	17,07	-0,25	6,78	-0,25	0,80	-0,26
3	48	18,77	-0,96	17,66	3,23	6,72	-1,20	0,80	-1,21
6	2	19,13	0,93	17,17	0,34	6,85	0,80	0,81	0,78
6	4	19,12	0,89	17,25	0,84	6,85	0,81	0,81	0,79
6	8	19,21	1,37	17,31	1,19	6,87	1,07	0,81	1,04
6	16	19,26	1,61	17,28	0,97	6,88	1,25	0,82	1,22
6	32	19,07	0,60	17,15	0,22	6,84	0,53	0,81	0,51
6	48	19,05	0,51	17,49	2,24	6,82	0,31	0,81	0,29
12	2	18,53	-2,26	17,33	1,27	6,52	-4,06	0,77	-4,24
12	4	18,64	-1,67	17,07	-0,25	6,57	-3,39	0,78	-3,48
12	8	18,92	-0,16	16,80	-1,81	6,68	-1,81	0,79	-1,90
12	16	19,17	1,12	17,25	0,82	6,79	-0,13	0,80	-0,20
12	32	18,82	-0,69	16,77	-2,01	6,67	-1,83	0,79	-1,90
12	48	18,78	-0,90	17,42	1,82	6,66	-2,10	0,79	-2,17



Şekil 3.25 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

değerlerinin artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla artış miktarı %1,6 oranındadır ve yapıların arasında 16 m olduğunda meydana gelmektedir. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğunda, 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye göre değişmektedir: Yapıların arasında 2 m olması durumunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %2,3 civarında azalırken, yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,1 oranında artmaktadır.

Tablo 3.16'dan görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapı bulunduğunda, en büyük Fourier genliklerindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda Şekil 3.26 (b)'den görüldüğü gibi olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 ya da 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, en büyük



Şekil 3.26 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Fourier genliklerindeki değişimler sırasıyla yapıların arasında 48 m ve 32 m olduğu durumlarda olmaktadır.

Tablo 3.16 ile Şekil 3.25 (c)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı özellikte diğer bir yapının bulunduğu durumlar incelendiğinde, yapıların en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafenin 7 m - 30 m olduğu durumlarda artarken, incelenen diğer mesafelerde ise azalmaktadır: Yan yana bulunan yapıların arasındaki etkileşim sonucunda, en büyük yerdeğiştirme değerlerindeki en fazla artış yapıların arasında 16 m olduğunda %1,5 oranında, en fazla azalma ise mesafenin 2 m olması durumunda %2,4 oranında olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğunda, 3 katlı yapının yerdeğiştirme değeri incelenen tüm durumlarda artmaktadır: Bu durumlardaki yerdeğiştirme değerlerindeki en fazla artış yapıların arasında 16 m olması durumunda %1,3 oranında olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır: Şekil 3.26 (c)'den görüldüğü gibi, yapıların arasında 2 m olması durumunda yerdeğiştirme değerleri %4,1 oranında azalmaktadır.

Tablo 3.16 ile Şekil 3.25 (e)'den görüldüğü gibi, 3 katlı bir yapının yanında aynı özellikteki diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, yapıların birbirlerine yakın ve uzak olduğu durumlarda zemin kat en büyük ötelenme oranı değerleri azalırken, orta mesafelerde ise artmaktadır: Yapıların arasındaki mesafeler 2 m ve 48 m olduğu durumlarda en büyük ötelenme oranı değerleri sırasıyla %2,4 ve %1,2 azalırken,

yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda ise ötelenme değeri %1,5 oranında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda, yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerleri tüm durumlarda artmaktadır ve en fazla artış yapıların arasında 16 m olduğunda %1,2 oranında meydana gelmektedir. Şekil 3.26 (d)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında 12 katlı yapı bulunduğu ise, yapıların arasındaki mesafenin 2 m olduğu durumda ötelenme değerinde en fazla azalma olmaktadır ve bunun miktarı %4,2'dir.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

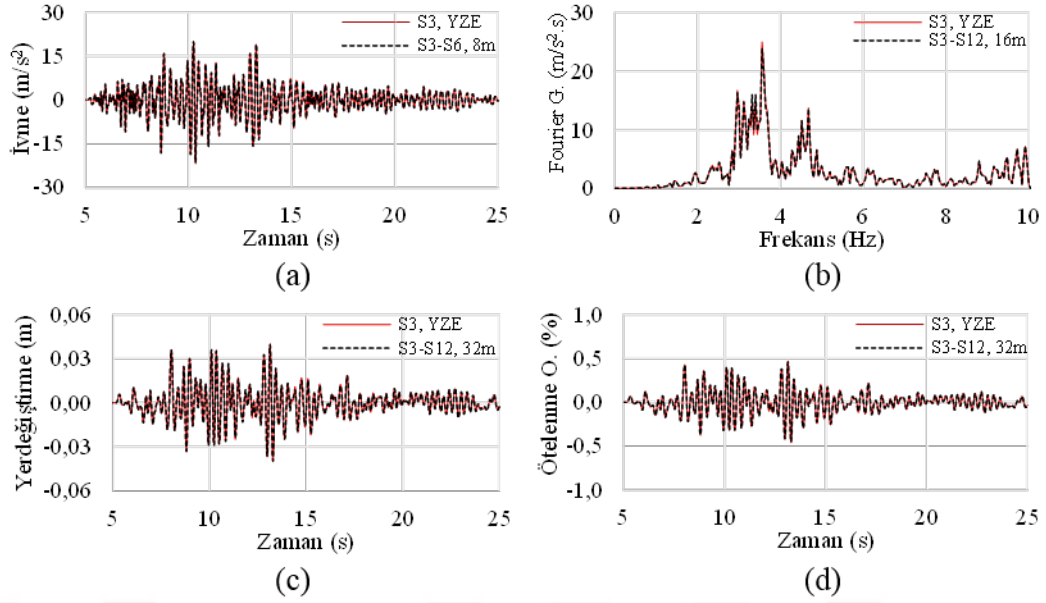
Tip 2 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden Tablo 3.17'de, bu tabloda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.25'te ve bu durumlardan bazılarında 3 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.27'de verilmektedir.

Tablo 3.17 ile Şekil 3.25 (b)'den görüldüğü gibi, iki tane 3 katlı yapı yan yana bulunduğu, yapıların en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Bu durumlardaki sonuçlar incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda en büyük ivme değerlerinde %1,2 civarında artış olurken, mesafe 48 m olduğunda ise %1,7 oranında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı yapı bulunduğu, 3 katlı yapının ivme değerleri tüm durumlarda azalmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 4 m ile 16 m arasında olduğu durumlarda birbirine yakın miktarlarda olmaktadır: Şekil 3.27 (a)'dan görüldüğü gibi, yapıların arasında 8 m olduğunda en büyük ivme değeri %2 mertebesinde azalmaktadır. 3 katlı yapının yanındaki yapının 12 katlı olduğunda, 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri %1,7'ye ulaşan miktarlarda azalmaktadır.

Tablo 3.17'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapı bulunduğu durumlarda, Fourier genliklerindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olduğunda meydana gelmektedir. 3 katlı yapının yanında 6 ya da 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda Fourier genliklerindeki en fazla değişim yapıların arasında 16 m olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Şekil 3.27 (b)'de 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu ve yapıların arasında 16 m olduğu durum ile zemin üzerinde 3 katlı yapının bulunduğu durumlar için 3 katlı yapının Fourier genlikleri verilmektedir.

Tablo 3.17 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	21,89	-	25,03	-	4,03	-	0,47	-
3	2	21,91	0,11	24,60	-1,69	4,00	-0,60	0,47	-0,52
3	4	21,99	0,47	24,74	-1,15	4,00	-0,64	0,47	-0,57
3	8	22,14	1,15	25,05	0,08	4,00	-0,58	0,47	-0,55
3	16	22,15	1,22	25,27	0,99	4,01	-0,51	0,47	-0,76
3	32	21,69	-0,91	24,62	-1,62	4,01	-0,32	0,46	-1,29
3	48	21,52	-1,69	24,14	-3,54	4,05	0,65	0,47	0,00
6	2	21,50	-1,75	24,59	-1,76	4,05	0,49	0,47	-0,41
6	4	21,44	-2,03	24,34	-2,75	4,04	0,25	0,47	-0,64
6	8	21,45	-2,01	24,11	-3,66	4,03	-0,03	0,47	-0,88
6	16	21,46	-1,96	23,94	-4,37	4,01	-0,46	0,46	-1,28
6	32	21,47	-1,92	24,15	-3,51	3,99	-0,98	0,46	-1,90
6	48	21,52	-1,69	24,14	-3,56	3,99	-0,95	0,46	-1,53
12	2	21,64	-1,12	24,57	-1,82	3,99	-0,79	0,46	-1,22
12	4	21,56	-1,51	24,32	-2,82	3,99	-0,85	0,46	-1,48
12	8	21,52	-1,68	24,09	-3,73	3,99	-0,86	0,46	-1,76
12	16	21,52	-1,70	23,91	-4,46	3,99	-0,94	0,46	-2,14
12	32	21,53	-1,63	24,14	-3,54	3,98	-1,09	0,46	-2,18
12	48	21,58	-1,42	24,13	-3,60	3,99	-0,82	0,46	-1,45



Şekil 3.27 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Tablo 3.17 ile Şekil 3.25 (d)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı kat sayısında diğer bir yapının bulunduğu durumlara ait yer değiştirme sonuçları incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin 2 m ve 48 m olması durumlarında en büyük yer değiştirme değerleri sırasıyla %0,6 ve %0,7 oranlarında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapı bulunduğu durumda, yapıların arasında 2 m olması durumunda en büyük yer değiştirme değeri %0,5 oranında artarken, mesafenin 32 m'den fazla olduğu durumlarda ise en büyük yer değiştirme değeri %1 civarında azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapı bulunduğu durumda, 3 katlı yapının en büyük yer değiştirme değerleri incelenen tüm durumlar için %0,8 ile %1,1 oranları arasında azalmaktadır. Bu durumlardaki en fazla azalma yapıların arasında 32 m olması durumunda meydana gelmektedir ve bu durumdaki yer değiştirme değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunmasına göre karşılaştırılması Şekil 3.27 (c)'de verilmektedir.

Tablo 3.17 ile Şekil 3.25 (f)'den görüldüğü gibi, 3 katlı bir yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda yapıların zemin katlarına ait en büyük ötelenme oranları incelendiğinde, bu değerler tüm durumlarda azalmaktadır: En fazla azalma yapıların arasında 32 m olduğunda %1,3 oranında meydana gelmektedir. Benzer şekilde, 3 katlı yapının yanında 6 ya da 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, yapıların arasındaki mesafe 32 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ötelenme değerleri sırasıyla %1,9 ve %2,2 oranlarında azalmaktadır: Bu

durumlardaki en fazla azalma yapıların arasında 32 m olması durumunda meydana gelmekte olup bu durumdaki ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunmasına göre karşılaştırılması Şekil 3.27 (d)'de verilmektedir.

3.2.2.2 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

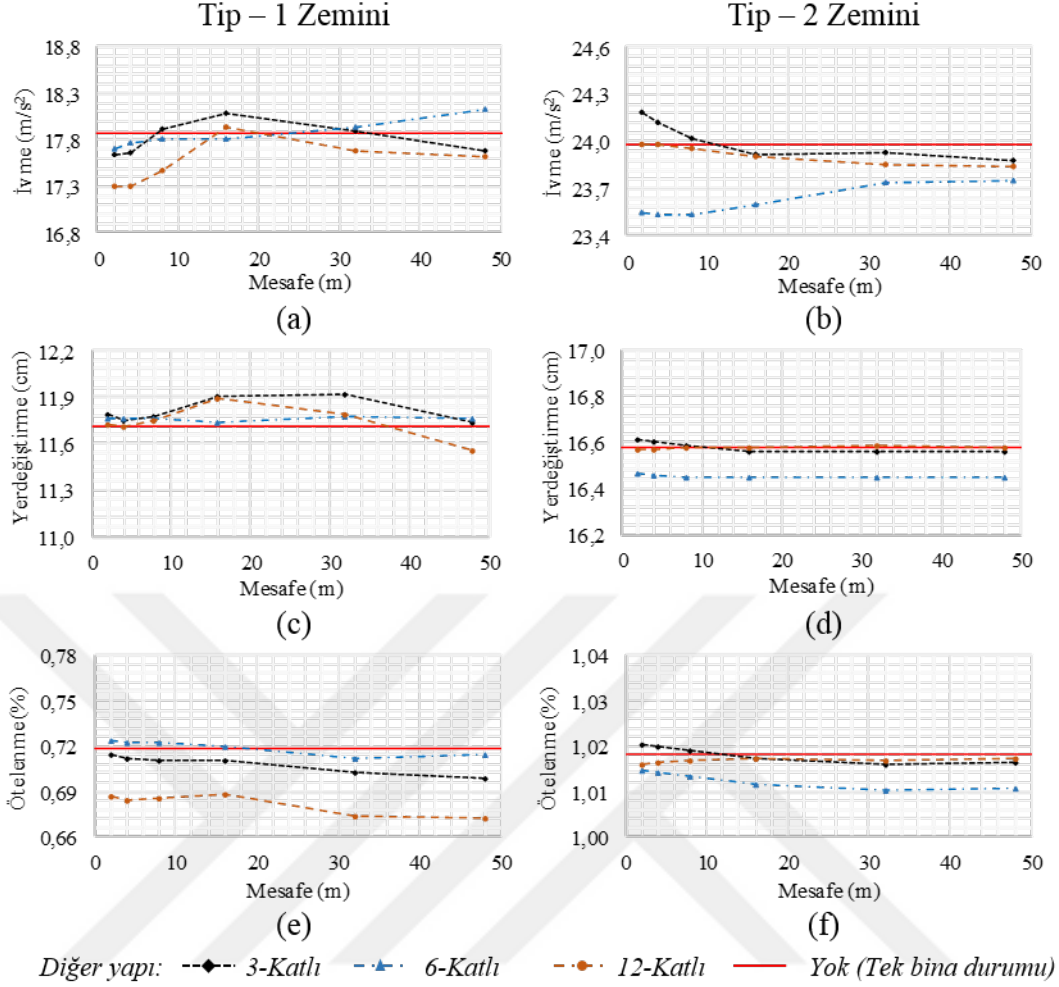
Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden Tablo 3.18'de, bu tabloda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.28'de ve bu durumlardan bazılarında 6 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.29'da verilmektedir.

Tablo 3.18 ile Şekil 3.28 (a)'dan görüldüğü gibi, 6 katlı bir yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 6 katlı yapının en büyük ivme değeri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Yapıların arasındaki mesafe 25 m'den az olduğunda yapı tepkileri azalırken, daha fazla mesafelerde ise yapı ivmeleri artmaktadır: Yapıların arasında 2 m olduğu durumda, en büyük yapı ivmesi değerinde %1 mertebesinde azalma olurken, yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması durumunda ise, bu değer %1,3 civarında artmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının olduğu durumlarda, en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Yapıların arasındaki mesafe 7 m ile 33 m arasında olduğunda, 3 katlı yapının en büyük ivme değerlerinin artmaktadır, diğer incelenen mesafelerde ise yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle ivme değerleri azalmaktadır: Yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda, 6 katlı yapının ivme değerleri %1,4 oranında azalırken, mesafe 16 m olduğunda ise yapının en büyük ivme değeri %1,1 oranında artmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, ivme değerleri genel olarak azalmaktadır: Şekil 3.29 (a)'dan görüldüğü gibi, bu durumlardaki en fazla azalma yapıların arasındaki mesafe 4 m olduğunda %3,3 oranında olmaktadır.

Tablo 3.18'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında ya da 3 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması durumunda meydana gelmektedir.

Tablo 3.18 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular

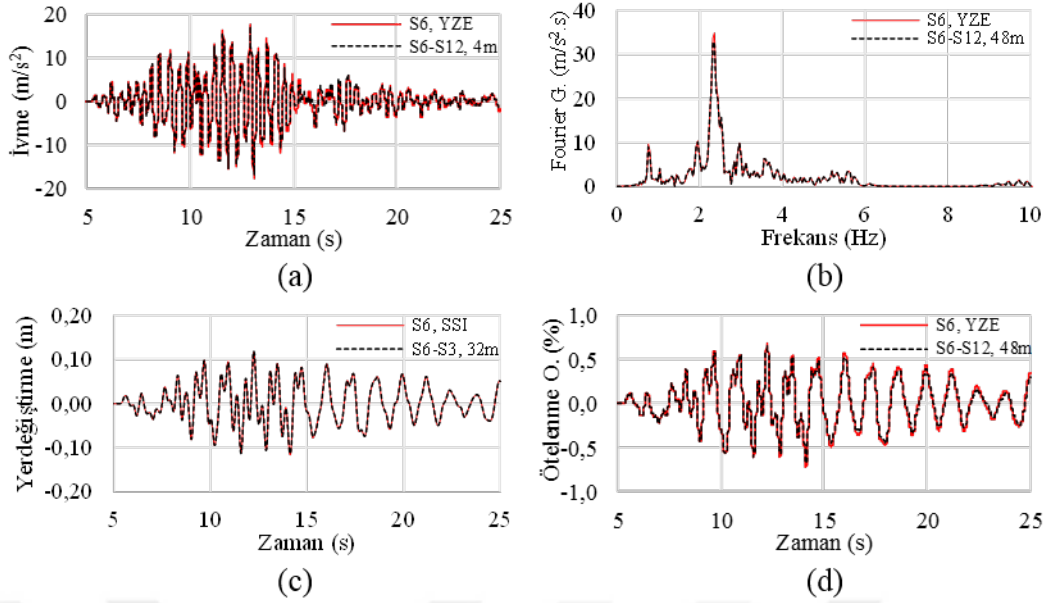
Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	17,88	-	34,92	-	11,71	-	0,72	-
3	2	17,63	-1,41	34,84	-0,24	11,79	0,62	0,71	-0,64
3	4	17,66	-1,27	34,71	-0,61	11,75	0,31	0,71	-0,83
3	8	17,91	0,15	34,83	-0,26	11,77	0,48	0,71	-1,03
3	16	18,09	1,14	35,38	1,33	11,90	1,59	0,71	-1,10
3	32	17,88	0,00	34,88	-0,12	11,92	1,77	0,70	-2,15
3	48	17,67	-1,17	33,91	-2,89	11,73	0,17	0,70	-2,68
6	2	17,70	-0,99	34,54	-1,09	11,77	0,45	0,72	0,70
6	4	17,76	-0,68	34,65	-0,78	11,76	0,43	0,72	0,61
6	8	17,81	-0,42	34,76	-0,44	11,76	0,43	0,72	0,53
6	16	17,81	-0,42	34,80	-0,33	11,74	0,19	0,72	0,14
6	32	17,93	0,26	34,94	0,07	11,78	0,56	0,71	-0,88
6	48	18,12	1,31	35,37	1,30	11,77	0,45	0,71	-0,63
12	2	17,31	-3,22	34,06	-2,47	11,72	0,03	0,69	-4,48
12	4	17,29	-3,29	34,04	-2,52	11,71	-0,07	0,68	-4,78
12	8	17,47	-2,31	34,36	-1,60	11,75	0,30	0,68	-4,66
12	16	17,93	0,26	35,20	0,80	11,90	1,57	0,69	-4,26
12	32	17,69	-1,10	34,35	-1,64	11,78	0,61	0,67	-6,17
12	48	17,61	-1,52	32,84	-5,96	11,55	-1,37	0,67	-6,47



Şekil 3.28 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda ise, Fourier genliğindeki en fazla değişimin yapıların arasında 48 m olduğu durumda Şekil 3.29 (b)'den görüldüğü gibi olmaktadır.

Tablo 3.18 ile Şekil 3.28 (c)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında olan diğer bir yapının bulunduğu durumlardaki yerdeğiştirme sonuçları incelendiğinde, 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinin incelenen tüm durumlarda arttığı görülmektedir: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda %0,6 oranında olması durumunda meydana gelmektedir. 6 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapı bulunduğunda Şekil 3.29 (c)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yapı yerdeğiştirme değerlerindeki en fazla artış yapıların arasındaki mesafenin 32 m olması durumunda %1,8 oranında olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda ise, 6



Şekil 3.29 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

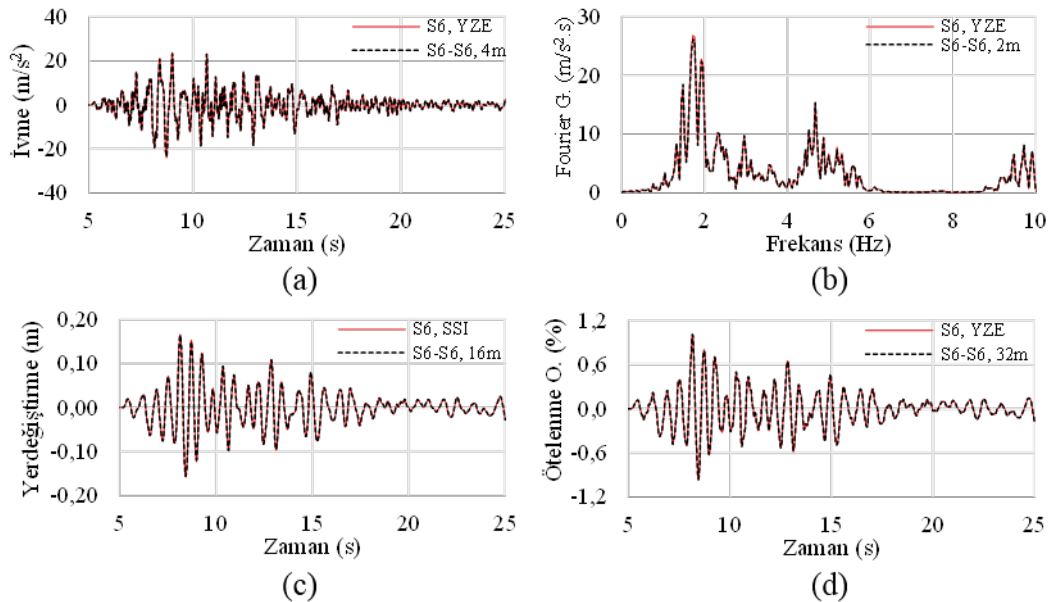
katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak olumlu ya da olumsuz yönde değişmektedir: Bu durumlardaki en büyük yerdeğiştirme değerlerinde oluşan en fazla değişimler yapıların arasında 16 m ve 48 m olduğu durumlarda olmaktadır, bu değerler yapıların arasında 16 m olduğunda %1,6 oranında artarken ve mesafenin 48 m olduğu durumda ise %1,4 oranında azalmaktadır.

Tablo 3.18 ile Şekil 3.28 (e)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı yapı bulunduğu durumlarda en büyük zemin kat ötelenme oranlarının, yapıların arasındaki mesafenin 20 m'den az olduğu durumlarda artarken, yapıların arasındaki mesafenin daha fazla olduğunda ise azalmaktadır: Bu durumlardaki en büyük zemin kat ötelenme oranındaki en fazla artış yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda %0,7 oranında olurken, en fazla azalma ise yapıların arasında 32 m olduğunda %0,9 oranında olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, ötelenme oranı değerlerindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olduğunda %2,7 oranında olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda ise, 6 katlı yapının ötelenme değerleri tüm inceleme mesafeleri için azalmaktadır: Şekil 3.29 (d)'den görüldüğü gibi, bu durumda yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda en büyük zemin kat ötelenme oranı %6,5 oranında azalmaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmdeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.19'da, bu tabloda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.28'de ve bu durumlardan bazılarında 6 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.30'da verilmektedir.

Tablo 3.19 ile Şekil 3.28 (b)'den görüldüğü gibi, 6 katlı bir yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, yapıların en büyük ivme değerleri incelendiğinde, bu değerlerin incelenen durumlarda azaldığı ve azalmanın miktarları yapıların arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafenin 4 m olması durumunda, Şekil 3.30 (a)'dan görüldüğü gibi %1,9 oranında olmaktadır. Benzer şekilde, 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda da yapı tepkilerindeki değişim miktarları yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Yapıların arasındaki



Şekil 3.30 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Tablo 3.19 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	23,97	-	26,83	-	16,58	-	1,02	-
3	2	24,18	0,87	26,90	0,26	16,62	0,22	1,02	0,25
3	4	24,12	0,60	26,86	0,10	16,60	0,14	1,02	0,19
3	8	24,02	0,17	26,80	-0,10	16,58	0,03	1,02	0,09
3	16	23,91	-0,25	26,73	-0,36	16,56	-0,09	1,02	-0,07
3	32	23,93	-0,20	26,64	-0,72	16,56	-0,13	1,02	-0,21
3	48	23,88	-0,40	26,57	-0,97	16,56	-0,12	1,02	-0,17
6	2	23,54	-1,81	26,11	-2,68	16,46	-0,69	1,01	-0,33
6	4	23,53	-1,86	26,17	-2,44	16,46	-0,73	1,01	-0,38
6	8	23,53	-1,84	26,28	-2,04	16,45	-0,78	1,01	-0,47
6	16	23,60	-1,55	26,46	-1,39	16,45	-0,81	1,01	-0,64
6	32	23,73	-1,01	26,77	-0,22	16,45	-0,80	1,01	-0,78
6	48	23,75	-0,95	26,96	0,49	16,45	-0,77	1,01	-0,74
12	2	23,98	0,01	26,88	0,20	16,57	-0,07	1,02	-0,19
12	4	23,98	0,01	26,85	0,08	16,57	-0,05	1,02	-0,16
12	8	23,95	-0,09	26,82	-0,05	16,57	-0,03	1,02	-0,10
12	16	23,91	-0,28	26,77	-0,21	16,58	0,01	1,02	-0,08
12	32	23,85	-0,51	26,71	-0,45	16,59	0,04	1,02	-0,12
12	48	23,84	-0,57	26,66	-0,65	16,58	-0,02	1,02	-0,06

mesafenin yaklaşık 10 m'den az olduğu durumlarda yapı ivmelerinin artarken, daha fazla mesafelerde ise azalmaktadır: Yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması halinde, 6 katlı yapının en büyük ivme değeri %0,9 oranında artarken, mesafenin 48 m olması halinde ise %0,4 mertebesinde azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda ise, yapı tepkileri %0,6'ya varan miktarlarda azalırken ve yapıların birbirlerine yakın ya da uzak olduğu durumlarda bu değerler önemli miktarlarda değişim olmamaktadır.

Tablo 3.19'dan görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, Fourier genliğindeki en fazla değişimin yapıların arasındaki mesafenin 2 m olması durumunda Şekil 3.30 (b)'den görüldüğü gibi olmaktadır. Benzer şekilde, 6 katlı yapının yanında 3 ya da 12 katlı yapının bulunduğu, Fourier genliklerinde en fazla değişimler yapıların arasında 2 m olduğu durumlarda meydana gelmektedir.

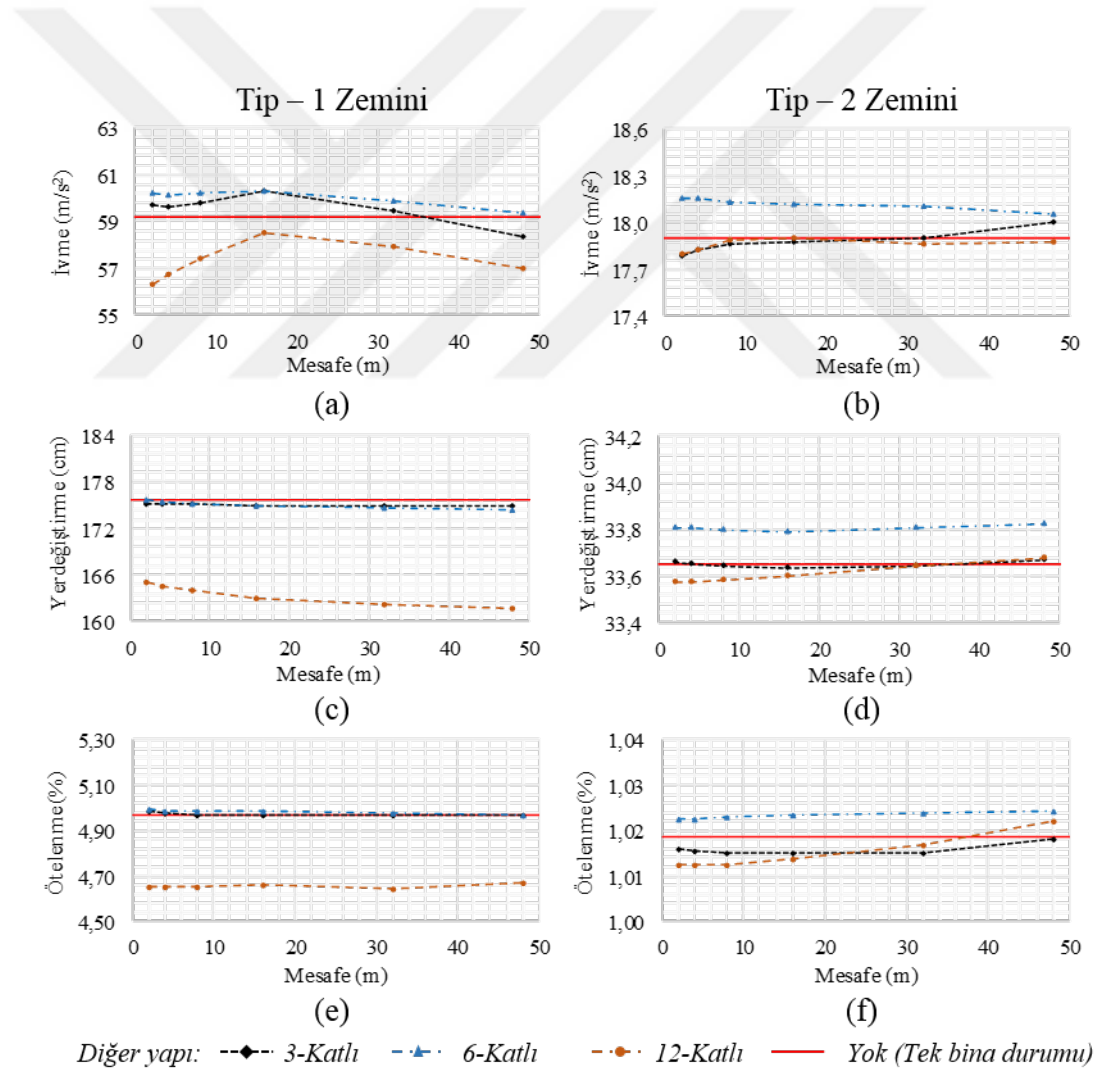
Tablo 3.19 ile Şekil 3.28 (d)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı kat sayısında olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri incelenen tüm aralıkları için yaklaşık olarak aynı olmaktadır: Bu durumlarda yapıların arasındaki mesafenin 16 m olduğu durumda yer değiştirme değerlerindeki değişim miktarı Şekil 3.30 (c)'den görüldüğü gibi en yüksek değeri olan %0,8'e ulaşmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapı bulunduğu, 6 katlı yapının yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafe az olduğunda önemsiz miktarlarda artarken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte azalmaktadır. 6 katlı yapının yanındaki yapının 12 katlı olduğu durumlar incelendiğinde ise, yapının yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır.

Tablo 3.19 ile Şekil 3.28 (f)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda yapının zemin katında oluşan en büyük ötelenme oranı değerleri incelendiğinde, en fazla değişim yapıların arasında 32 m olduğunda meydana gelmektedir ve bu değişimin miktarı %0,8'dir. Şekil 3.30 (d)'de tip 2 zemini üzerinde birbirlerine yakın konumda bulunan ve aralarında her iki doğrultuda 32 m olan iki 6 katlı yapının ve zemin üzerinde sadece tek bir yapının bulunduğu durumlarda 6 katlı yapıların zemin katlarına ait ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri verilmektedir. 6 katlı yapının yanında 3 ya da 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 6 katlı yapının zemin katının ötelenme oranı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır.

3.2.2.3 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmdeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden Tablo 3.20'de, bu tabloda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.31'de ve bu durumlardan bazılarında 12 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.32'de verilmektedir.



Şekil 3.31 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değıştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

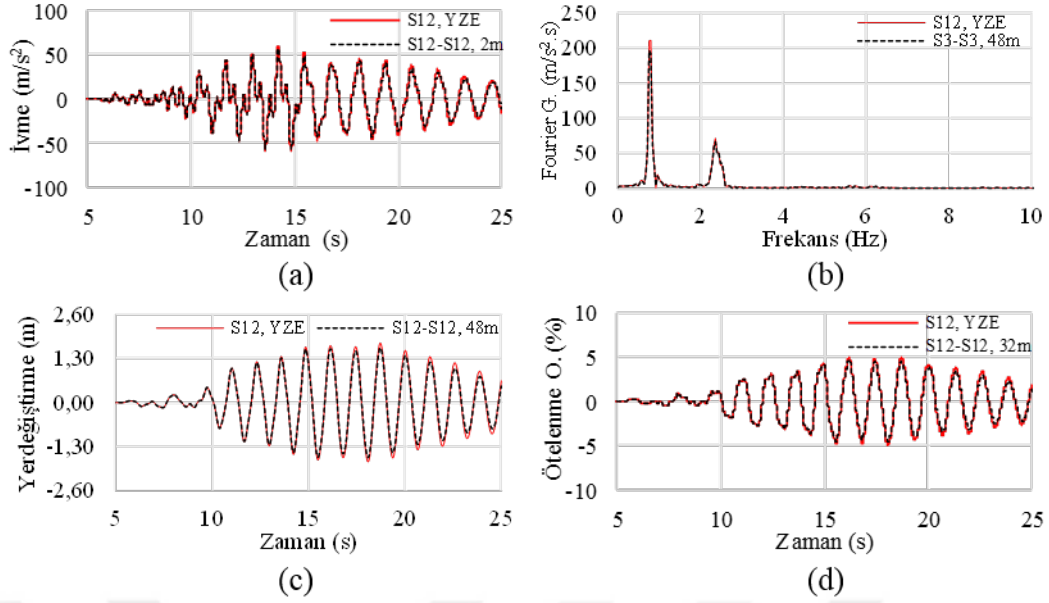
Tablo 3.20 Tip 1 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	59,17	-	211,13	-	175,61	-	4,97	-
3	2	59,70	0,90	210,96	-0,08	175,12	-0,28	4,98	0,24
3	4	59,61	0,75	210,92	-0,10	175,15	-0,26	4,97	0,09
3	8	59,81	1,08	210,79	-0,16	175,05	-0,32	4,97	-0,05
3	16	60,33	1,97	210,58	-0,26	174,89	-0,41	4,97	-0,07
3	32	59,49	0,55	210,29	-0,40	174,82	-0,45	4,97	-0,06
3	48	58,36	-1,37	210,08	-0,50	174,85	-0,43	4,97	-0,01
6	2	60,23	1,79	211,19	0,03	175,62	0,01	4,99	0,46
6	4	60,18	1,71	211,03	-0,05	175,54	-0,04	4,99	0,35
6	8	60,24	1,81	210,73	-0,19	175,27	-0,19	4,98	0,29
6	16	60,28	1,88	210,31	-0,39	174,88	-0,42	4,98	0,27
6	32	59,88	1,20	209,79	-0,64	174,63	-0,56	4,98	0,10
6	48	59,35	0,31	209,49	-0,78	174,52	-0,62	4,97	0,00
12	2	56,30	-4,85	201,28	-4,67	165,01	-6,03	4,65	-6,44
12	4	56,71	-4,15	200,62	-4,98	164,57	-6,28	4,65	-6,38
12	8	57,41	-2,96	199,62	-5,45	163,92	-6,66	4,66	-6,32
12	16	58,49	-1,14	198,34	-6,06	162,97	-7,20	4,66	-6,29
12	32	57,92	-2,11	197,06	-6,66	162,31	-7,57	4,64	-6,63
12	48	57,03	-3,62	196,43	-6,96	161,78	-7,88	4,67	-5,99

Tablo 3.20 ile Şekil 3.31 (a)'dan görüldüğü gibi, 12 katlı bir yapının yanında 12 katlı bir yapının olduğu durumlarda, 12 katlı yapının ivmesi incelenen tüm durumlarda azalmaktadır ve bu değerlerin azalmanın miktarları yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Yapıların arasındaki mesafe 15 m - 25 m arasında olduğunda en büyük ivme değerinde meydana gelen değişim miktarları yapıların birbirlerine yakın ve uzak olduğu durumlara kıyasla daha az miktarlarda olmaktadır: Yapıların arasındaki mesafe 2 m ve 48 m olduğunda en büyük ivme değerlerindeki değişimler sırasıyla %4,9 ve %3,6 oranlarında olurken, yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda ise bu değerlerdeki değişimlerin miktarı %1,1'e kadar azalmaktadır. Şekil 3.32 (a)'da 12 katlı yapıların arasında her iki yatay doğrultuda 2 m olduğunda ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında yapıda meydana gelen ivme değerlerinin zamanla değişimleri verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlar incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda en büyük ivme değerleri %2 oranında artarken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %1,4 oranında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 12 katlı yapının en büyük ivme değeri incelenen tüm durumlarda artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla artış yapıların arasındaki mesafenin 2 m ile 16 m arasında olduğu durumlarda %1,8 civarında olmaktadır.

Tablo 3.20'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı bulunduğu, en büyük Fourier genliği değerindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda meydana gelmektedir. Şekil 3.33 (b)'de aralarında 48 m mesafe bulunan 12 katlı yapıların yan yana olduğu ve zemin üzerinde sadece 12 katlı yapının bulunduğu durumlarında yapıların ivme değerlerine ait Fourier genlikleri verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 ya da 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu ise, en büyük Fourier genliklerinde her iki deprem etkisi için de önemli bir değişim meydana gelmemektedir.

Tablo 3.20 ile Şekil 3.31 (c)'den görüldüğü gibi, 12 katlı bir yapının yanında aynı kat sayısında olan diğer bir yapı bulunduğu, yapıların en büyük yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır: Şekil 3.32 (c)'den görüldüğü gibi, en büyük yerdeğiştirme değerindeki değişim yapıların arasında 48 m olduğunda %7,9 oranında olmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapı bulunduğu, 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri yapıların arasındaki mesafenin 32 m olması durumunda %0,5 civarında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu ise, yapıların arasında 48 m olması durumunda en büyük yerdeğiştirme değeri %0,6 oranında azalmaktadır.



Şekil 3.32 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

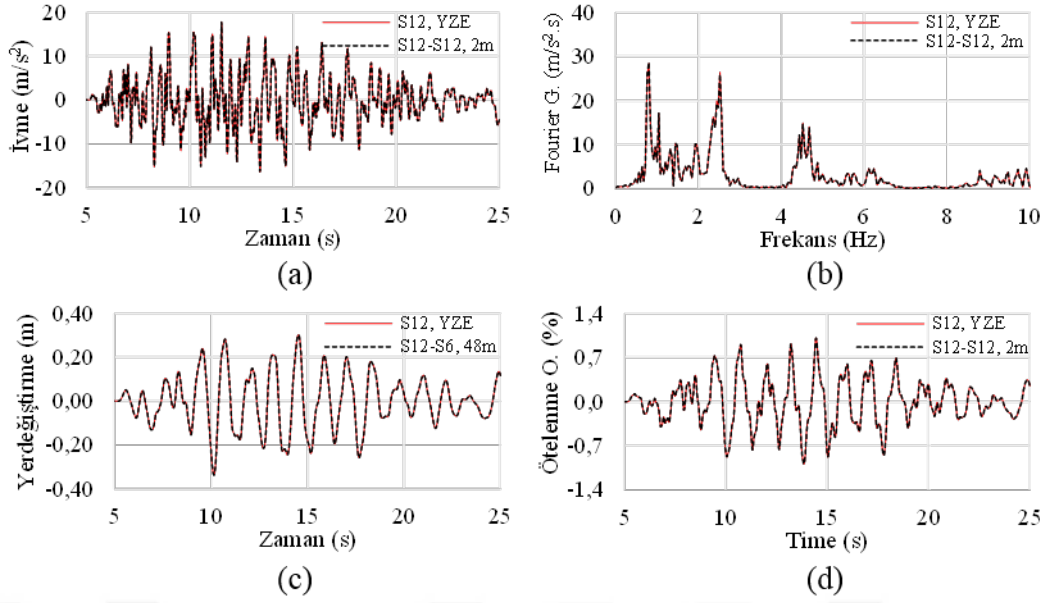
Tablo 3.20 ile Şekil 3.31 (e)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 12 katlı yapıların zemin katlarına ait en büyük ötelenme değerleri incelenen tüm durumlarda %6'dan fazla miktarlarda azalmaktadır. Şekil 3.32 (d)'de tip 1 zemini üzerinde yan yana bulunan 12 katlı yapıların arasında her iki doğrultuda da 32 m olduğunda ve 12 katlı yapının yanında diğer bir yapı olmadığı durumlarda yapıların zemin katlarına ait ötelenme oranlarının zamanla değişimleri verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı olduğunda, yapı tepkilerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı olduğu durumlarda ise yapıların arasında 2 m olduğuna ötelenme değerleri %0,5 artarken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte ötelenme oranlarında oluşan bu değişimlerin miktarı azalmaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapıya ait bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden Tablo 3.21'de, bu tabloda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.31'de ve bu durumlardan bazılarında 12 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin

Tablo 3.21 Tip 2 zemini üzerinde bulunan ve 1 depremi etkisindeki 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	17,91	-	28,50	-	33,65	-	1,02	-
3	2	17,79	-0,62	28,51	0,05	33,66	0,03	1,02	-0,30
3	4	17,82	-0,48	28,52	0,06	33,65	0,00	1,02	-0,34
3	8	17,87	-0,23	28,52	0,06	33,64	-0,03	1,02	-0,36
3	16	17,88	-0,15	28,51	0,05	33,63	-0,06	1,01	-0,38
3	32	17,90	-0,03	28,51	0,04	33,64	-0,03	1,02	-0,34
3	48	18,01	0,56	28,51	0,03	33,67	0,05	1,02	-0,05
6	2	18,16	1,43	28,54	0,15	33,81	0,45	1,02	0,39
6	4	18,16	1,40	28,54	0,14	33,80	0,44	1,02	0,38
6	8	18,14	1,28	28,54	0,12	33,80	0,42	1,02	0,40
6	16	18,11	1,16	28,53	0,09	33,79	0,41	1,02	0,46
6	32	18,11	1,11	28,52	0,06	33,80	0,45	1,02	0,48
6	48	18,06	0,86	28,51	0,05	33,82	0,50	1,02	0,56
12	2	17,80	-0,61	28,69	0,68	33,57	-0,24	1,01	-0,63
12	4	17,83	-0,41	28,67	0,58	33,58	-0,23	1,01	-0,63
12	8	17,89	-0,11	28,63	0,44	33,58	-0,21	1,01	-0,61
12	16	17,90	-0,02	28,58	0,28	33,60	-0,16	1,01	-0,50
12	32	17,86	-0,25	28,54	0,15	33,64	-0,04	1,02	-0,17
12	48	17,87	-0,19	28,53	0,10	33,68	0,07	1,02	0,33



Şekil 3.33 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.33'te verilmektedir.

Tablo 3.21 ile Şekil 3.31 (b)'den görüldüğü gibi, 12 katlı bir yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda yapıların en büyük ivme değerler incelendiğinde, yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük ivme değeri en fazla miktarda azalmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte bu değişimin miktarı azalmaktadır. Şekil 3.33 (a)'dan görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda, en büyük ivme değeri %0,6 civarında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, yapıların arasındaki mesafe 4 m - 40 m arasında olduğunda yapı tepkilerinde önemli miktarda değişim meydana gelmemektedir. Ancak, yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük ivme değeri %0,6 oranında azalırken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %0,6 oranında artmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı olduğunda ise, incelenen tüm durumlar için 12 katlı yapının ivme değeri artmaktadır: En fazla artış yapıların arasındaki mesafenin 2 m ile 8 m arasında olması durumlarında yaklaşık olarak %1,4 oranlarında olmaktadır.

Tablo 3.21'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı olduğunda durumlara ait en büyük Fourier genlikleri incelendiğinde, en fazla değişim yapıların arasında 2 m olduğunda meydana gelmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 ve 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda ise, Fourier genliklerinde her iki

deprem etkisi altında da önemli bir değişiklik olmamaktadır. Şekil 3.33 (b)'de yan yana bulunan 12 katlı yapıların arasında 2 m olduğunda ve zemin üzerinde sadece 12 yapının bulunduğu durumlara ait Fourier genlikleri verilmektedir.

Tablo 3.21 ile Şekil 3.31 (d)'den görüldüğü gibi, 12 katlı bir yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, en büyük yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişiklik görülmemektedir. Benzer şekilde, 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu, 12 katlı yapının davranışında önemli sayılabilecek bir değişim olmamaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı olduğu durumlarda ise, incelenen tüm mesafeleri için en büyük yerdeğiştirme değerleri aynı mertebelerde artmaktadır ve bu değişimlerin miktarı %0,5'tir. Şekil 3.33 (c)'de 12 katlı yapının yanında bulunan 6 katlı bir yapı ile arasında 48 m olduğunda ve zemin üzerinde sadece 12 katlı yapının bulunduğu durumda 12 katlı yapının yerdeğiştirme değerlerinin zamana bağlı değişimleri verilmektedir.

Tablo 3.21 ile Şekil 3.31 (f)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapı bulunduğu durumlarda 12 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerleri incelendiğinde, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte en büyük ötelenme oranı değerlerindeki değişimlerin de azaldığı görülmektedir. Şekil 3.33 (d)'den görüldüğü gibi, en büyük ötelenme oranı değerleri %0,6 oranında azalmaktadır ve bu şekilde yan yana bulunan 12 katlı yapıların arasındaki 2 m olması durumunda ve zemin üzerinde sadece 12 katlı bir yapının olduğu durumlarda 12 katlı yapının zemin kat ötelenme oranı değerleri zamana bağlı olarak verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu, 12 katlı yapının en büyük zemin kat ötelenme oranının değeri %0,4'e ulaşan miktarlarda azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda ise, 12 katlı yapının ötelenme oranı değerleri artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olması durumunda %0,6 oranında olmaktadır.

Yapıların farklı hizalarda bulunduğu durumlar tek doğrultudaki deprem etkisi altında incelendiğinde, yapıların aynı hizada yan yana bulunduğu durumlarda olduğu gibi mesafeye göre genel bir davranış biçimi belirtilememekle birlikte, yapıların tepkilerinde meydana gelen en fazla değişimler yapıların arasındaki mesafenin 10-30 m aralığında olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Bazı durumlarda yapı tepkilerinin arttığı, bazı durumlarda ise azaldığı görülmektedir. İncelenen bu durumlarda, yapı tepkilerinde meydana gelen en fazla değişimlerin miktarlarının yapıların aynı hizada bulunduğu durumlarda görülen değişim miktarlarına göre daha az olmaktadır.

3.2.3 Farklı Hizada Bulunan ve İki Doğrultuda Uygulanan Deprem Etkisindeki Yapılar Arasındaki Etkileşime Ait Bulgular ve İrdelemeler

Bu kısımda, Şekil 2.1 (d)'de verilen iki yapının farklı hizada, birbirine yakın mesafelerde bulunduğu çeşitli durumlarda yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda çalışma kapsamında ele alınan yapıların (3, 6 ve 12 katlı) davranışlarında meydana gelen değişikliklere ait bulgular sunulmaktadır.

3.2.3.1 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapıya ait X ve Y doğrultularındaki bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.22 ve Tablo 3.23'te, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.34'te ve bu durumlardan bazılarında 3 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.35'te verilmektedir.

Tablo 3.22 ve 3.23 ile Şekil 3.34 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapı bulunduğunda, 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye ve doğrultuya bağlı olarak değişmektedir: X doğrultusundaki en büyük yapı ivme değerleri yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğu durumda %1,7 civarında azalırken, mesafenin 4 m ile 32 m arasında olduğu durumlarda ise bu değerlerde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Ancak, bu doğrultuda yapıların arasında 48 m olduğunda, yapının en büyük ivme değeri %2'yi aşan miktarlarda azalmaktadır. Y doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafe 20 m'den az olduğunda 3 katlı yapının ivme değerleri azalırken, mesafenin artmasıyla birlikte ivme değerlerinin değişimleri kısa mesafelere kıyasla daha az miktarlarda olmaktadır: Şekil 3.35 (a)'dan görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük yapı ivme değeri %3,8 oranında azalırken, mesafe 32 m olduğunda ise bu değer %0,8 oranında artmaktadır. Yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda, yapının ivme değerleri %1,1 mertebesinde azalmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu, X doğrultusunda dikkate alınan tüm mesafeler için yapı tepkileri artarken, en fazla artış yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda meydana gelmektedir ve bu durumdaki değişimin miktarı %1,9'dur. Y doğrultusunda ise, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda 3 katlı yapının

Tablo 3.22 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	18,95	-	17,11	-	6,80	-	0,81	-
3	2	18,64	-1,65	17,56	2,62	6,65	-2,25	0,79	-2,28
3	4	18,85	-0,53	17,55	2,60	6,71	-1,39	0,79	-1,44
3	8	19,01	0,30	16,89	-1,26	6,78	-0,36	0,80	-0,39
3	16	18,84	-0,62	17,45	1,97	6,81	0,15	0,81	0,20
3	32	18,88	-0,41	17,11	-0,01	6,77	-0,38	0,80	-0,38
3	48	18,57	-2,03	17,57	2,68	6,65	-2,14	0,79	-2,14
6	2	19,08	0,64	17,23	0,69	6,85	0,74	0,81	0,73
6	4	19,11	0,80	17,29	1,08	6,85	0,78	0,81	0,77
6	8	19,23	1,44	17,31	1,18	6,87	1,03	0,81	1,00
6	16	19,32	1,94	17,34	1,33	6,89	1,34	0,82	1,29
6	32	19,15	1,05	17,30	1,12	6,87	1,04	0,81	1,03
6	48	18,96	0,05	17,46	2,06	6,81	0,14	0,81	0,13
12	2	18,42	-2,80	17,38	1,56	6,50	-4,36	0,77	-4,43
12	4	18,59	-1,95	17,13	0,13	6,57	-3,43	0,78	-3,51
12	8	18,92	-0,19	16,87	-1,39	6,69	-1,66	0,79	-1,75
12	16	19,28	1,72	17,16	0,27	6,83	0,40	0,81	0,33
12	32	18,83	-0,64	16,81	-1,76	6,68	-1,79	0,79	-1,85
12	48	18,56	-2,06	17,39	1,62	6,60	-2,96	0,78	-3,01

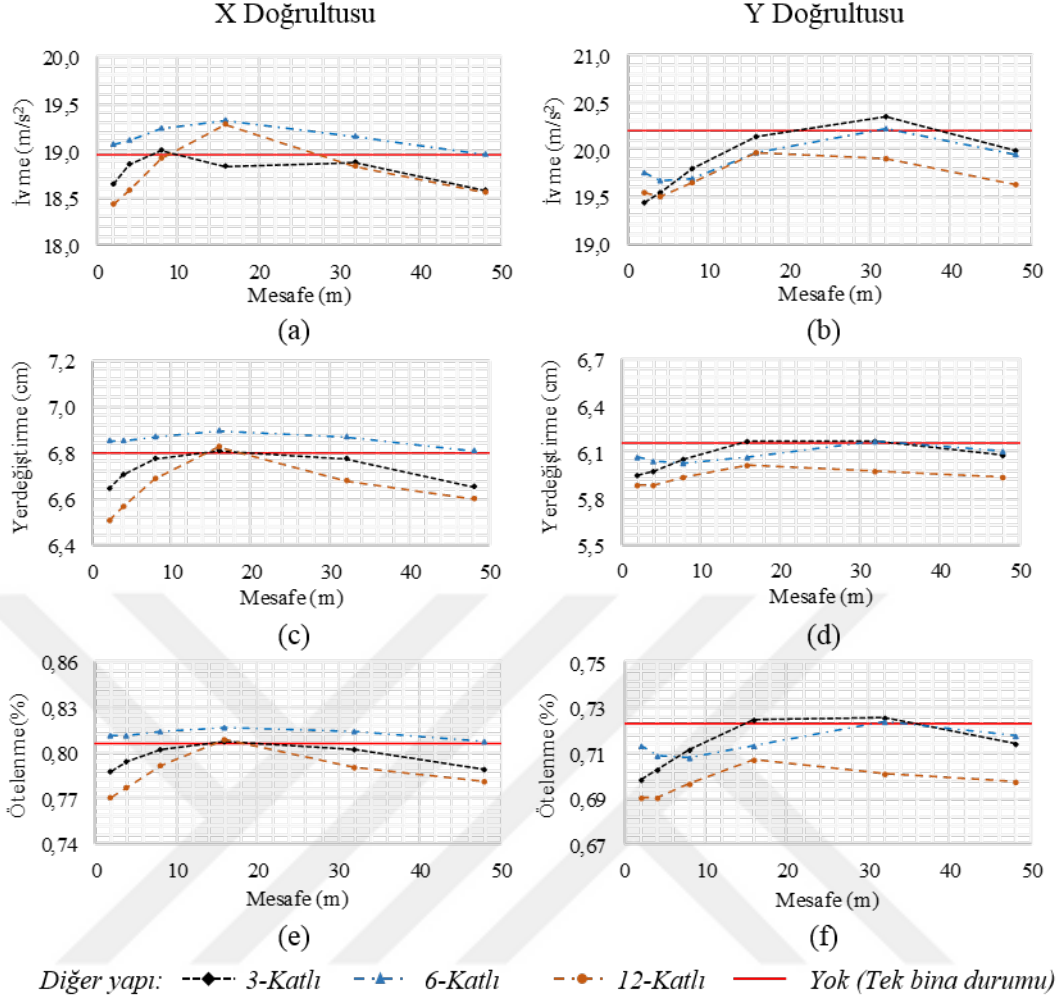
Tablo 3.23 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	20,20	-	22,51	-	6,15	-	0,72	-
3	2	19,44	-3,75	23,04	2,38	5,95	-3,37	0,70	-3,36
3	4	19,54	-3,24	23,00	2,22	5,98	-2,83	0,70	-2,82
3	8	19,79	-2,02	22,22	-1,25	6,06	-1,55	0,71	-1,54
3	16	20,15	-0,24	20,92	-7,04	6,17	0,26	0,72	0,28
3	32	20,35	0,78	23,15	2,84	6,18	0,39	0,73	0,35
3	48	19,98	-1,08	22,89	1,71	6,08	-1,18	0,71	-1,19
6	2	19,77	-2,13	22,75	1,09	6,07	-1,32	0,71	-1,28
6	4	19,66	-2,64	22,95	1,97	6,03	-1,92	0,71	-1,89
6	8	19,69	-2,49	23,15	2,84	6,02	-2,09	0,71	-2,09
6	16	19,96	-1,16	22,60	0,41	6,07	-1,31	0,71	-1,33
6	32	20,23	0,15	22,54	0,15	6,16	0,19	0,72	0,17
6	48	19,94	-1,26	23,02	2,27	6,11	-0,71	0,72	-0,70
12	2	19,53	-3,28	22,80	1,29	5,88	-4,40	0,69	-4,45
12	4	19,51	-3,40	23,01	2,24	5,88	-4,36	0,69	-4,41
12	8	19,65	-2,70	23,22	3,17	5,93	-3,55	0,70	-3,61
12	16	19,97	-1,14	22,61	0,46	6,02	-2,15	0,71	-2,20
12	32	19,91	-1,40	22,54	0,17	5,97	-2,90	0,70	-3,00
12	48	19,62	-2,83	23,03	2,31	5,94	-3,47	0,70	-3,54

en büyük ivme değerleri %2,6'ya ulaşan miktarlarda azalırken, orta mesafelerde ise bu değişim miktarının azalmakta, hatta bazı durumlarda az miktarda da olsa ivme değerlerinin artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı yapı bulunduğu durumlarda X doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafe 10 m ile 30 m arasında olduğunda, 3 katlı yapının en büyük ivme değerlerinin artarken, bu aralık dışındaki diğer mesafelerde ise azalmaktadır: X doğrultusunda 3 katlı yapının en büyük ivme değerindeki değişimler yapıların arasındaki mesafenin 2 m ve 48 m olduğu durumlarda sırasıyla %2,8 ve %2,1 azalırken, yapıların arasında 16 m olduğunda ise ivme değeri %1,7 oranında azalmaktadır. Aynı durumların Y doğrultusundaki sonuçları irdelendiğinde, X yönündeki sonuçlara benzer değişimler olmaktadır: Yapıların arasında 4 m ve 48 m olduğu durumlarda, en büyük ivme değerlerindeki değişimler sırasıyla %3,4 ve %2,8 oranlarında olurken, mesafenin 16 m olması durumunda ise azalma miktarı %1,1 olmaktadır.

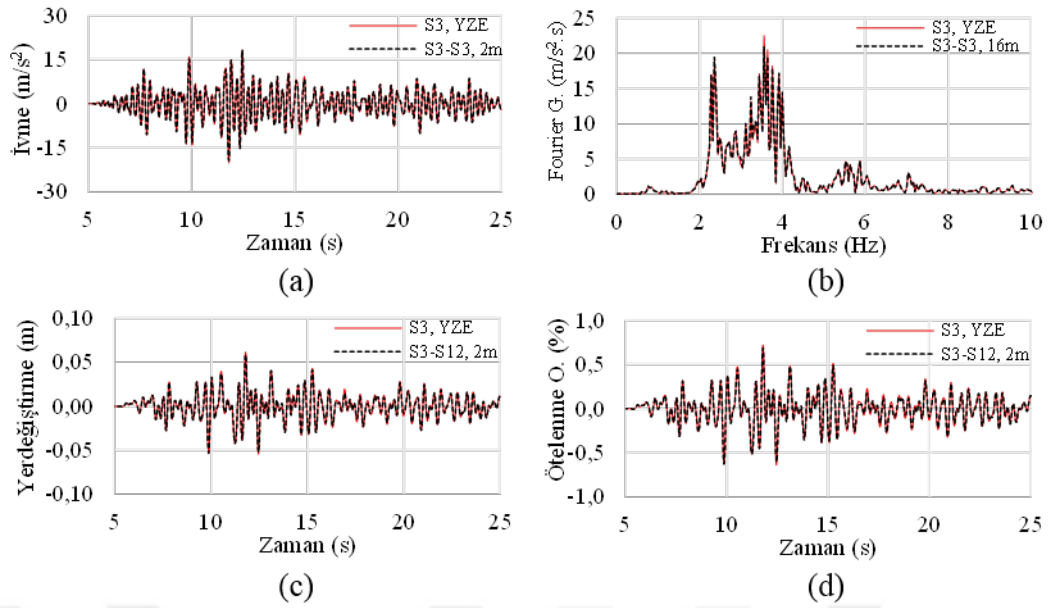
Tablo 3.22 ve 3.23'ten görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapı bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda en büyük Fourier genliklerindeki en fazla değişimler yapıların arasında 2 m, 4 m ve 48 m olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Y doğrultusunda ise, mesafenin 16 m olması durumunda meydana gelmektedir. Şekil 3.35 (b)'de yan yana bulunan yapıların arasındaki mesafenin 16 m olması durumunda ve zemin üzerinde tek bir yapı olması durumunda elde edilen Fourier genlikleri verilmektedir. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda Fourier genliklerindeki en fazla değişimin yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğu görülürken, Y doğrultusunda ise mesafenin 8 m olduğunda görülmektedir. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumda ise, X doğrultusunda Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasında 32 m olduğu durumda meydana gelirken, Y doğrultusundaki en fazla değişim ise yapıların arasında 2 m olduğu durumda olmaktadır.

Tablo 3.22 ve 3.23 ile Şekil 3.34 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerindeki değişimler iki doğrultu için de benzer şekillerde olmaktadır: X doğrultusunda, yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğu durumlarda en büyük yerdeğiştirme değerleri sırasıyla %2,3 ve %2,2 oranlarında azalırken, mesafe 16 m olduğunda ise yerdeğiştirme değeri önemsiz miktarlarda artmaktadır. Aynı durumun Y doğrultusundaki en büyük yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde, X doğrultusunda görülen duruma benzer bir biçimde değişimler olmaktadır: 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğu durumlarda sırasıyla %3,4 ve %1,2 oranlarında azalmaktadır. Ancak, yapıların arasında 32 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri %0,4 civarında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumda, 3 katlı



Şekil 3.34 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinde oluşan değişimler yapıların arasındaki mesafeye ve incelenen doğrultuya bağlı olarak değişmektedir. X doğrultusunda, incelenen tüm durumlarda yerdeğiştirme değerleri artmaktadır: Bu doğrultudaki en fazla artış yapıların arasında 16 m olduğunda %1,3 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise, incelenen durumların çoğunda en büyük yerdeğiştirme değerleri azalmaktadır: Bu durumlardaki en fazla azalma yapıların arasındaki mesafenin 8 m olması durumunda %2,1 oranında olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda yapıların arasındaki mesafeler 2 m ve 48 m olduğu durumlarda 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerleri sırasıyla %4,4 ve %3 oranlarında azalırken, mesafenin 16 m olması durumunda ise bu değer %0,4 oranında artmaktadır. Y doğrultusunda, Şekil 3.35 (c)'den görüldüğü gibi 3 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri yapıların arasında 2 m olduğunda %4,4



Şekil 3.35 Tip 1 zemin üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

oranında azalmaktadır. Diğer mesafelerdeki azalmanın miktarları çoğu durum için %3'ten fazla olmaktadır.

Tablo 3.22 ve 3.23 ile Şekil 3.34 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 3 katlı bir yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda yapıların arasında 16 m olduğunda 3 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerleri önemsiz miktarlarda değişirken, yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğunda ise ötelenme oranları sırasıyla %2,3 ve %2,1 oranlarında azalmaktadır. Y doğrultusunda, X doğrultusuna benzer şekilde bir değişiklik olmaktadır: Yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğunda ötelenme değerlerindeki azalmalar sırasıyla %3,4 ve %1,2 oranlarında olurken, yapıların arasındaki mesafenin 15 m ile 35 m arasındaki durumlarda ise ötelenme değerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu, X doğrultusunda ötelenme değerlerindeki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafe 16 m olduğunda %1,3 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise, en büyük ötelenme oranı değerleri incelenen durumların çoğunda azalmaktadır ve yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Bu durumdaki en fazla azalma yapıların arasında 8 m olduğunda %2,1 oranında meydana gelmektedir. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu, X doğrultusunda 3 katlı yapının zemin kat ötelenme değerindeki en fazla değişimler yapıların birbirine yakın ve uzak olduğu durumlarda meydana gelmektedir: Yapıların arasında 2 m ve 48 m olduğu durumlarda 3 katlı

yapının en büyük zemin kat ötelenme değerleri sırasıyla %4,4 ve %3 miktarında azalırken, mesafenin 16 m olması durumunda ise en büyük ötelenme değeri %0,3 oranında artmaktadır. Y doğrultusunda, 3 katlı yapının ötelenme değerleri incelenen tüm mesafeler için azalmaktadır ve en fazla azalma yapıların arasında 2 m bulunduğu durumda %4,5 oranında olmaktadır. Şekil 3.35 (d)'de yan yana bulunan 3 ve 12 katlı yapılar arasında 2 m olduğu durumda ve zemin üzerinde sadece 3 katlı bir yapı bulunması durumunda, 3 katlı yapının zemin katına ait ötelenme oranı değerleri verilmektedir.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 3 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapıya ait X ve Y doğrultularındaki bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.24 ve Tablo 3.25'te, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.36'da ve bu durumlardan bazılarında 3 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.37'de verilmektedir.

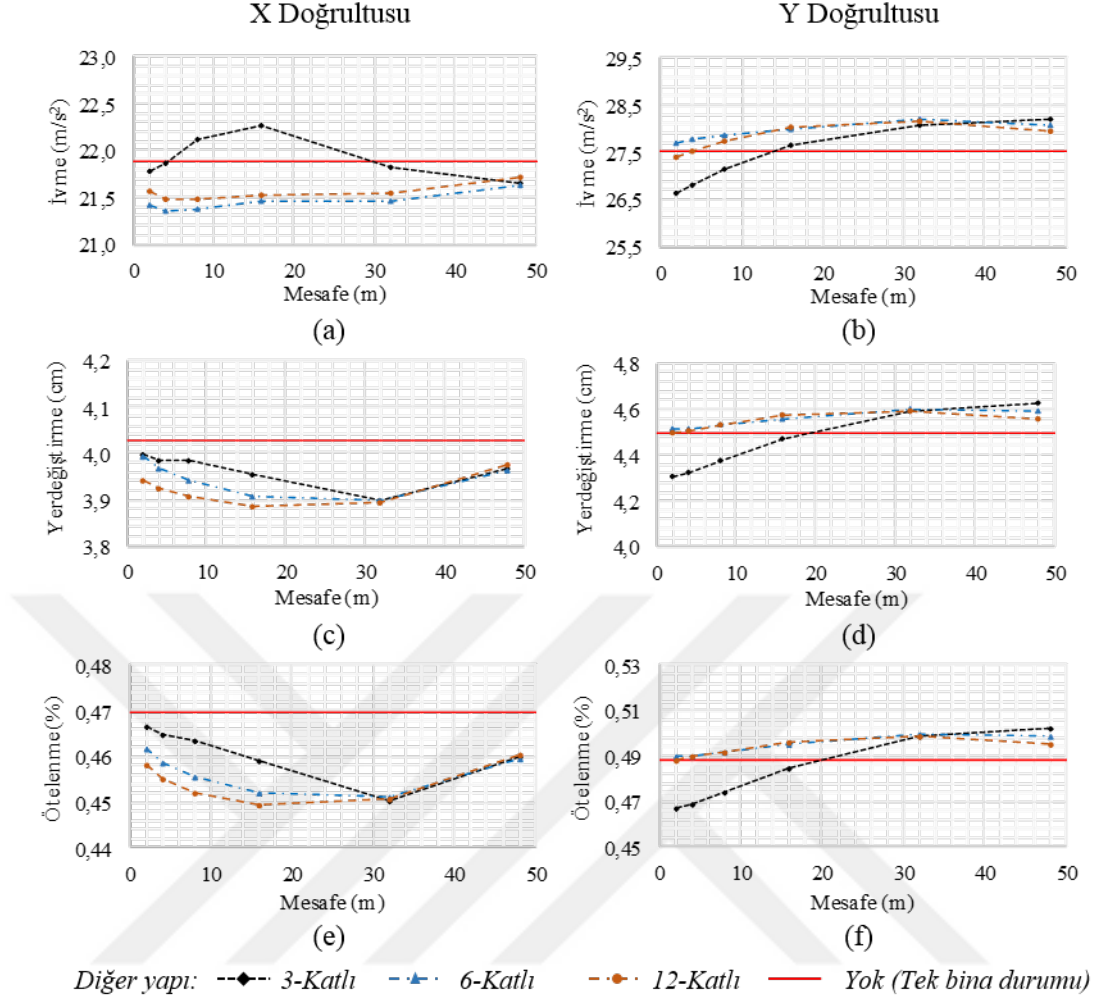
Tablo 3.24 ve 3.25 ile Şekil 3.36 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanındaki aynı özellikte diğer bir 3 katlı yapının bulunduğu, 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye ve deprem yönüne bağlı olarak değişmektedir. X doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafenin 5 m ile 29 m arasında olduğu durumlarda, 3 katlı yapıların ivme değerleri artarken, incelenen diğer aralıklarda ise azalmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasında 16 m olduğunda %1,7 oranında artmaktadır. Y doğrultusunda yapılar birbirine yakın olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değerleri azalırken, mesafenin 14 m'den çok olduğu durumlarda ise artmaktadır: Şekil 3.37 (a)'dan görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda, 3 katlı yapının ivme değeri %3,3 oranında azalmaktadır. Ancak, yapılar arasındaki mesafe 48 m olduğunda ise en büyük ivme değeri %2,5 oranında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu durumlar incelendiğinde, X doğrultusunda 3 katlı yapının en büyük yapı ivmeleri inceleme tüm durumlar için azalmaktadır: Bu durumlardaki en fazla azalma yapıların arasında 4 m olduğunda %2,5 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise, tüm durumlarda ivme değerleri artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla artış yapıların arasında 32 m olduğunda %2,4 oranında meydana gelmektedir. 3 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğu, yapı ivmelerindeki değişimler her iki doğrultu için de komşu

Tablo 3.24 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	21,89	-	25,03	-	4,03	-	0,47	-
3	2	21,78	-0,49	24,58	-1,80	4,00	-0,73	0,47	-0,67
3	4	21,87	-0,07	24,57	-1,82	3,98	-1,07	0,46	-1,08
3	8	22,11	1,01	24,76	-1,06	3,98	-1,09	0,46	-1,37
3	16	22,26	1,70	24,71	-1,27	3,96	-1,77	0,46	-2,25
3	32	21,81	-0,33	23,34	-6,76	3,90	-3,17	0,45	-4,09
3	48	21,64	-1,12	22,55	-9,90	3,97	-1,48	0,46	-2,10
6	2	21,41	-2,18	23,99	-4,14	3,99	-0,79	0,46	-1,65
6	4	21,34	-2,48	23,52	-6,01	3,97	-1,46	0,46	-2,32
6	8	21,38	-2,32	23,11	-7,67	3,94	-2,12	0,46	-3,01
6	16	21,46	-1,95	22,78	-8,99	3,91	-2,96	0,45	-3,77
6	32	21,46	-1,94	23,34	-6,74	3,90	-3,17	0,45	-3,94
6	48	21,64	-1,14	24,05	-3,89	3,96	-1,54	0,46	-2,15
12	2	21,57	-1,44	23,95	-4,30	3,94	-2,08	0,46	-2,40
12	4	21,47	-1,89	23,48	-6,18	3,92	-2,58	0,46	-3,12
12	8	21,47	-1,89	23,07	-7,84	3,91	-2,99	0,45	-3,80
12	16	21,53	-1,63	22,75	-9,10	3,89	-3,47	0,45	-4,31
12	32	21,54	-1,58	23,34	-6,73	3,89	-3,29	0,45	-4,05
12	48	21,72	-0,78	24,05	-3,91	3,97	-1,30	0,46	-1,95

Tablo 3.25 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular

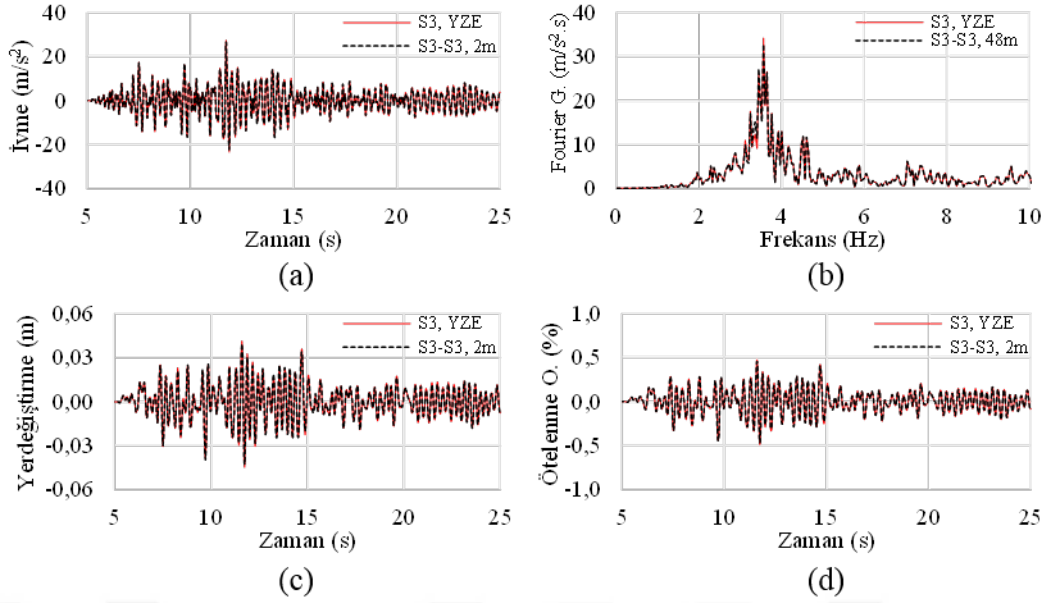
Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	27,52	-	34,19	-	4,50	-	0,49	-
3	2	26,62	-3,26	33,83	-1,05	4,30	-4,32	0,47	-4,44
3	4	26,81	-2,58	34,02	-0,50	4,33	-3,77	0,47	-3,98
3	8	27,14	-1,38	34,42	0,67	4,37	-2,72	0,47	-2,95
3	16	27,64	0,46	34,62	1,27	4,47	-0,63	0,48	-0,87
3	32	28,09	2,07	33,36	-2,43	4,59	2,09	0,50	2,04
3	48	28,21	2,51	32,83	-3,99	4,62	2,83	0,50	2,87
6	2	27,71	0,70	33,48	-2,07	4,51	0,31	0,49	0,20
6	4	27,77	0,94	33,18	-2,96	4,52	0,45	0,49	0,33
6	8	27,88	1,31	32,94	-3,64	4,53	0,73	0,49	0,57
6	16	28,01	1,78	32,86	-3,89	4,56	1,43	0,49	1,30
6	32	28,18	2,41	33,27	-2,68	4,60	2,38	0,50	2,33
6	48	28,08	2,03	33,49	-2,04	4,59	2,12	0,50	2,08
12	2	27,41	-0,38	33,45	-2,16	4,49	-0,03	0,49	-0,05
12	4	27,51	-0,01	33,15	-3,05	4,51	0,20	0,49	0,18
12	8	27,72	0,73	32,92	-3,72	4,53	0,67	0,49	0,62
12	16	28,05	1,92	32,84	-3,94	4,57	1,67	0,50	1,57
12	32	28,15	2,32	33,27	-2,69	4,59	2,16	0,50	2,08
12	48	27,93	1,50	33,48	-2,08	4,56	1,36	0,49	1,28



Şekil 3.36 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

yapının 6 katlı olduğu durumlara benzer şekillerde olmaktadır: X doğrultusunda, yapıların arasında 4 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,9 oranında azalırken, Y doğrultusunda ise yapıların arasındaki mesafe 32 m olduğunda 3 katlı yapının en büyük ivme değeri %2,3 oranında artmaktadır.

Tablo 3.24 ve 3.25'ten görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapının bulunduğu durumlarda, her iki doğrultu için de Fourier genliklerindeki en büyük değişim yapıların arasındaki mesafenin 48 m olduğu durumda meydana gelmektedir. Şekil 3.37 (b)'de yan yana bulunan ve aralarında 48 m bulunan ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında 3 katlı yapıların ivme değerlerine ait Fourier genlikleri verilmektedir. 3 katlı yapının yanında 6 ya da 12 katlı diğer bir yapı bulunduğu ise, yapıların arasında 16 m olduğunda Fourier genliklerindeki en fazla değişim meydana gelmektedir.



Şekil 3.37 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 3 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

Tablo 3.24 ve 3.25 ile Şekil 3.36 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda tüm durumlar için en büyük yer değiştirme değerleri azalmaktadır: En fazla azalma yapıların arasında 32 m olduğunda en büyük yer değiştirme değeri %3,2 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise, yapıların arasındaki mesafenin 18 m'den az olduğu durumlarda yer değiştirme değerleri azalırken, mesafelerin daha fazla olduğu durumlarda ise artmaktadır: Şekil 3.37 (c)'den görüldüğü gibi, yapıların arasında 2 m olduğu durumda, 3 katlı yapının en büyük yer değiştirme değeri %3,3 oranında azalmaktadır. Ancak, bu yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda ise en büyük yer değiştirme değerindeki azalma %2,5 oranında olmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda en büyük yer değiştirme değerleri incelenen tüm durumlar için azalırken, Y doğrutusunda ise artmaktadır: X doğrultusunda, 3 katlı yapının en büyük yer değiştirme değerindeki değişim yapıların arasında 32 m olduğunda meydana gelmekte olup bu azalmanın miktarı %3,2'dir. Y doğrultusunda ise, yapıların arasında 32 m olduğunda yapının en büyük ivme değeri %2,4 oranında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu, en büyük ivme değerlerindeki en fazla azalma yapıların arasında 16 m olması durumunda %3,5 oranındadır. Y doğrultusunda ise, yapıların arasındaki mesafenin 32 m olması durumunda en büyük yer değiştirme değerinin en fazla oranda artmaktadır ve bu değişimin miktarı %2,2'dir.

Tablo 3.24 ve 3.25 ile Şekil 3.36 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapının bulunduğu durumlarda, 3 katlı yapıların zemin katlarına ait en büyük ötelenme oranları yapıların arasındaki mesafeye ve doğrultuya bağlı olarak değişmektedir: X doğrultusunda en büyük değişim yapıların arasında 32 m olduğunda %4,1 oranında meydana gelmektedir. Y doğrultusunda, Şekil 3.37 (d)'den görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda ötelenme değeri %4,4 civarında azalmaktadır, ancak mesafenin 48 m olması durumunda ise %2,9 oranında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu, X doğrultusunda yapıların arasında 32 m olması durumunda en büyük ötelenme oranı değeri %3,9 oranında azalırken, Y doğrultusunda yapıların arasında aynı mesafe olduğunda ötelenme değerleri %2,3 oranında artmaktadır. 3 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda yapıların arasında 16 m olduğunda, 3 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değeri %4,3 azalırken, Y doğrultusunda mesafenin 32 m olması durumunda %2,1 oranında artmaktadır.

3.2.3.2 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapıya ait X ve Y doğrultularındaki bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.26 ve Tablo 3.27'de, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.38'de ve bu durumlardan bazılarında 6 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.39'da verilmektedir.

Tablo 3.26 ve 3.27 ile Şekil 3.38 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 6 katlı bir yapının yanında farklı hizada diğer bir 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda X doğrultusundaki en büyük ivme sonuçları incelendiğinde, yapıların arasında 48 m olması durumunda, 6 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,9 oranında azalmaktadır. Y doğrultusunda ise, yapıların arasında 8 m olduğunda, 6 katlı yapının en büyük ivme değeri %2 oranında artmaktadır ve mesafenin 32 m olması durumunda ise en büyük ivme değeri %0,9 civarında azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı olduğunda, 6 katlı yapının ivme değerleri yapıların arasındaki mesafeye ve doğrultuya bağlı olarak değişmektedir: X doğrultusunda, 6 katlı yapının en büyük ivme değeri yapıların arasında 2 m ve 48 m olması durumlarında sırasıyla %1,4 ve

Tablo 3.26 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	17,88	-	34,92	-	11,71	-	0,72	-
3	2	17,63	-1,40	34,26	-1,88	11,70	-0,12	0,71	-0,79
3	4	17,78	-0,55	34,17	-2,14	11,65	-0,53	0,71	-0,97
3	8	18,02	0,77	34,36	-1,59	11,64	-0,63	0,71	-1,26
3	16	18,05	0,96	35,10	0,52	11,71	-0,06	0,71	-1,58
3	32	17,79	-0,51	34,59	-0,94	11,77	0,53	0,70	-2,89
3	48	17,56	-1,83	33,25	-4,79	11,64	-0,66	0,70	-2,89
6	2	17,83	-0,27	34,77	-0,44	11,72	0,04	0,72	0,35
6	4	17,88	-0,02	34,88	-0,13	11,71	-0,05	0,72	0,23
6	8	17,91	0,13	34,97	0,13	11,70	-0,07	0,72	0,12
6	16	17,97	0,50	34,84	-0,23	11,67	-0,40	0,72	-0,24
6	32	18,00	0,66	34,84	-0,22	11,69	-0,21	0,71	-0,84
6	48	18,22	1,87	35,66	2,12	11,72	0,05	0,71	-0,64
12	2	17,04	-4,69	33,68	-3,56	11,68	-0,32	0,69	-3,88
12	4	17,08	-4,48	33,72	-3,43	11,66	-0,43	0,69	-4,22
12	8	17,60	-1,60	34,15	-2,20	11,72	0,07	0,69	-4,15
12	16	18,16	1,57	35,12	0,59	11,87	1,31	0,69	-3,96
12	32	17,59	-1,61	34,06	-2,45	11,68	-0,26	0,67	-6,23
12	48	17,46	-2,35	32,36	-7,34	11,47	-2,07	0,68	-6,03

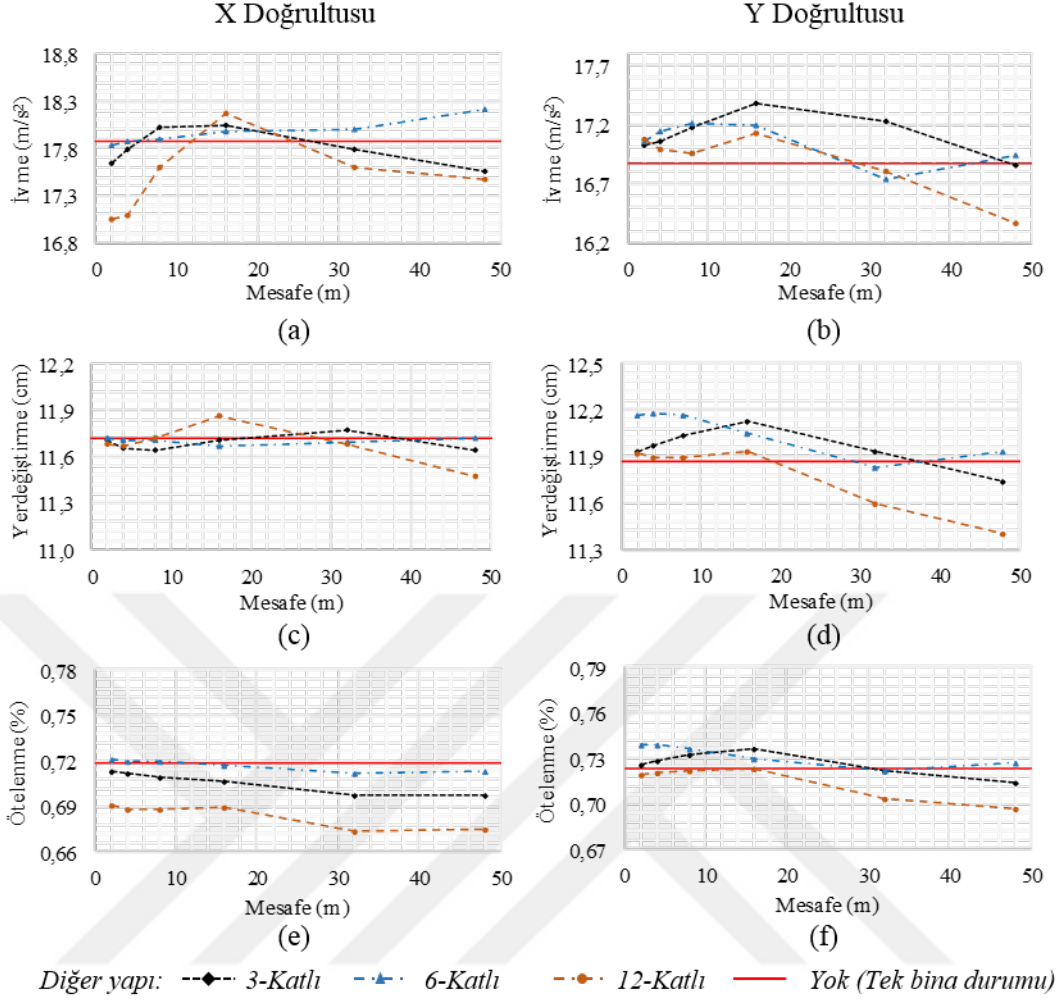
Tablo 3.27 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	16,88	-	39,93	-	11,87	-	0,72	-
3	2	17,03	0,90	40,97	2,61	11,94	0,57	0,73	0,39
3	4	17,05	1,04	40,87	2,37	11,97	0,81	0,73	0,72
3	8	17,18	1,80	41,11	2,96	12,04	1,42	0,73	1,33
3	16	17,38	3,01	41,75	4,57	12,12	2,14	0,74	1,79
3	32	17,23	2,10	41,21	3,21	11,93	0,50	0,72	-0,09
3	48	16,86	-0,09	40,00	0,19	11,73	-1,14	0,71	-1,20
6	2	17,06	1,08	39,65	-0,69	12,16	2,45	0,74	2,25
6	4	17,14	1,55	39,88	-0,13	12,17	2,57	0,74	2,24
6	8	17,21	2,00	40,09	0,42	12,16	2,45	0,74	1,87
6	16	17,20	1,92	40,15	0,56	12,04	1,45	0,73	0,98
6	32	16,74	-0,81	40,00	0,18	11,83	-0,31	0,72	-0,17
6	48	16,93	0,35	40,27	0,86	11,93	0,53	0,73	0,60
12	2	17,07	1,15	40,69	1,91	11,91	0,35	0,72	-0,54
12	4	16,99	0,67	40,75	2,05	11,89	0,14	0,72	-0,45
12	8	16,96	0,48	41,14	3,04	11,89	0,19	0,72	-0,16
12	16	17,14	1,54	42,04	5,29	11,94	0,55	0,72	-0,04
12	32	16,81	-0,41	41,15	3,05	11,60	-2,32	0,70	-2,80
12	48	16,35	-3,09	39,64	-0,72	11,40	-4,00	0,70	-3,70

%1,8 oranlarında azalırken, mesafe 16 m olduğunda ise en büyük ivme değeri %1 oranında artmaktadır. Y doğrultusundaki, 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri incelenen tüm durumlarda artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla değişim yapıların arasındaki mesafe 16 m olduğunda Şekil 3.39 (a)'den görüldüğü gibi, %3 oranında olmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu, 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri bazı durumlarda artarken bazı durumlarda ise azalmaktadır. X doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafenin 12 m'den az ve 25 m'den fazla olduğu durumlarda 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri azalırken, bu aralık dışındaki mesafelerde ise artmaktadır: Yapıların arasında 2 m olduğunda ivme değerindeki azalmanın miktarı %4,5 olurken, mesafenin 16 m olması durumunda ise %1,6 oranında artmaktadır. Y doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafe 28 m'den az olduğunda 6 katlı yapının en büyük ivme değerleri artarken, daha fazla mesafelerde ise azalmaktadır. Bu durumlardaki en fazla artış, yapıların arasındaki mesafe 16 m olduğunda %1,5 oranında, en fazla azalma ise mesafenin 48 m olduğu durumda %3,1 oranındadır.

Tablo 3.26 ve 3.27'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapı bulunduğu, Fourier genliklerindeki en fazla değişimin her iki doğrultu için de yapıların arasındaki mesafe 48 m olduğunda meydana gelmektedir. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda Fourier genliğinde oluşan en büyük değişim yapıların arasında 48 m olması durumunda, Y doğrultusunda ise yapıların arasında 16 m olması durumunda meydana gelmektedir. Şekil 3.39 (b)'de 6 katlı yapının yanındaki 3 katlı yapı ile arasındaki mesafenin 16 m olduğu ve zemin üzerinde sadece 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda elde edilen Fourier genlikleri verilmektedir. 6 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapı bulunması durumlarda, X doğrultusunda Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olduğunda, Y doğrultusunda ise 16 m olduğunda meydana gelmektedir.

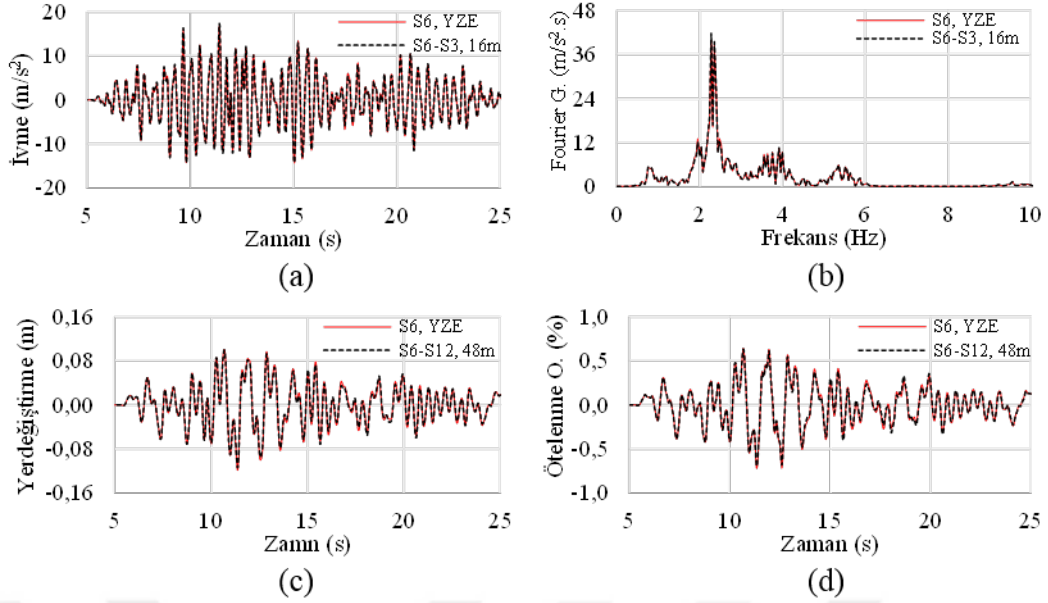
Tablo 3.26 ve 3.27 ile Şekil 3.38 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda yapıların en büyük yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde, X doğrultusunda önemli miktarlarda değişimler olmazken, Y doğrultusunda yapıların arasında 4 m olması durumunda %2,6 artış olmaktadır ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte değişimin büyüklüğü azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı diğer bir yapı bulunduğu, X doğrultusundaki en büyük yerdeğiştirme değerlerinin yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir: Yapıların arasında 16 m olduğunda 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri %0,6 oranında artarken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %0,7 oranında azalmaktadır. Y doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafenin 35 m'den az olduğu durumlarda, yerdeğiştirme değerleri artarken, mesafenin daha



Şekil 3.38 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

fazla olduğu durumlarda ise bu değerler azalmaktadır: Yapıların arasında 16 m olduğunda 6 katlı yapının en büyük yer değiştirme değeri %2,1 oranında artarken, mesafe 48 m olduğunda ise %1,1 oranında azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının olduğu durumlarda, X doğrultusunda yapıların arasında 16 m olması durumunda en büyük yer değiştirme değeri %1,3 oranında artarken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %2,1 oranında azalmaktadır. Y doğrultusunda yapıların arasındaki mesafe 20 m'den az olduğunda, 6 katlı yapının en büyük yer değiştirme değerleri önemli miktarlarda değişmezken, Şekil 3.39 (c)'den görüldüğü gibi mesafe 48 m olduğunda ise %4 oranında azalmaktadır.

Tablo 3.26 ve 3.27 ile Şekil 3.38 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda yapıların zemin katlarına ait en büyük ötelenme oranı değerleri incelendiğinde, X doğrultusunda yapıların



Şekil 3.39 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

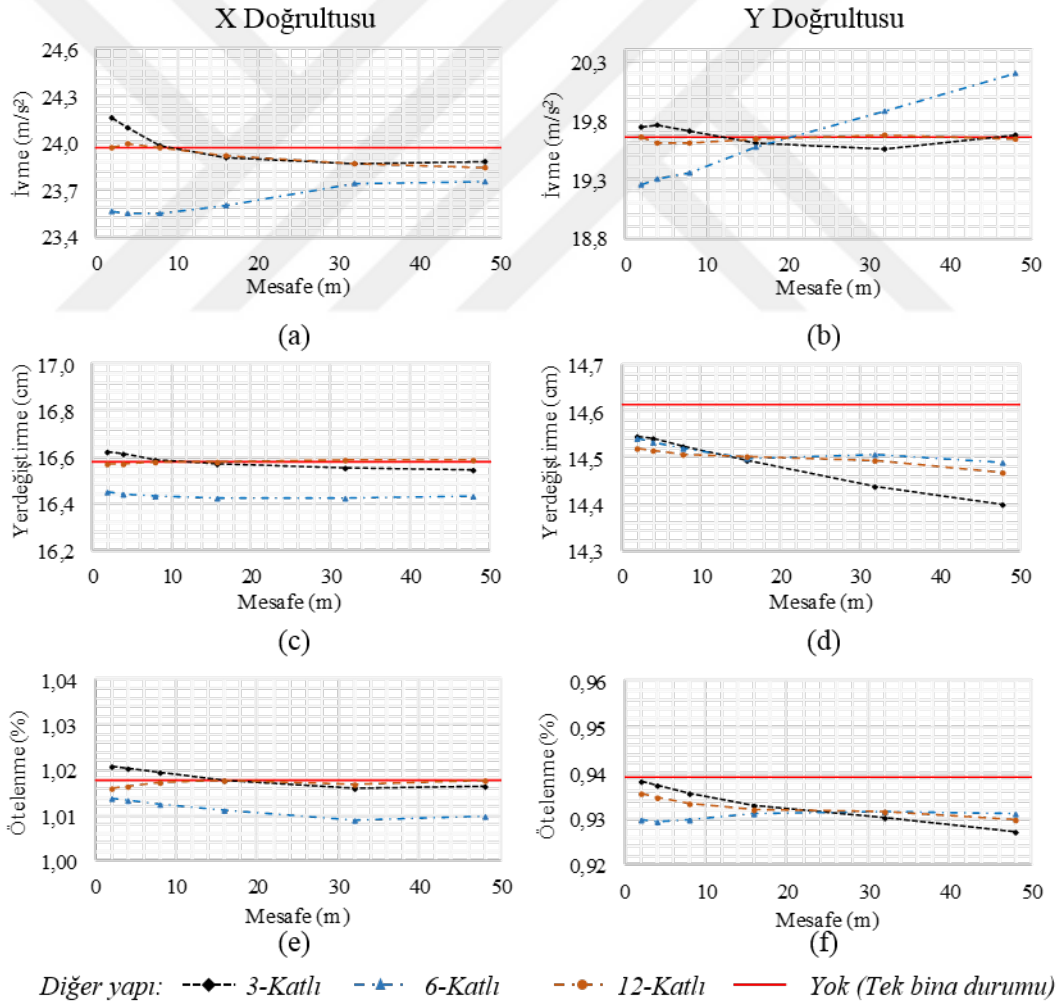
arasındaki mesafe 2 m olduğunda ötelenme değeri %0,5 artarken, mesafenin 32 m olması durumunda ise %0,8 oranında azalmaktadır. Y doğrultusunda ise, yapıların birbirlerine yakın olduğu durumlarda ötelenme değerlerinin artarken ve yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte değişim miktarlarının azalmaktadır: En fazla değişim yapıların arasında 2 m bulunduğu %2,3 oranında meydana gelmektedir. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda, X doğrultusundaki incelenen tüm mesafeler için 6 katlı yapının zemin katına ait ötelenme oranı değerlerinin azalmaktadır. Bu durumdaki en fazla azalma, yapıların arasında 32 m olduğu durumda meydana gelmiş olup miktarı %2,9'dur. Y doğrultusunda ise, yapıların arasındaki mesafe 16 m olduğunda 6 katlı yapının zemin katına ait ötelenme oranı %1,8 artarken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %1,2 oranında azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu, X doğrultusunda 6 katlı yapının en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri azalmaktadır ve bu durumdaki en fazla azalma yapıların arasında 32 m olması durumunda %6,2 oranında olmaktadır. Y doğrultusundaki ise, Şekil 3.39 (d)'den görüldüğü gibi, yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması durumunda, 6 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme değeri %3,7 oranında azalmaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 6 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapıya ait X ve Y doğrultularındaki bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB)

ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.28 ve 3.29'da, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.40'da ve bu durumlardan bazılarında 6 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.41'de verilmektedir.

Tablo 3.28 ve 3.29 ile Şekil 3.40 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda yapıların en büyük ivme değerleri, X doğrultusunda azalmaktadır: En fazla azalmanın yapıların arasında 8 m olduğunda %1,8 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise, mesafenin 21 m'den az olduğunda



Şekil 3.40 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

Tablo 3.28 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	23,97	-	26,83	-	16,58	-	1,02	-
3	2	24,16	0,78	26,89	0,24	16,63	0,28	1,02	0,27
3	4	24,09	0,49	26,85	0,08	16,61	0,20	1,02	0,22
3	8	23,98	0,02	26,79	-0,14	16,59	0,08	1,02	0,14
3	16	23,91	-0,28	26,72	-0,41	16,57	-0,06	1,02	-0,01
3	32	23,87	-0,43	26,62	-0,78	16,56	-0,14	1,02	-0,21
3	48	23,87	-0,42	26,55	-1,04	16,55	-0,20	1,02	-0,16
6	2	23,56	-1,74	26,05	-2,91	16,45	-0,78	1,01	-0,43
6	4	23,55	-1,79	26,11	-2,67	16,44	-0,83	1,01	-0,46
6	8	23,54	-1,80	26,22	-2,27	16,43	-0,89	1,01	-0,52
6	16	23,60	-1,58	26,37	-1,70	16,42	-0,94	1,01	-0,69
6	32	23,74	-0,97	26,69	-0,53	16,42	-0,94	1,01	-0,87
6	48	23,75	-0,92	26,89	0,24	16,43	-0,90	1,01	-0,82
12	2	23,97	0,00	26,88	0,20	16,57	-0,05	1,02	-0,20
12	4	23,99	0,06	26,85	0,07	16,57	-0,03	1,02	-0,15
12	8	23,97	0,00	26,81	-0,06	16,58	-0,02	1,02	-0,07
12	16	23,92	-0,23	26,77	-0,23	16,58	0,01	1,02	-0,03
12	32	23,87	-0,43	26,70	-0,49	16,59	0,07	1,02	-0,09
12	48	23,83	-0,58	26,64	-0,69	16,59	0,04	1,02	-0,02

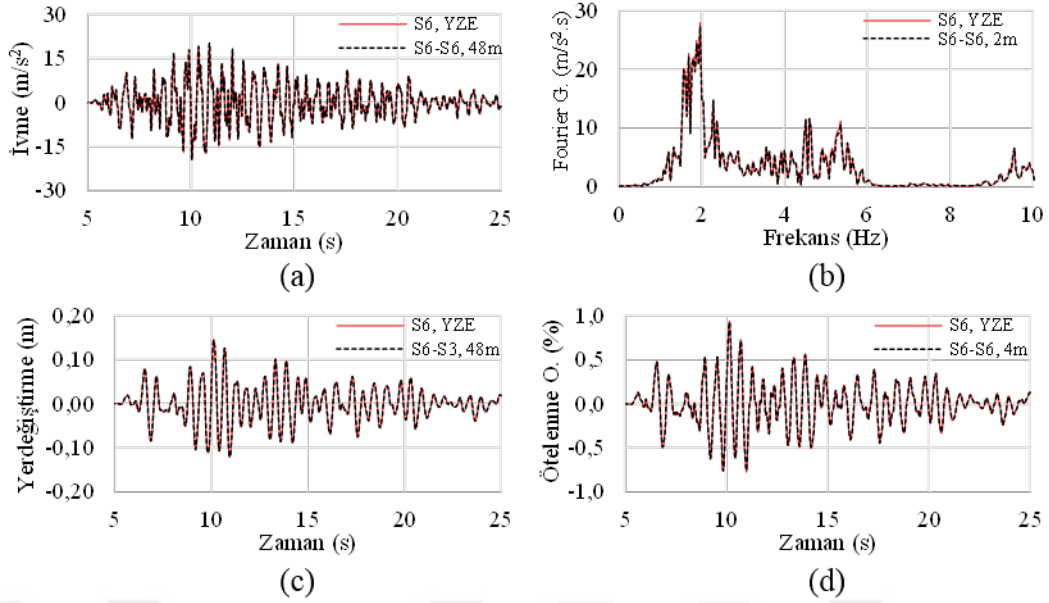
Tablo 3.29 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	19,65	-	27,95	-	14,61	-	0,94	-
3	2	19,74	0,44	28,28	1,16	14,55	-0,47	0,94	-0,06
3	4	19,75	0,51	28,22	0,95	14,54	-0,51	0,94	-0,16
3	8	19,72	0,33	28,15	0,72	14,53	-0,61	0,94	-0,38
3	16	19,61	-0,24	28,08	0,46	14,49	-0,82	0,93	-0,67
3	32	19,56	-0,47	28,03	0,26	14,44	-1,21	0,93	-0,95
3	48	19,68	0,15	28,02	0,24	14,40	-1,48	0,93	-1,23
6	2	19,26	-2,00	27,35	-2,17	14,54	-0,49	0,93	-0,98
6	4	19,30	-1,82	27,42	-1,91	14,53	-0,56	0,93	-1,00
6	8	19,35	-1,54	27,54	-1,48	14,52	-0,66	0,93	-0,98
6	16	19,57	-0,42	27,73	-0,81	14,50	-0,79	0,93	-0,84
6	32	19,88	1,14	28,00	0,18	14,51	-0,73	0,93	-0,81
6	48	20,20	2,81	28,20	0,89	14,49	-0,84	0,93	-0,85
12	2	19,66	0,04	28,21	0,91	14,52	-0,65	0,94	-0,39
12	4	19,61	-0,21	28,17	0,76	14,51	-0,69	0,93	-0,47
12	8	19,60	-0,25	28,12	0,58	14,51	-0,73	0,93	-0,62
12	16	19,65	-0,03	28,06	0,39	14,50	-0,77	0,93	-0,75
12	32	19,67	0,08	28,03	0,27	14,49	-0,84	0,93	-0,80
12	48	19,64	-0,06	28,04	0,29	14,47	-0,99	0,93	-0,96

azalırken, mesafenin daha fazla olduğu durumlar ise artmaktadır: Yapıların arasında 2 m olması durumunda 6 katlı yapının en büyük ivme değeri %2 civarında azalırken, Şekil 3.41 (a)'dan görüldüğü gibi mesafenin 48 m olması durumunda ise %2,8 oranında artmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu, X doğrultusu için yapıların arasındaki mesafenin 8 m'den az olması durumlarında yapının en büyük ivme değerleri artarken, mesafenin daha fazla olduğu durumlarda ise azalmaktadır: Yapıların arasında 2 m olduğunda en büyük ivme değeri %0,8 oranında artarken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %0,4 civarında azalmaktadır. Y doğrultusunda ise, 6 katlı yapının en büyük ivme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda yapının en büyük ivme değerlerinde kısa mesafeler için önemli bir değişiklik olmazken, mesafenin 48 m olması durumunda ise en büyük ivme değeri %0,6 civarında azalmaktadır. Y doğrultusunda ise, 6 katlı yapının en büyük ivme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır.

Tablo 3.28 ve 3.29'dan görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı özellikte diğer bir yapının bulunduğu her iki doğrultudaki Fourier genliklerinde yapıların arasındaki mesafe 2 m olduğunda en fazla değişim meydana gelmektedir. Şekil 3.41 (b)'de aralarında 2 m'nin bulunan 6 katlı yapıların yan yana olduğunda ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında yapıların ivme değerlerine ait Fourier genlikleri karşılaştırılmıştır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının bulunduğu, X doğrultusunda Fourier genliğinde oluşan en büyük değişim yapıların arasında 48 m olması durumunda, Y doğrultusunda ise bu mesafenin 2 m olması durumunda meydana gelmektedir. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı bulunduğu, X doğrultusunda Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olması durumunda, Y doğrultusundaki ise mesafenin 2 m olması durumunda meydana gelmektedir.

Tablo 3.28 ve 3.29 ile Şekil 3.40 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında diğer bir 6 katlı yapı bulunduğu, yapıların en büyük yerdeğiştirme değerleri her iki doğrultu için de azalmaktadır: X doğrultusundaki tüm durumlar için değişim miktarı neredeyse sabit olup değeri %0,9 mertebesindeyken, Y doğrultusunda ise yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme miktarı değeri %0,8'e ulaşan miktarlarda azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu, X doğrultusunda 6 katlı yapının yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Y doğrultusunda ise Şekil 3.41 (c)'den görüldüğü gibi yapıların arasında 48 m bulunduğu 6 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değeri %1,5 oranında azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda yapı yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir



Şekil 3.41 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

değişiklik olmazken, Y doğrultusunda yapıların arasında 48 m olduğunda yapının en büyük yerdeğiştirme değeri %1 oranında azalmaktadır.

Tablo 3.28 ve 3.29 ile Şekil 3.40 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 6 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapı bulunduğunda, her iki doğrultu için de yapıların en büyük zemin kat ötelenme değerleri azalmaktadır: X doğrultusunda yapıların arasında 32 m olması durumunda en büyük ötelenme değeri %0,9 oranında, Y doğrultusunda ise Şekil 3.41 (d)'den görüldüğü gibi mesafenin 4 m olması durumunda bu değer %1 oranında azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda, X doğrultusunda 6 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerlerinde önemli bir değişiklik olmazken, Y doğrultusunda yapıların arasındaki mesafe 48 olduğunda ötelenme oranı %1,2 azalmaktadır. 6 katlı yapının yanında 12 katlı yapının bulunduğu, X doğrultusunda 6 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerlerinde önemli bir değişiklik olmazken, Y doğrultusunda yapıların arasında 48 m olduğunda bu değer %1 azalmaktadır.

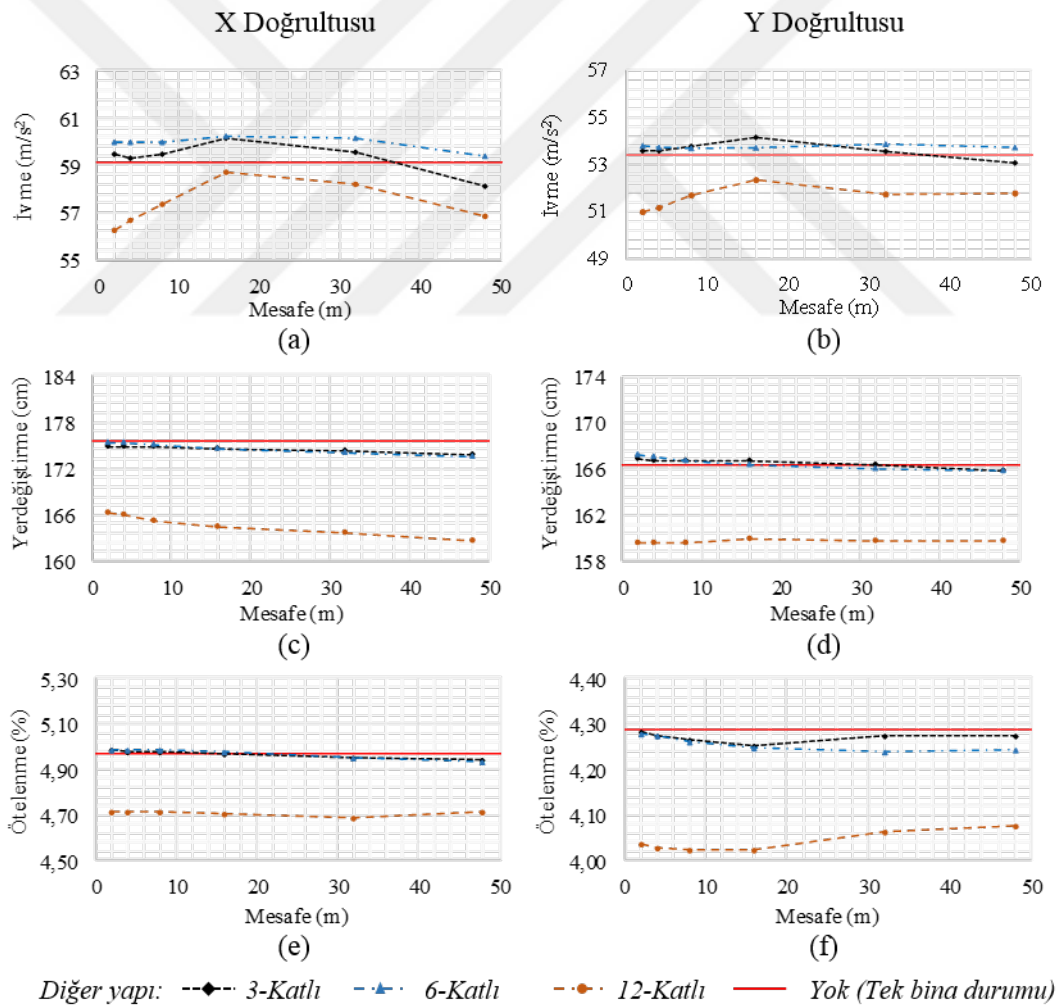
3.2.3.3 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler

Tip 1 Zemini Üzerindeki 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapıya ait X ve Y doğrultularındaki bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB)

ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.30 ve Tablo 3.31'de, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.42'de ve bu durumlardan bazılarında 12 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.43'te verilmektedir.

Tablo 3.30 ve 3.31 ile Şekil 3.42 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapının bulunduğu durumlarda, en büyük yapı ivmeleri genel olarak azalmaktadır ve bu değerlerin değişim miktarları yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmekle birlikte her iki doğrultu için de benzer biçimlerde olmaktadır:



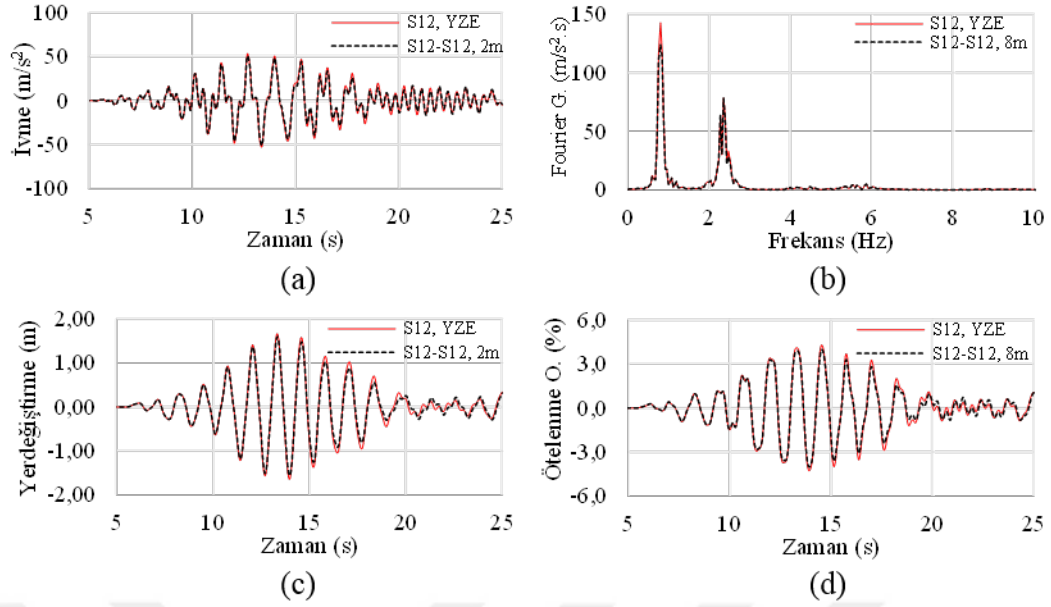
Şekil 3.42 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

Tablo 3.30 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	59,17	-	211,13	-	175,61	-	4,97	-
3	2	59,45	0,49	210,71	-0,20	174,81	-0,46	4,99	0,34
3	4	59,34	0,29	210,73	-0,19	174,84	-0,44	4,98	0,25
3	8	59,49	0,54	210,61	-0,25	174,70	-0,52	4,98	0,13
3	16	60,15	1,66	210,33	-0,38	174,52	-0,62	4,97	-0,05
3	32	59,53	0,62	209,77	-0,64	174,38	-0,70	4,95	-0,37
3	48	58,12	-1,77	209,30	-0,87	173,87	-0,99	4,94	-0,51
6	2	60,02	1,44	210,94	-0,09	175,37	-0,13	4,99	0,35
6	4	59,94	1,31	210,83	-0,14	175,30	-0,17	4,98	0,30
6	8	59,99	1,39	210,58	-0,26	175,00	-0,35	4,98	0,26
6	16	60,20	1,75	210,22	-0,43	174,56	-0,60	4,98	0,14
6	32	60,16	1,68	209,70	-0,68	174,11	-0,85	4,96	-0,30
6	48	59,34	0,30	209,28	-0,88	173,51	-1,19	4,94	-0,69
12	2	56,26	-4,92	202,69	-4,00	166,32	-5,29	4,71	-5,19
12	4	56,63	-4,29	202,00	-4,33	165,84	-5,56	4,71	-5,16
12	8	57,35	-3,08	200,93	-4,83	165,14	-5,96	4,71	-5,19
12	16	58,74	-0,72	199,53	-5,50	164,32	-6,43	4,70	-5,34
12	32	58,22	-1,59	198,03	-6,21	163,52	-6,89	4,69	-5,71
12	48	56,80	-4,01	197,17	-6,61	162,61	-7,40	4,72	-5,11

Tablo 3.31 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	53,41	-	142,63	-	166,38	-	4,29	-
3	2	53,58	0,32	142,55	-0,06	166,79	0,25	4,28	-0,14
3	4	53,59	0,33	142,43	-0,14	166,70	0,19	4,28	-0,29
3	8	53,78	0,68	142,31	-0,22	166,62	0,14	4,26	-0,57
3	16	54,16	1,39	142,22	-0,29	166,64	0,15	4,25	-0,79
3	32	53,56	0,28	142,22	-0,29	166,29	-0,06	4,27	-0,34
3	48	53,07	-0,65	142,36	-0,19	165,85	-0,32	4,27	-0,33
6	2	53,80	0,72	142,42	-0,15	167,17	0,47	4,28	-0,19
6	4	53,74	0,60	142,23	-0,29	166,98	0,36	4,27	-0,34
6	8	53,70	0,53	142,00	-0,44	166,70	0,19	4,26	-0,61
6	16	53,73	0,59	141,77	-0,60	166,36	-0,01	4,25	-0,92
6	32	53,87	0,86	141,63	-0,70	166,05	-0,20	4,24	-1,12
6	48	53,74	0,61	141,71	-0,65	165,81	-0,34	4,24	-1,06
12	2	51,00	-4,53	124,14	-12,96	159,52	-4,12	4,04	-5,88
12	4	51,17	-4,19	124,07	-13,01	159,52	-4,13	4,03	-6,02
12	8	51,70	-3,21	124,03	-13,04	159,61	-4,07	4,02	-6,19
12	16	52,35	-2,00	124,04	-13,04	159,88	-3,91	4,02	-6,17
12	32	51,74	-3,13	124,13	-12,97	159,67	-4,04	4,06	-5,25
12	48	51,78	-3,05	124,60	-12,64	159,67	-4,03	4,08	-4,95



Şekil 3.43 Tip 1 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

X doğrultusunda, yapıların arasında 2 m olduğunda 12 katlı yapının en büyük ivme değerinde en fazla azalma meydana gelmekte olup miktarı %4,9'dur. Y doğrultusunda ise, Şekil 3.43 (a)'dan görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda bu değişimin miktarı %4,5 olmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı yapı bulunduğu, X doğrultusunda 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri yapıların arasında 16 m olduğu durumda %1,7 oranında artarken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %1,8 oranında azalmaktadır. Aynı durumların Y doğrultusundaki sonuçları incelendiğinde ise, yapıların arasındaki mesafe 16 m olduğunda 12 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,4 oranında artmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu, 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri genellikle artmaktadır: X doğrultusunda, yapı ivmesindeki artış miktarı yapıların arasındaki mesafenin 2 m ile 32 m arasında olduğunda yaklaşık olarak sabittir ve bu aralıktaki değişimin miktarı %1,8 civarındadır. Y doğrultusunda ise, en fazla artış yapıların arasında 32 m olması durumunda %0,9 oranında olmaktadır.

Tablo 3.30 ve 3.31'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapının bulunduğu durumlara ait en büyük Fourier genliği değerleri incelendiğinde, X doğrultusundaki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olması durumunda olurken, Y doğrultusunda ise mesafe 8 m olduğunda meydana gelmektedir. Şekil 3.43 (b)'de aralarında 8 m'nin bulunan 12 katlı yapıların yan yana olduğu ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında yapıların Y doğrultusundaki

ivme değerlerine ait Fourier genlikleri verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumda, X doğrultusunda en fazla değişim yapıların arasında 48 m olduğu durumda meydana gelirken, Y doğrultusunda ise en büyük Fourier genliklerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının olduğu durumlarda, X doğrultusunda Fourier genliklerindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m, Y doğrultusunda ise 32 m olduğu durumlarda meydana gelmektedir.

Tablo 3.30 ve 3.31 ile Şekil 3.42 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapının bulunduğu durumlarda 12 katlı yapıda oluşan en büyük yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde, bu değerler her iki doğrultuda da benzer şekillerde değişirken bu değişimin miktarı incelenen durumlar için yaklaşık olarak sabit kalmaktadır: X doğrultusunda 12 katlı yapının yerdeğiştirme değeri %7 civarında, Y doğrultusunda ise %4,1 civarında azalmaktadır. Şekil 3.43 (c)'de 12 katlı yapıların arasında 2 m olduğunda yapılarda oluşan yerdeğiştirme değerleri ile zemin üzerinde sadece 12 katlı bir yapının olduğu durumdaki yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırması verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapının olduğu durumlar incelendiğinde, X doğrultusunda yerdeğiştirme değerlerinde meydana gelen değişim miktarı %1 civarında olup, bu değişim yapıların arasında 48 m bulunduğu durumda olmaktadır. Y doğrultusunda ise, 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu durumda, X doğrultusunda yerdeğiştirme değerlerindeki en fazla değişim yapıların arasında 48 m olduğu durumda %1,2 oranında olurken, Y doğrultusunda ise en büyük yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır.

Tablo 3.30 ve 3.31 ile Şekil 3.42 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 12 katlı bir yapının yanında diğer bir 12 katlı yapı bulunması durumunda yapıların zemin kat ötelenme oranı değerleri incelendiğinde, her iki doğrultu için de bu değerler azalmaktadır: X doğrultusundaki en fazla azalma yapıların arasında 32 m olması durumunda %5,7 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise Şekil 3.43 (d)'den görüldüğü gibi, yapıların arasında 8 m olduğunda en büyük zemin kat ötelenme değeri %6,2 oranında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı bir yapı bulunduğu durumlarda en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri genel olarak azalmaktadır: X doğrultusunda, yapıların arasındaki mesafenin 48 m olması durumunda bu değer %0,5 oranında, Y doğrultusunda ise yapıların arasında 16 m olduğu durumlarda %0,8 oranında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, en büyük ötelenme değerlerinde meydana gelen değişimler komşu yapının 3 katlı olması durumlarına benzer şekillerde olmaktadır: X doğrultusunda, yapıların arasında 48 m olduğunda 12 katlı yapının zemin katına ait en büyük

ötelenme oranı değerindeki en fazla değişim %0,7 oranında azalma olurken, Y doğrultusunda ise yapıların arasında 32 m olması durumunda bu değer %1,1 oranında azalmaktadır.

Tip 2 Zemini Üzerindeki 12 Katlı Yapıya Ait Bulgular ve İrdelemeler,

Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapıya ait X ve Y doğrultularındaki bulgular yanındaki yapının kat sayısına, aralarındaki (YA) mesafeye bağlı olarak en büyük (EB) ivme, en büyük ivmedeki (EBİ) değişim, en büyük Fourier genliği (EBFG), en büyük Fourier genliğindeki değişim, en büyük yerdeğiştirme, en büyük yerdeğiştirmedeki (EBY) değişim, en büyük zemin kat ötelenme (EBZKÖ) oranı ve en büyük zemin kat ötelenme oranındaki (EBZKÖO) değişim cinsinden sırasıyla Tablo 3.32 ve Tablo 3.33'te, bu tablolarda sunulan bazı bulgular grafik ortamında Şekil 3.44'te ve bu durumlardan bazılarında 12 katlı yapıda oluşan ivme, yerdeğiştirme ve zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zamanla değişimleri ve Fourier genliğinin frekansla değişimi Şekil 3.45'te verilmektedir.

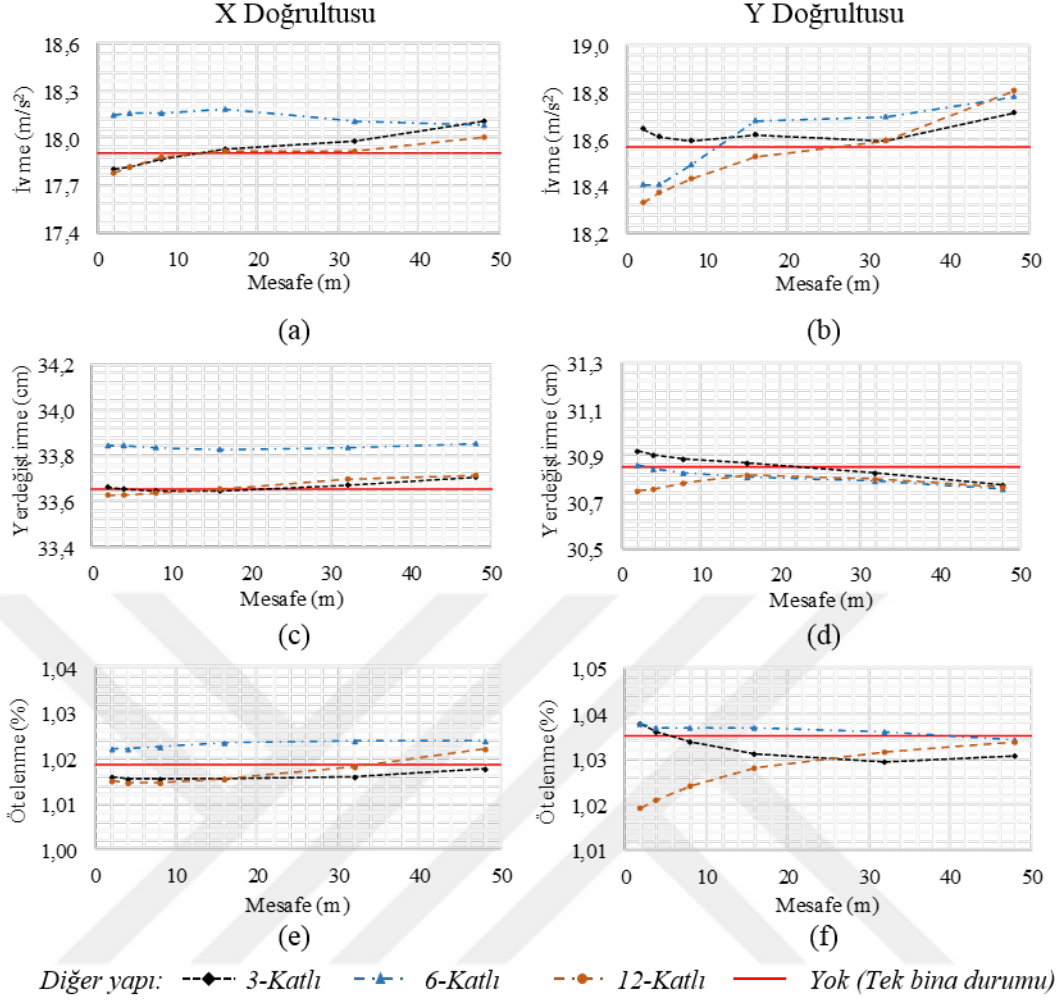
Tablo 3.32 ve 3.33 ile Şekil 3.42 (a) ve (b)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında aynı özellikte olan diğer bir yapı bulunduğunda en büyük ivme sonuçları incelendiğinde, en büyük ivme değerlerinin kısa mesafelerde azalırken, yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte artmaktadır: X doğrultusunda, yapıların arasında 2 m olduğu durumda 12 katlı yapının en büyük ivme değeri %0,7 civarında azalırken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %0,5 oranında artmaktadır. Y doğrultusunda, Şekil 3.45 (a)'dan görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olduğunda ivme değeri %1,3 oranında azalmaktadır, ancak mesafenin 48 m olması durumunda ise bu değer %1,3 oranında artmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı yapı bulunduğunda, X doğrultusunda 12 katlı yapının ivme değeri yapıların arasında 2 m olduğunda %0,6 oranında azalırken, mesafenin 48 m olması durumunda ise %1,2 civarında artmaktadır. Y doğrultusunda, 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri incelenen tüm durumlarda artmaktadır ve en fazla artış yapıların arasında 48 m bulunduğunda %0,8 oranında olmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğunda, 12 katlı yapının en büyük ivme değerleri genel olarak artmaktadır: X doğrultusunda yapıların arasında 16 m olduğu durumda 12 katlı yapının en büyük ivme değeri %1,6 civarında artmaktadır. Y doğrultusunda ise, yapıların arasındaki mesafe 12 m'den az olması durumlarda ivme değerleri azalırken, daha fazla mesafeler için ise artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla azalma yapıların arasında 2 m olduğunda %0,9 oranında olurken, en fazla artış ise mesafe 48 m olduğunda %1,2 oranında olmaktadır.

Tablo 3.32 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait X doğrultusundaki bulgular

Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	17,90	-	28,50	-	33,65	-	1,02	-
3	2	17,80	-0,58	28,51	0,03	33,66	0,02	1,02	-0,27
3	4	17,82	-0,48	28,51	0,04	33,66	0,01	1,02	-0,30
3	8	17,87	-0,21	28,51	0,05	33,65	-0,02	1,02	-0,31
3	16	17,92	0,11	28,51	0,04	33,65	-0,03	1,02	-0,30
3	32	17,98	0,44	28,51	0,03	33,67	0,05	1,02	-0,29
3	48	18,11	1,17	28,51	0,02	33,71	0,15	1,02	-0,09
6	2	18,15	1,37	28,54	0,13	33,84	0,56	1,02	0,33
6	4	18,15	1,39	28,54	0,13	33,84	0,55	1,02	0,32
6	8	18,16	1,44	28,53	0,11	33,83	0,53	1,02	0,36
6	16	18,18	1,56	28,52	0,08	33,83	0,51	1,02	0,45
6	32	18,11	1,15	28,51	0,05	33,83	0,53	1,02	0,51
6	48	18,09	1,01	28,51	0,03	33,85	0,59	1,02	0,49
12	2	17,78	-0,70	28,75	0,87	33,62	-0,09	1,01	-0,38
12	4	17,82	-0,49	28,72	0,77	33,63	-0,08	1,01	-0,38
12	8	17,87	-0,17	28,67	0,61	33,63	-0,06	1,01	-0,38
12	16	17,92	0,07	28,62	0,42	33,65	0,00	1,02	-0,30
12	32	17,91	0,04	28,57	0,25	33,69	0,12	1,02	-0,07
12	48	18,00	0,54	28,55	0,16	33,72	0,19	1,02	0,35

Tablo 3.33 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunması durumlarına ait Y doğrultusundaki bulgular

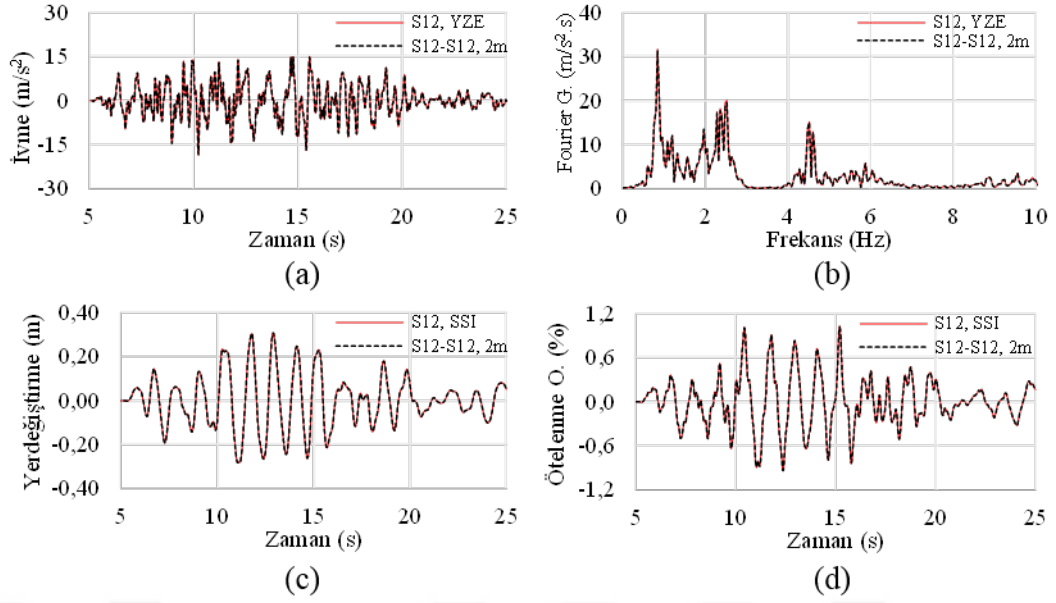
Dİğer Yapının Kats.	YA Mesafe (m)	EB İvme (m/s^2)	EBİ Değişimi (%)	EBFG ($m/s^2.s$)	EBFG Değişimi (%)	EB Yerd. (cm)	EBY Değişimi (%)	EBZKÖ Oranı (%)	EBZKÖ Değişimi (%)
-	-	18,57	-	31,70	-	30,85	-	1,04	-
3	2	18,65	0,43	31,75	0,16	30,92	0,21	1,04	0,26
3	4	18,61	0,26	31,73	0,12	30,90	0,17	1,04	0,09
3	8	18,60	0,16	31,72	0,08	30,89	0,11	1,03	-0,13
3	16	18,62	0,27	31,71	0,04	30,87	0,04	1,03	-0,40
3	32	18,59	0,16	31,70	0,02	30,82	-0,10	1,03	-0,55
3	48	18,71	0,79	31,70	0,02	30,78	-0,24	1,03	-0,43
6	2	18,41	-0,85	31,78	0,27	30,86	0,03	1,04	0,22
6	4	18,41	-0,84	31,76	0,20	30,84	-0,03	1,04	0,17
6	8	18,49	-0,42	31,74	0,14	30,82	-0,09	1,04	0,14
6	16	18,68	0,61	31,72	0,08	30,81	-0,14	1,04	0,14
6	32	18,70	0,70	31,71	0,05	30,79	-0,21	1,04	0,08
6	48	18,78	1,17	31,71	0,04	30,76	-0,31	1,03	-0,11
12	2	18,33	-1,29	31,39	-0,97	30,75	-0,34	1,02	-1,52
12	4	18,37	-1,03	31,43	-0,86	30,76	-0,30	1,02	-1,36
12	8	18,43	-0,72	31,48	-0,68	30,78	-0,22	1,02	-1,09
12	16	18,53	-0,21	31,55	-0,47	30,81	-0,12	1,03	-0,71
12	32	18,59	0,14	31,60	-0,30	30,80	-0,16	1,03	-0,37
12	48	18,80	1,27	31,64	-0,18	30,76	-0,29	1,03	-0,13



Şekil 3.44 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, ilgili yapının (a), (b) en büyük ivme, (c), (d) en büyük yer değiştirme ve (e), (f) en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinin yapıların arasındaki mesafeyle değişimi

Tablo 3.32 ve 3.33'ten görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapının bulunduğu durumda, X ve Y doğrultularındaki Fourier genliğindeki en fazla değişim yapıların arasında 2 m olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Şekil 3.45 (b)'de aralarında 2 m'nin bulunan 12 katlı yapıların yan yana olduğu ve zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumlarında yapıların ivme değerlerine ait Fourier genlikleri verilmektedir. 12 katlı yapının yanında 3 ya da 6 katlı yapının bulunduğu durumlarda ise Fourier genliklerinde önemli değişim olmamaktadır.

Tablo 3.32 ve 3.33 ile Şekil 3.42 (c) ve (d)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında 3 ya da 12 katlı diğer bir yapının bulunduğu durumlarda, her iki doğrultu için de yapının en büyük yer değiştirme değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Bu durum, yan yana bulunan 12 katlı yapıların arasındaki 2 m olması durumunda ve zemin üzerinde sadece 12 katlı yapının bulunduğu durumlarda yapılara ait yer değiştirme



Şekil 3.45 Tip 2 zemini üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında farklı hizada diğer bir yapının bulunduğu bazı durumlar için, ilgili yapının Y doğrultusundaki (a) ivme, (b) Fourier genliği, (c) yer değiştirme ve (d) zemin kat ötelenme oranı değerlerinin zemin üzerinde tek bir yapı bulunması durumuyla karşılaştırılması

değerlerinin karşılaştırmasının verildiği Şekil 3.45 (c)'den görülmektedir. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu, X doğrultusunda incelenen tüm durumlar için yaklaşık olarak %0,6 oranında değişirken, Y doğrultusunda ise Şekil 3.45 (f)'den görüldüğü gibi 12 katlı yapının en büyük yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır.

Tablo 3.32 ve 3.33 ile Şekil 3.42 (e) ve (f)'den görüldüğü gibi, 12 katlı yapının yanında diğer bir 12 katlı yapının bulunduğu durumlarda en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri, X doğrultusunda yapıların birbirine yakın olduğu durumlarda %0,4, Y doğrultusunda Şekil 3.45 (d)'den görüldüğü gibi yapıların arasında 2 m olması durumunda %1,5 oranlarında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 3 katlı yapının bulunduğu, X doğrultusunda 12 katlı yapının en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinde önemli bir değişiklik olmazken, Y doğrultusunda ise yapıların arasında 32 m olduğunda bu değerler %0,6 oranında azalmaktadır. 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapı bulunduğu, X doğrultusunda ötelenme değerleri artmaktadır: Bu durumlardaki en fazla artış yapıların arasında 32 m olduğunda %0,5 oranında olmaktadır. Y doğrultusunda ise, yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda 12 katlı yapının zemin katına ait en büyük ötelenme oranı değerlerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır.

Yapıların farklı hizalarda bulunduğu durumlar iki doğrultudaki deprem etkisi altında incelendiğinde, yapıların davranışlarının yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak

artıp azaldığı görülmektedir. Tek doğrultuda deprem etkisinde incelenen durumlarla benzer şekilde, yapıların davranışlarındaki değişim için belirli bir değişim biçimi belirtilememektedir. Farklı hizadaki yapılar, tek doğrultuda deprem etkisinde incelendiğinde elde edilen sonuçlar ile aynı durumların iki doğrultuda deprem uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar birbirinden farklı olmaktadır. Bu farklılıklar özellikle zeminin tip 1 zemini olduğu durumlarda daha belirgin olmaktadır. İncelenen durumların X ve Y doğrultularındaki sonuçlar değerlendirildiğinde, aynı tasarım spektrumu hedef alınarak üretilen depremler olmasına rağmen bazı durumlarda sonuçların farklı şekillerde elde edilmektedir. Bu farklılığın depremlerin frekans içeriklerindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.



4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmanın amacı, birbirine yakın konumda bulunan yapıların arasında oluşan yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında meydana gelen değişimlerin eğilimlerinin ve mertebelerinin belirlenmesiyle birlikte, bu olguda etkili olan başlıca parametrelerin etkilerinin incelenmesidir. Bu kapsamda, çerçeve taşıyıcı sisteme sahip çeşitli kat sayılarında (3, 6 ve 12) olan yapıların çeşitli durumlar altındaki davranışları incelenmiştir. Yapıların arasında meydana gelen yapı-zemin-yapı etkileşimi etkilerinin değerlendirilmesinden önce, yapı-zemin etkileşimi sonucunda yapıların altında bulunan zeminin yapıların dinamik özelliklerinde ve davranışlarında oluşturduğu değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla, çeşitli durumlar için tabanlarından tam bağlı olan yapıların deprem etkisindeki davranışları ile zeminin etkilerinin de dikkate alındığı yapıların davranışları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ardından, aynı ya da farklı özellikte olan iki yapının yan yana bulunduğu çeşitli durumlara ait olan sonuçlar değerlendirilerek, yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapıların davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, yapıların kat sayılarının, yapıların arasındaki mesafenin, zemin rijitliğinin, yapıların yerleşim şeklinin ve deprem etkisinin yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimleri üzerindeki tesirleri araştırılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulan yapı ve zemin sistemlerinin analizleri doğrudan çözüm yöntemi kullanılarak ANSYS programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Yapıların davranışlarında meydana gelen değişiklikler değerlendirilirken, en büyük görel ivme, yerdeğiştirme, Fourier genlikleri ve zemin kat ötelenme oranı değerleri göz önüne alınmaktadır. Bu çalışmayla birlikte elde edilen sonuçlardan çıkartılan bulgular ve getirilen öneriler aşağıda sunulmaktadır:

- Zemin ortamının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmesi durumunda, yeterli boyutta elemanların kullanılmaması özellikle yüksek frekans içeriklerinin sönümlenmesine ve bazı pik değerlerin kaybına sebep olabilmektedir. Bu sebeple zemin için kullanılacak olan sonlu elemanların

boyutları belirlenirken, zeminin kayma dalgası hızı ve zemin içerisinde iletilmesi istenilen frekans değerleri dikkate alınarak uygun olan eleman boyutu kullanılmalıdır.

- Sonsuz genişlikte olan zemin ortamının sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmesi durumunda, zemin ortamının belirli bir kesiminin dikkate alınması gerekmektedir. Bu durumda, zemin ortamının kesildiği yanal yüzeylere, ele alınan probleme uygun olacak şekilde, sınır şartlarının tanımlanması gerekmektedir. Uygulanan sınır şartları ile zemin sınırlarında serbest yüzey durumundaki hareket görülmelidir.
- Oluşturulan yapı-zemin sistemi modellerine, yapılar ile zemin sınırları arasında yeterli mesafenin bulunmalıdır. Böylece, hem yapılarının davranışlarının zemin sınırdan etkilenmesi hem de zemin sınırlarındaki davranışın zemin üzerinde yapılardan etkilenmesi önlenmiş olur. Bu mesafenin belirlenmesi için, zemin üzerinde bulunan yapıların tepkilerinin ya da zemin sınırlarının davranışlarının zemin genişliğiyle olan değişimleri göz önüne alınabilir.
- Yapıların altında bulunan zeminin yapı davranışındaki etkilerinin dikkate alınmasıyla birlikte, yapıların doğal titreşim periyotları artmaktadır. Bu artışlar özellikle zeminin rijitliğinin daha düşük olduğu durumlarda daha rijit zemine göre daha fazla miktarlarda olmaktadır.
- Yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alındığı durumlarda yapıların tepkileri çoğu durumda azalmaktadır. Bu azalmalar özellikle az katlı yapıların yumuşak zemin üzerinde bulunduğu durumlarda zeminin daha rijit olduğu durumlara kıyasla daha belirgin olmaktadır.
- Yapıların altında bulunan zeminin deprem içeriğine olan etkilerinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu durum, özellikle yapıların doğal titreşim periyodu ile zeminin doğal titreşim periyodu değerlerinin birbirine yakın olduğu durumlarda yapı tepkilerinin önemli miktarlarda artmasına sebep olabilmektedir.
- Yan yana bulunan yapıların aynı hizada ve yumuşak zemin (tip 1) üzerinde bulunduğu durumlarda, yapı tepkilerindeki değişimler yapıların arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda önemli mertebelerde olurken, çoğu durumda yapıların arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte bu değişimlerin miktarları azalmaktadır. Daha rijit zeminlerde (tip 2) de, çoğu durumda tip 1 zemininde çoğu durumda benzer şekillerde değişimler olmaktadır.
- Aynı katsayısında olan iki yapının aynı hizada yan yana bulunduğu durumlarda, yapıların en büyük ivme değerleri her iki zemin türü için de genellikle

azalmaktadır. Bu durumdaki en fazla azalma, 3 katlı iki yapının tip 1 zemini üzerinde yan yana bulunduğu durumda görülmekte olup, bu azalmanın miktarı %9 civarındadır.

- Aynı katsayısında olan yapıların aynı hizalarda bulunduğu durumlarda, yapıların en büyük yerdeğiştirme ve en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerinde görülen değişimler yapıların özelliklerinde ve depreme bağlı olarak değişmekle birlikte, bu değerlerin değişimi ivme değerlerinde görülen değişimlere kısmen benzer şekilde olmaktadır: 3 katlı yapının yanında diğer bir 3 katlı yapının olduğu bazı durumlarda en büyük yerdeğiştirme ve en büyük ötelenme oranı değerleri %6'dan fazla oranlarda azalmaktadır. Aynı değerlerin 6 katlı bir yapının tip 1 zemini üzerinde bulunduğu bazı durumlarda %2'den fazla oranlarda artarken, tip 2 zemini üzerinde bulunduğu bazı durumlarda ise %1,2 civarında azalmaktadır.
- Farklı kat sayısına sahip yapıların aynı hizada yan yana bulunduğu durumlarda, yapıların en büyük ivme değerleri çoğu durumda azalırken, bazı durumlarda ise artmaktadır: Tip-1 zemini üzerinde bulunan 6 katlı yapının 3 ya da 12 katlı yapılarla komşu olduğu durumlarda 6 katlı yapının ivme değerlerinde %9'a varan miktarlarda artmaktadır. Benzer şekilde, 12 katlı yapının yanında 6 katlı yapının bulunduğu bazı durumlarda ise, 6 katlı yapının ivme değerleri %1,5'a ulaşan miktarlarda artışlar olmaktadır.
- Farklı katsayısına sahip yapıların aynı hizada yan yana olduğu durumlarda, yapıların en büyük yerdeğiştirme ve en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri yapıların özelliklerine, zemin türüne, yapıların arasındaki mesafeye ve depreme bağlı olarak değişmektedir. Tip 1 zemini üzerinde bulunan 3 katlı bir yapının yanında 12 katlı bir yapı yapının bulunduğu durumlarda, 3 katlı yapının tepkileri azalırken, aynı zemin türü üzerinde bulunan 12 katlı yapının yanında 6 katlı bir yapının bulunduğu durumlarda ise 6 katlı yapının tepkilerinin artmaktadır. Yapıların tip 2 zemini üzerinde bulunduğu durumlarda, 6 katlı yapının yanında 12 katlı bir yapı olduğu bazı durumlarda 12 katlı yapının tepkileri artarken, komşu yapının 3 katlı bir yapı olduğu durumlarda ise 12 katlı yapının tepkileri azalmaktadır.
- Yapıların davranışları üzerinde etkisi göz önüne alınan yapı yüksek katlı ise, bu yapının etkileri daha az katlı olan yapılara kıyasla daha uzun mesafelerde görülebilmektedir.
- Farklı hizada bulunan yapıların davranışlarında görülen değişimler yapıların aynı hizada olduğu durumlardaki gibi genel bir şekilde belirtilememekle birlikte, çoğu durumda yapıların ivme değerlerinin azalmaktadır.

- Farklı hizada ve aynı katsayısında olan yapıların yan yana bulunduğu durumlarda, yapıların davranışlarında çoğu durumda azalmaktadır. Bu durumlarda en büyük ivme değerlerindeki görülen değişimler, depreme ve yapıların altında bulunan zemin türüne bağlı olmakla birlikte özellikle yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak artıp azalmaktadır. En büyük yerdeğiştirme ve en büyük zemin kat ötelenme oranı değerlerin de, ivme değerlerinde olduğu gibi yapı davranışlarının özellikle yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak artıp azalmaktadır.
- Farklı hizada ve farklı katsayısında olan yapıların yan yana bulunduğu durumlarda, yapıların davranışlarında çoğu durumda azalmaktadır. Yapıların birbirine yakın bulunduğu durumlarda, yapıların en büyük ivme, en büyük yerdeğiştirme ve en büyük zemin kat ötelenme oranı değerleri yapıların arasındaki mesafeye göre değişmektedir.
- Yapıların farklı hizada bulunduğu durumlarda uygulanan depremin tek ya da çift doğrultuda olması sonuçları etkilemektedir. Bu durumda genellikle yapı tepkilerinde görülen değişimler aynı şekilde olurken, özellikle zeminin yumuşak olduğu durumlarda değişikliklerin mertebesi daha fazla olmaktadır.
- Yapıların aynı hizada olduğu durumlarda, genellikle yapıların arasındaki mesafenin az olduğu hallerde yapı tepkilerinde en fazla değişim olmaktadır. Ancak, yapıların farklı hizada olduğu durumlarda ise çoğunlukla yapıların arasındaki mesafenin temel genişliği civarında olduğu durumlarda en çok değişimler olmaktadır.
- Yapıların aynı hizada olmaması durumunda sonuçlar birbirinden farklılık gösterdiğinden genelleme yapmak zor olmaktadır. Bu nedenle, tasarımda bu durumlar dikkate alınmalıdır.
- Yapıların aynı hizada buldukları durumlarda, yapı davranışlarında meydana gelen değişimlerin büyüklükleri yapıların farklı hizada bulunduğu durumlara göre daha fazla miktarlarda olmaktadır.
- Yapıların yumuşak zeminler üzerinde bulunduğu durumlarda, yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışlarında önemli mertebelerde değişimler meydana gelmektedir.
- Analizlerde kullanılan depremlerin her ikisi de tasarım spektrumu temel alınarak üretilmiştir. Çoğu durumda yapı tepkilerinin değişim eğilimleri ve büyüklükleri birbirine yakın şekillerde gerçekleşirken, bazı durumlarda elde edilen davranışlar birbirinden farklı olmaktadır. Bu farklılığın her iki depremin frekans içeriklerinin aynı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Zemin cinsi sonuçları önemli oranda değiştirdiğinden, zemin cinsinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, yapı-zemin ve yapı-zemin-yapı etkileşimleri dikkate alındığında, yapıların davranışlarında önemli miktarlarda değişimler meydana gelebilmektedir. Bu değişimlerin eğilimleri ve miktarları ilgili durumdaki yapıların özelliklerine, zemini rijitliğine, yapıların yerleşimine ve özellikle de yapıların arasındaki mesafeye bağlı olarak değişebilmektedir. Bazı durumlarda yapı davranışlarının artarken bazı durumlarda ise azalmaktadır. Bu sebeple, ele alınan yapının yanında bulunan ya da yapılması planlanan yapıların etkilerinin de analizlerde göz önüne alınarak ilgili duruma göre analizlerin geręekleřtirilmesi gerekmektedir. Eğer mevcut bir yapının değerlendirilmesi yapılyorsa, bu yapının yanında bulunan diğer yapılardan dolayı oluşabilecek etkilerin de göz önüne alınması önerilmektedir.

- Yapıların ve zeminin malzeme özellikleri için çeşitli değerler göz önüne alınarak analizlerin sayısı arttırılabilir.
- Yapıların ve zeminin doğrusal olmayan davranışlarının etkileri de göz önüne alınarak, yapı-zemin-yapı etkileşiminin yapıların davranışları üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Çeşitli geometrik özelliklerde olan yapılar üzerindeki yapı-zemin-yapı etkileşimi sebebiyle yapıların davranışları incelenebilir.
- Aynı ya da farklı temel çeşitlerine sahip yapılar arasındaki yapı-zemin-yapı etkileşimi sonucunda yapıların davranışları incelenebilir.
- İki den fazla yapı arasındaki etkileşim incelenebilir.

- [1] W. F. Chen and C. Scawthorn, *Earthquake Engineering Handbook*. CRC Press, 2003.
- [2] A. K. Chopra, *Dynamics of Structures*. Prentice Hall, 2012.
- [3] Y. Oshaki, *Spectral Analysis of Earthquake Wave*. Kajima Institute Publishing, 1976.
- [4] R. Clough and J. Penzien, *Dynamics of Structures*. Computers and Structures Inc., 2003.
- [5] E. L. Krenitzky, J. P. Gould and P. H. Edinger, *Fundamentals of Earthquake-Resistant Construction*. Wiley, 1993.
- [6] N. Yoshida, *Seismic Ground Response Analysis*. Springer, 2015.
- [7] H. B. Seed, C. Ugas and J. Lysmer, "Site-dependent spectra for earthquake-resistant design," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 66, no. 1, pp. 221–243, 1976.
- [8] H. Sucuoğlu and S. Akkar, *Basic Earthquake Engineering*. Springer, 2014.
- [9] "Türkiye bina deprem yönetmeliği," Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Standard, 2018.
- [10] S. L. Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, 1996.
- [11] K. Ishihara, *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*. Clarendon Press, 2003.
- [12] H. Takabatake, Y. Kitada, I. Takewaki and A. Kishida, *Simplified Dynamic Analysis of High-Rise Buildings*. Springer, 2019.
- [13] S. Bekiroğlu, "P-yöntemine dayalı üç boyutlu sonlu elemanlar ile yapıların elastostatik ve elastodinamik analizi," PhD thesis, K.T.Ü., 2010.
- [14] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*. Cengage Learning, 2015.
- [15] R. D. Cook, D. S. Malkus, M. E. Plesha and R. J. Witt, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. John Wiley and Sons, 2001.
- [16] O. Zienkiewicz, D. Kelly and P. Bettess, "The coupling of the finite element method and boundary solution procedures," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 11, no. 2, 1977.
- [17] J. Lysmer and R. L. Kuhlemeyer, "Finite dynamic model for infinite media," *Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc ASCE*, vol. 95, no. 4, 1969.
- [18] R. Villaverde, *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*. CRC Press Taylor Francis Group, 2008.

- [19] J. Liu, Y. Du, X. Du, Z. Wang and J. Wu, "3D viscous-spring artificial boundary in time domain," *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 5, no. 1, 2006.
- [20] P. Ezzatyazdi and H. Jahankhah, "Practical suggestions for 2D finite element modelling of soil structure interaction problems," in *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, Turkey, 2014.
- [21] M. Bagheripour, R. Rahgozar and M. Malekinejad, "Efficient analysis of SSI problems using infinite elements and wavelet theory," *Geomechanics and Engineering*, vol. 2, no. 4, 2010.
- [22] O. Zienkiewicz, C. Emson and P. Bettess, "A novel boundary infinite element," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 19, no. 3, 1983.
- [23] J. Marques and D. Owen, "Infinite elements in quasi-static materially nonlinear problems," *Computers and Structures*, vol. 2, no. 4, 1984.
- [24] ANSYS, *ANSYS Mechanical APDL Theory Reference*. 2017.
- [25] J. P. Wolf, *Dynamic Soil Structure Interaction*. Prentice-Hall, 1985.
- [26] A. S. Veletsos and Y. T. Wei, "Lateral and rocking vibration of footings," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 97, no. 9, pp. 1227–1248, 1971.
- [27] R. Livaoğlu, "Ayaklı depoların sıvı-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi," PhD thesis, K.T.Ü., 2005.
- [28] M. Halabian, "Dynamic behaviour of tall slender structures on flexible foundations subjected to extreme events," PhD thesis, University of Western Ontario, 2001.
- [29] A. Veletsos, *Design Concepts for Dynamics of Soil-Structure Interaction*, P. Gülkan and R. Clough, Eds. Springer Netherlands, 1993.
- [30] H. Werkle, "Kinematic interaction of rigid circular foundations on layered soil under surface wave excitations," in *8th World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, USA, 1984.
- [31] S. Naserkhaki and H. Pourmohammad, "SSI and SSSI effects in seismic analysis of twin buildings: Discrete model concept," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 18, no. 6, pp. 890–898, 2012.
- [32] J. Mulliken and D. Karabalis, "Discrete model for dynamic through-the-soil coupling of 3-D foundations and structures," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 27, no. 7, 1998.
- [33] J. X. Zhao, "Effects of frequency dependent foundation-soil compliance on buildings vertical responses identified from earthquake records," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 4, 1997.
- [34] B. Jeremic and X. Kunnath, "Influence of soil-foundation-structure interaction on seismic response of the I-880 viaduct," *Engineering Structures*, vol. 26, no. 3, 2004.
- [35] S. Kramer and J. Stewart, *Geotechnical aspects of seismic hazards*, Y. Bozorgnia and V. Bertero, Eds. CRC Press, 2004.

- [36] J. Wolf and J. Meek, "Dynamic stiffness of foundation on layered soil half-space using cone frustum," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 23, no. 10, 1994.
- [37] W. Wu, "Equivalent fixed-base models for soil-structure interaction systems," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 5, 1997.
- [38] C. Bolisetti, "Site response, soil-structure interaction and structure-soil-structure interaction for performance assessment of buildings and nuclear structures," PhD thesis, University of Buffalo, 2014.
- [39] L. Menglin, W. Huaifeng, C. Xi and Z. Yongmei, "Structure-soil-structure interaction: Literature review," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 31, no. 12, pp. 1724–1731, 2011.
- [40] J. P. Wolf, *Soil Structure Interaction Analysis in Time Domain*. Prentice-Hall, 1988.
- [41] J. E. Luco and R. A. Westmann, "Dynamic response of circular footings," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, vol. 97, no. 5, pp. 1381–1395, 1971.
- [42] J. P. Wolf, "Soil-structure interaction analysis in time domain," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 111, pp. 381–393, 1989.
- [43] D. Pitilakis and D. Clouteau, "Equivalent linear substructure approximation of soil foundation - structure interaction," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 257–282, 2010.
- [44] S. Carbonari, F. Dezi and G. Leoni, "Nonlinear seismic behaviour of wall-frame dual systems accounting for soil–structure interaction," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 41, pp. 1651–1672, 2012.
- [45] M. Kutanis and M. Elmas, "Non-linear seismic soil–structure interaction analysis based on the substructure method in the time domain," *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol. 25, no. 6, pp. 617–626, 2001.
- [46] X. M. Yang, Y. Chen and B. P. Yang, "Three-dimension dynamic soil–structure interaction analysis using the substructure method in the time domain," in *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 2008.
- [47] M. I. Khodakarami and A. Lashgari, "An equivalent linear substructure approximation for the analysis of the liquefaction effects on the dynamic soil–structure interaction," *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 67–78, 2018.
- [48] C. Koh, Y. Ho and T. Balendra, "A substructure approach to dynamic soil-structure interaction due to incident plane waves," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 180, no. 5, pp. 797–807, 1995.
- [49] X. Lu, B. Chen, P. Li and Y. Chen, "Numerical analysis of tall buildings considering dynamic soil-structure interaction," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2003.
- [50] P. Li, X. Lu, B. Chen and Y. Chen, "Computer simulation on dynamic soil structure interaction system," in *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 2004.

- [51] C. Bolisetti, A. S. Whittaker and J. L. Coleman, "Linear and nonlinear soil-structure interaction analysis of buildings and safety-related nuclear structures," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 107, pp. 218–233, 2018.
- [52] E. Sáez, F. Lopez-Caballero and A. Modaressi-Farahmand-Razavi, "Effect of the inelastic dynamic soil–structure interaction on the seismic vulnerability assessment," *Structural Safety*, vol. 33, no. 1, pp. 51–63, 2011.
- [53] P. Badry and N. Satyam, "Seismic soil structure interaction analysis for asymmetrical buildings supported on piled raft for the 2015 Nepal Earthquake," *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 133, pp. 102–113, 2017.
- [54] A. Amorosi, D. Boldini and A. di Lernia, "Dynamic soil-structure interaction: A three-dimensional numerical approach and its application to the Lotung case study," *Computers and Geotechnics*, vol. 90, pp. 34–54, 2017.
- [55] L. Jingbo and L. Yandong, "A direct method for analysis of dynamic soil-structure interaction based on interface idea," *Developments in Geotechnical Engineering*, vol. 83, pp. 261–276, 1998.
- [56] M. Ghandil and F. Behnamfar, "Ductility demands of MRF structures on soft soils considering soil-structure interaction," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 92, pp. 203–214, 2017.
- [57] Q. V. Nguyen, B. Fatahi and A. S. Hokmabadi, "The effects of foundation size on the seismic performance of buildings considering the soil-foundation-structure interaction," *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 58, no. 6, pp. 1045–1075, 2016.
- [58] F. Behnamfar and M. Banizadeh, "Effects of soil–structure interaction on distribution of seismic vulnerability in RC structures," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 80, pp. 73–86, 2016.
- [59] B. Jeremic, G. Jie, M. Preisig and N. Tafazzoli, "Time domain simulation of soil–foundation–structure interaction in non-uniform soils," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 38, no. 5, pp. 699–718, 2009.
- [60] G. B. Warburton, J. D. Richardson and J. Webster, "Forced vibrations of two masses on an elastic half space," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 38, no. 1, pp. 148–156, 1971.
- [61] T. Lee and D. Wesley, "Soil-structure interaction of nuclear reactor structures considering through-soil coupling between adjacent structures," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 24, pp. 374–387, 1972.
- [62] J. E. Luco and L. Contesse, "Dynamic structure-soil-structure interaction," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 63, no. 4, pp. 1289–1303, 1973.
- [63] H. Wong and M. Trifunac, "Two-dimensional, antiplane, building-soil-building interaction for two or more buildings and for incident plane SH waves," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 65, no. 6, pp. 1863–1885, 1975.
- [64] M. Aydınoğlu and A. Çakıroğlu, "Dynamic interaction between soil and a group of buildings," in *Proceedings of 6th World Conference on Earthquake Engineering*, New Delhi, India, 1977.

- [65] H. T. Lin, J. M. Roesset and J. L. Tassoulas, "Dynamic interaction between adjacent foundations," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 15, pp. 323–343, 1987.
- [66] J. Qian and D. E. Beskos, "Dynamic interaction between 3D rigid surface foundations and comparison with the ATC-3 provisions," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 24, pp. 419–437, 1995.
- [67] J. Qian and D. E. Beskos, "Harmonic wave response of two 3-D rigid surface foundations," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 15, pp. 95–110, 1996.
- [68] R. Betti, "Effects of the dynamic cross-interaction in the seismic analysis of multiple embedded foundations," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 26, pp. 1005–1019, 1997.
- [69] D. L. Karabalis and M. Mohammadi, "3-D dynamic foundation-soil-foundation interaction on layered soil," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 17, pp. 139–152, 1998.
- [70] L. V. Andersen, "Dynamic soil-structure interaction of polypod foundations," *Computers and Structures*, vol. In Press, 2018.
- [71] J. Wang and D. Zhou, "A simple model for vertical dynamic interactions among a group of strip footings rested on homogeneous half-space," *Shock and Vibration*, vol. 2018, 2018.
- [72] A. Imamura, M. Ishizaki, T. Watanabe and M. Motosaka, "Seismic response characteristics of embedded structures considering cross interaction," in *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*, Rotterdam, Holland, 1992.
- [73] J. Xu, C. Costantino, C. Hofmayer and S. Ali, "Seismic response prediction of NUPEC's field model tests of NPP structures with adjacent building effect," in *ASME-PVP Conference*, California, USA, 2004.
- [74] L. Anderson, S. Carey and J. Amin, "Effect of structure, soil, and ground motion parameters on structure-soil-structure interaction of large scale nuclear structures," in *Structures Congress*, Las Vegas, USA, 2011.
- [75] C. Roy, A. Roffel, S. Bolourchi, L. Todorovski and M. Khoncarly, "Study of seismic structure-soil-structure interaction between two heavy structures," in *The 22nd Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology*, California, USA, 2013.
- [76] D. Yue, D. Ghiocel, H. Fuyama, T. Ogata and G. Stark, "Structure-soil-structure interaction effects for two heavy NPP buildings with large-size embedded foundations," in *The 22nd Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology*, California, USA, 2013.
- [77] C. Roy, S. Bolourchi and D. Eggers, "Significance of structure-soil-structure interaction for closely spaced structures," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 295, pp. 680–687, 2015.
- [78] S. Wang and G. Schmid, "Dynamic structure-soil-structure interaction by FEM and BEM," *Computational Mechanics*, vol. 9, pp. 347–357, 1992.

- [79] A. Wirgin and P. Bard, "Effects of buildings on the duration and amplitude of ground motion in Mexico City," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 86, no. 3, pp. 914–920, 1996.
- [80] P. Gueguen, P. Bard and C. Oliveira, "Experimental and numerical analysis of soil motions caused by free vibrations of a building model," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 90, no. 6, pp. 1464–1479, 2000.
- [81] C. Tsogka and A. Wirgin, "Simulation of seismic response in an idealized city," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 23, no. 5, 2003.
- [82] J. Groby and A. Wirgin, "Seismic motion in urban sites consisting of blocks in welded contact with a soft layer overlying a hard half-space," *Geophysical Journal International*, vol. 172, no. 2, pp. 725–758, 2008.
- [83] M. Yahyai, M. Mirtaheri, M. Mahoutian, A. Daryan and M. Assareh, "Soil structure interaction between two adjacent buildings under earthquake load," *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 121–125, 2008.
- [84] L. Padron, J. Aznarez and O. Maeso, "Dynamic structure–soil–structure interaction between nearby piled buildings under seismic excitation by BEM–FEM model," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 29, no. 6, pp. 1084–1096, 2009.
- [85] A. Gouasmia and K. Djeghaba, "Direct approach to seismic soil-structure-interaction analysis – building group case," *Engineering Structures and Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 22–30, 2010.
- [86] R. Guidotti, I. Mazziari, M. Stupazzini and P. Dagna, "3D numerical simulation of the site-city interaction during the 22 February 2011 M_w 6.2 Christchurch Earthquake," in *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 2012.
- [87] N. Alexander, E. Ibraim and H. Aldaikh, "A simple discrete model for interaction of adjacent buildings during earthquakes," *Computers and Structures*, vol. 124, pp. 1–10, 2013.
- [88] F. Nateghi-A and A. Rezaei-Tabrizi, "Nonlinear dynamic response of tall buildings considering structure–soil–structure effects," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 22, no. 14, pp. 1075–1082, 2013.
- [89] H. Wang, M.-. Lou, X. Chen and Y.-M. Zhai, "Structure–soil–structure interaction between underground structure and ground structure," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 54, pp. 31–38, 2013.
- [90] M. Alam and D. Kim, "Spatially varying ground motion effects on seismic response of adjacent structures considering soil-structure interaction," *Advances in Structural Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 131–142, 2014.
- [91] D. Ghiocel, O. Bogdan and D. Cretu, "Seismic structure-soil-structure interaction (SSSI) effects for dense urban areas," in *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, Türkiye, 2014.
- [92] J. Knappett, P. Madden and K. Caucis, "Seismic structure–soil–structure interaction between pairs of adjacent building structures," *Geotechnique*, vol. 65, no. 5, pp. 429–441, 2015.

- [93] H. Aldaikh, N. Alexander, E. Ibraim and J. Knappett, "Shake table testing of the dynamic interaction between two and three adjacent buildings (SSSI)," *Geotechnique*, vol. 89, pp. 219–232, 2016.
- [94] M. Ghandil, F. Behnamfar and M. Vafaeian, "Dynamic responses of structure–soil–structure systems with an extension of the equivalent linear soil modeling," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 80, pp. 149–162, 2016.
- [95] P. Kirkwood and S. Dashti, "A centrifuge study of seismic structure-soil-structure interaction on liquefiable ground and implications for design in dense urban areas," *Earthquake Spectra*, vol. 34, no. 3, pp. 1113–1134, 2018.
- [96] H.-F. Wang, M.-L. Lou and R.-L. Zhang, "Influence of presence of adjacent surface structure on seismic response of underground structure," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 100, pp. 131–143, 2017.
- [97] M. Bybordiani and Y. Arici, "Structure-soil-structure interaction of adjacent buildings subjected to seismic loading," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 48, pp. 731–748, 2019.
- [98] M. Çelebi, "Seismic responses of two adjacent buildings. I: Data and analyses," *Journal of Structural Engineering*, vol. 119, no. 8, pp. 2461–2476, 1993.
- [99] M. Çelebi, "Seismic responses of two adjacent buildings. II: Interaction," *Journal of Structural Engineering*, vol. 119, no. 8, pp. 2477–2492, 1993.
- [100] H. Mason, "Seismic performance assessment in dense urban environments," PhD thesis, UC Berkeley, 2011.
- [101] D. Clouteau, D. Broc, G. Devesa, V. Guyonvarh and P. Massinc, "Calculation methods of structure–soil–structure interaction (3SI) for embedded buildings: Application to nupec tests," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 129–142, 2012.
- [102] N. Trombetta, T. Hutchinson, H. Mason, J. Zupan, J. Bray, C. Bolisetti, A. Whittaker, Z. Chen and B. Kutter, "Centrifuge modeling of structure-soil-structure interaction: Seismic performance of inelastic building models," in *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 2012.
- [103] C. Boutin, J. Soubestre, L. Schwan and M. Dietz, "Multi-scale modeling for dynamics of structure-soil-structure interactions," *Acta Geophysica*, vol. 62, no. 5, pp. 1005–1024, 2014.
- [104] N. W. Trombetta, H. B. Mason, T. C. Hutchinson, J. D. Zupan, J. D. Bray and B. L. Kutter, "Nonlinear soil–foundation–structure and structure–soil–structure interaction: Centrifuge test observations," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 140, no. 5, p. 04 013 057, 2014.
- [105] V.-L. Ngo, J.-M. Kim, C. S.-H. and C. Lee, "Effect of height ratio and mass ratio on structure-soil-structure interaction of two structures using centrifugal experiment," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 3, 2014.

- [106] H. Ozmen, M. Inel, S. Senel and A. Kayhan, "Load carrying system characteristics of existing Turkish RC building stock," *International Journal of Civil Engineering*, vol. 13, no. 1, 2015.
- [107] M. İnel, H. Özmen, S. Şenel and A. Kayhan, "Mevcut betonarme binaların yapısal özelliklerinin belirlenmesi," in *Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu*, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [108] O. I. Corporation, *Avrupa Yakası Güneyi Mikrobölgeleme Çalışması (Yönetici Özeti)*. 2007.
- [109] B. M. Das, *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. Wadsworth Publishing, 2007.
- [110] R. Livaoglu, "The numerical and empirical evaluation of chimneys considering soil structure interaction and high temperature effects," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 66, 2014.
- [111] P. Schnabel, J. Lysmer and H. Seed, *SHAKE- A computer program for earthquake response analysis of horizontal layered sites*. Earthquake Engineering Research Center, Collage of Engineering, University of California, Berkeley, 1972.
- [112] ANSYS, *ANSYS version 18.1*. 2017.
- [113] G. Margrave and M. Lamoureux, *Numerical Methods of Exploration Seismology with Algorithms in MATLAB*. Cambridge University Press, 2019.
- [114] "Site response, soil-structure interaction and structure-soil-structure interaction for performance assessment of buildings and nuclear structures," MCEER University of Buffalo, New York, Rapor, 2015.
- [115] Y. Hashash, M. Musgrove, J. Harmon, D. Groholski, C. Phillips and D. Park, *Deepsoil 6.1 User Manual*. 2016.
- [116] E. Nofal, "Analysis of non-linear soil-pile interaction under dynamic lateral loading," PhD thesis, Kalifornia Irvine Üniversitesi, 1998.
- [117] A. Nielsen, "Absorbing boundary conditions for seismic analysis in Abaqus," in *2006 ABAQUS Users' Conference*, Boston, USA, 2006.
- [118] J. Rayleigh and R. Lindsay, *The Theory of Sound*. Dover Publications, 1945.
- [119] R. Tomeo, A. Bilotta, D. Ptilakis and E. Nigro, "Soil structure interaction effects on the seismic performances of reinforced concrete moment resisting frames," in *X International Conference on Structural Dynamics, EURODYN2017*, Roma, İtalya, 2017.
- [120] "TS 498: Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri," Türk standartları enstitüsü, Ankara, Standard, 1997.
- [121] Z. Celep, *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. Beta Basım Yayım, 2015.
- [122] Seismosoft, *SeismoArtif*. 2016.
- [123] B. Halldorsson and A. Papageorgiou, "Calibration of the specific barrier model to earthquake of different tectonic regions," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 95, no. 4, 2005.
- [124] G. Saragoni and G. Hart, "Simulation of artificial earthquakes," *Earthquake Engineering-and Structural Dynamics*, vol. 2, no. 3, 1974.

- [125] M. Mucciarelli, A. Spinelli and F. Pacor, “Un programma per la generazione di accelerogrammi sintetici “fisici” adeguati alla nuova normativa,” in *Proceedings of XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Genova, Italy, 2004.



Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgileri: mehmetada@outlook.com

Makale

1. M. Ada and Y. Ayvaz, "The Structure-Soil-Structure Interaction Effects on the Response of the Neighbouring Frame Structures," *Latin American Journal of Solids and Structures*, vol.16, no.8, 2019.

Konferans Bildirisi

1. M. Ada and Y. Ayvaz, "Investigation of the Cross Interaction between Closely Spaced Structures," 13th *International Congress on Advances in Civil Engineering*, İzmir, Türkiye, September 12-14, 2018.
2. M. Ada and Y. Ayvaz, "Structure-Soil-Structure Interaction Effects between Two Frame Structures," *International Civil Engineering and Architecture Conference*, Trabzon, Türkiye, April 17-20, 2019.