

T.C
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI ZEMİN TİRLERİNİN, YATAY DEPREM İVMELERİYLE
BERABER DÜŞEY DEPREM İVMELERİNE DE MARUZ KALAN PERDELİ
ÇERÇEVELİ BİNALARIN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

Melek ARSLAN

KASIM 2018

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Melek ARSLAN tarafından hazırlanan FARKLI ZEMİN TÜRLERİNİN, YATAY DEPREM İVMELERİYLE BERABER DÜŞEY DEPREM İVMELERİNE DE MARUZ KALAN PERDELİ ÇERÇEVELİ BİNALARIN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İlker KALKAN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ

Ortak Danışman

Doç. Dr. İlker KALKAN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Mehmet BARAN

Üye (Danışman) : Doç. Dr. İlker KALKAN

Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eda AVANOĞLU SICACIK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şule BAKIRCI ER

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Rahmetli Babama

ÖZET

FARKLI ZEMİN TÜRLERİNİN, YATAY DEPREM İVMELERİYLE BERABER DÜŞEY DEPREM İVMELERİNE DE MARUZ KALAN PERDELİ ÇERÇEVELİ BİNALARIN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ

ARSLAN, Melek

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü,

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. İlker KALKAN

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ

Kasım 2018, 77 sayfa

Bu tez çalışmasının temel amacı, rijit mesnetli (FS) ve yapı-zemin etkileşimli (SSI) yapı modelleri kullanarak, farklı zemin türleri için çok katlı yarı sünek (perde + çerçeve) betonarme yapılarda düşey deprem hareketinin etkisini incelemektir. Bu kapsamda, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı yapılmış 10 katlı betonarme yapılar dikkate alınmıştır. Maksimum düşey / yatay deprem ivmesi (V/H) oranları farklı olan üç deprem kaydına göre zaman tanım alanında doğrusal deprem analizleri yapılmıştır. Rijit mesnetli yapı, çubuk, kabuk ve plak sonlu eleman türleri kullanılarak yarı sünek olarak modellenmiştir. Yapı-zemin etkileşimli model için literatürde sıklıkla kullanılan direk metot kullanılmıştır. Yakın alan etkisi için zemin, temel boyutunun beş katı boyutlarında bir zemin ortamı tanımıyla solid bir eleman olarak ve yapı temeli ile bütünleşik şekilde modellenmiştir. Uzak alan etkisi ve ana kaya için ise, sırasıyla sönümleyici ve sabit mesnet tanımı yapılmıştır. Düşey deprem hareketinin etkisini belirlemek için, taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, taban eksenel kuvveti, tepe kat yatay ve düşey yer değiştirmesi değişkenleri incelenmiştir. Her iki modelleme türünde de (rijit mesnetli ve yapı-zemin etkileşimli), sadece yatay ile yatay + düşey yer hareketleri altında yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yapılan bu analizler sonucu, zemin türünden bağımsız olarak düşey deprem hareketinin taban kesme kuvveti üzerinde etkisinin olmadığı (SSI ve FS modellerinin her ikisi için de) belirlenmiştir. Fakat SSI ile FS modelleri, değersel olarak karşılaştırıldığında SSI modelinin daha kritik sonuçlar verdiği görüldüğünden analizlerin SSI modeli üzerinden yapılmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir. Tüm zemin türleri için iki modelden elde edilen devrilme momenti değerlerinin birbirine yakın olduğu fakat düşey deprem hareketinin analizlere katılmasının devrilme momentini önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir. Bu durum her iki modelleme durumu için geçerli olmasına rağmen SSI modelinin dikkate alınması gerekmektedir. Beklenildiği gibi düşey deprem etkisi her iki modelleme durumunda da (FS ve SSI) taban kesme kuvvetini önemli derecede arttırmakta ve bu artış FS modelinde daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu sonuç, zemin ortamının yer değiştirmelere izin vererek eksenel kuvveti sönümlediğini göstermektedir. Tepe kat yatay yer değiştirme ile taban kesme kuvveti arasındaki doğrudan ilişkiye dayanarak, tepe kat yatay yer değiştirme değerlerine düşey deprem hareketinin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde tepe kat düşey yer değiştirme ile taban eksenel kuvveti arasındaki doğrudan ilişkiye dayanarak, tepe kat düşey yer değiştirme değerlerinde düşey deprem hareketinin etkisiyle büyük artışlar gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı – Zemin Etkileşimi, Düşey deprem etkisi, Zemin türleri, Betonarme yüksek bina, Sonlu eleman modeli.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL TYPES THE ON SEISMIC BEHAVIOR OF SEMI-DUCTILE R/C FRAME-SHEAR WALL STRUCTURES SUBJECTED TO VERTICAL EARTHQUAKE ACCELERATIONS AS WELL AS HORIZONTAL ACCELERATIONS

ARSLAN, Melek

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Master Thesis

Supervisor: Doç. Dr. İlker KALKAN

Co-Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ

November 2018, 77 pages

The main aim of the present study is to identify the effect of the vertical ground motion on semi-ductile high-rise reinforced concrete (R/C) structures, considering different soil types and by using structural models with fixed supports (FS) or with soil-structure interaction (SSI). In this sense, a high-rise semi-ductile in-service R/C structure that was designed according to the 2007 Turkish Seismic Code was utilized in the linear time-history (LTH) analyses. LTH analyses were conducted for three earthquake records with different vertical-to-horizontal maximum acceleration ratio (V/H). Frame, shell and plate finite elements were used to obtain a semi-ductile FS model with no soil media, whereas the Direct Method, commonly preferred in the literature, was used in SSI analyses. In the SSI model, the near soil field effect was defined with the help of a soil media with the dimensions about 5 times the dimensions of the mat foundation of the structure. The soil media was modeled as integrated with the mat foundation and as a solid element. For the far-field effect and the main bedrock, on the other hand, non-linear damper element and fixed-support definitions were realized. The base shear force, base overturning moment, base axial force, top-story lateral and vertical displacement values were examined to establish the influence of the vertical seismic motion on the structure and comparative conclusions were presented.

The conducted analyses showed that in both SSI and FS models, the vertical earthquake motion did not influence the base shear force regardless of the soil type. However, the increase in the base-shear force obtained from the SSI model was observed to be higher than that from FS, so the SSI model was recommended to be used in the seismic analyses of structures. Similarly, no considerable increase in the overturning moment was observed both in the SSI and FS models. Nevertheless, the incorporation of the vertical earthquake motion to the analyses resulted in considerable increases in the values of the overturning moments in both types of models. Although similar conclusions were achieved from both types of models, the use of the SSI model is recommended over the FS owing to its various advantages. As expected, the base shear force values are affected to considerable degrees with the inclusion of the vertical ground motion and this increase reaches higher values in FS models. The lower increase in the SSI models is associated with the ability of the soil zone to absorb the vertical force. Depending on the direct relationship between the top-story horizontal displacement and the base shear force, the inclusion of the vertical seismic motion was found to have little influence on the top story horizontal displacement values. Related to the direct relationship between the top-story vertical displacement and the base axial force, the inclusion of the vertical seismic motion resulted in significant increases in the top-story vertical displacement values.

Keywords: Soil-Structure interaction (SSI), Horizontal earthquake effect, Soil types, high-rise reinforced concrete structure, finite element model.

TEŞEKKÜR

Tez süresi boyunca bilgi, destek, anlayış ve tecrübesiyle çalışmalarına yön veren danışmanım, değerli hocam, Doç. Dr. İlker Kalkan 'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda her ihtiyacım olduğunda bilgi ve yardımıyla destek olan değerli hocam, Dr. Öğr. Üyesi Selçuk Baş'a teşekkür ederim. Yine bilgi, emek ve zamanını paylaştan hocam, Arş. Gör. Serdar Allı'ya teşekkür ederim.

Yüksek Lisans Eğitim'ime başlamaya teşvik eden, bilgi, anlayış ve tecrübelerini çalışma hayatım boyunca aktaran patronum Selim Kayışoğlu'na teşekkür ederim.

İş ve özel hayatımda hep yanımda, destekcim, kardeşim ve şefim Zeynep Kayışoğlu'na teşekkür ederim.

Mesleki ve özel hayatımda bilgisi, yönlendirmesi, cesaretlendirmesiyle yanımda olan manevi oğlum Arş. Gör. Selahaddin Akalp'e teşekkür ederim.

Yüksek Lisans arkadaşım, vefalı ve samimi meslektaşım Ebru Kahraman'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda bana kılavuzluk eden, çalışma ve özel hayatımın her alanında yardımcı, dostum Mukadder Sevinç Yıldız'a teşekkür ederim. Tüm mesai arkadaşlarıma da ayrıca teşekkürler...

Ailem, eşim ve çocuklarıma da sonsuz teşekkürler...

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özetleri.....	3
2. BETONARME BİNALARIN DEPREM HESABINDA KULLANILAN LİNEER HESAP YÖNTEMLERİ VE YAPI - ZEMİN ETKİLEŞİMİ	13
2.1. Deprem Etkisindeki Binaların Hesap Esasları.....	13
2.2..Betonarme Binaların Deprem Hesabında Kullanılan Lineer Hesap Yöntemleri	16
2.2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	17
2.2.2.Dinamik Yöntemler.....	20
2.2.2.1. Mod Birleştirme Yöntemi	20
2.2.2.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi	24
2.3. Yapı -Zemin Etkileşimi.....	25
2.4. Yapı -Zemin Etkileşiminde Zemin Ortamı	26
2.5. Yapı -Zemin Etkileşiminde Deprem Etkisi.....	28
2.6. Yapı -Zemin Etkileşiminde Analiz Yöntemleri.....	28
2.6.1. Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi	29
2.6.2. Altsistem Analiz Yöntemi.....	30
2.6.2.1. Altsistem Analiz Yöntemi Adımları	31
2.6.2.1.1. Kinematik Etkileşim	31
2.6.2.1.2. Ataletsel (İnertial) Etkileşim.....	32

2.7. Kinematik Etkileşim ve Ataletsel (İnertial) Etkileşim Etkisinin Birleştirilip Değerlendirilmesi	32
3. ÇOK KATLI BETONARME YAPININ ÖZELLİKLERİ VE NUMERİK MODEL	34
3.1. Deprem Kayıtları	34
3.2. Yapı Bilgileri	36
3.3. Yapı Sonlu Eleman Modeli.....	38
3.4. Modal Analiz	39
4. YAPI-ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE MODELİ.....	42
5. ZAMAN TANIM ALANINDA LINEER ANALİZ (ZTALA).....	45
5.1. D Tipi Zemin Türü için Analiz	45
5.2. B Tipi Zemin Türü için Analiz	68
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Beton ve Donatı Çeliğinin Davranışları ve Özellikleri	14
3.1. Deprem Kayıtlarının Özellikleri	35
3.2. Genel Yapı Özellikleri ve Yapısal Parametreler	38
3.3. Rijit Mesnetli Modelin Modal Analiz Sonuçları	41
4.1. Yapı-zemin Etkileşimli Modelde Kullanılan Zemin Türleri	43
5.1. D Tipi Zemin Türü Taban Kesme Kuvveti Sonuçları	45
5.2. D Tipi Zemin Türü Devrilme Momenti Sonuçları	46
5.3. D Tipi Zemin Türü için Taban Eksenel Kuvveti Sonuçları	46
5.4. D Tipi Zemin Türü için Tepe Kat Yatay Yer değiştirme Sonuçları	47
5.5. D Tipi Zemin Türü için Tepe Kat Yatay Düşey Yer değiştirme Sonuçları	47
5.6. B Tipi Zemin Türü için Taban Kesme Kuvveti Sonuçları	68
5.7. B Tipi Zemin Türü için Devrilme Momenti Sonuçları	68
5.8. B Tipi Zemin Türü için aban Eksenel Kuvveti Sonuçları	68
5.9. B Tipi Zemin Türü için Tepe Kat Yatay Yer değiştirme Sonuçları	69
5.10. B Tipi Zemin Türü için Tepe Kat Yatay Düşey Yer değiştirme Sonuçları	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
2.1. Lineer Hesap Yöntemleri Belirleme Koşulları	17
2.2. Kütleli Atalet Momenti Hesabı için Tipik Bir Döşeme Şekli.....	21
2.3. Yapı - Zemin Etkileşimi Davranışı	26
2.4. Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi	29
2.5. Altsistem Analiz Yöntemi.....	30
3.1. Analizlerde Kullanılacak Deprem Kayıtları.....	34
3.2. Kayıtlarının İvme Tepki Spektrumları	35
3.3. Kayıtların FFT ve Etkin Sürelerinin Elde Edilmesi.....	36
3.4. Analizlerde Dikkate Alınacak Betonarme Yapının Özellikleri	37
3.5.a) Yapı Sonlu Eleman Modeli	39
3.5.b) 3 Boyutlu Görünüş	39
3.6.a) Yatay Doğal Titreşim Modu	40
3.6.b) Düşey Doğal Titreşim Modu	40
4.1. Yapı-Zemin Etkileşim Modelinin Şematik Gösterimi	42
4.2. Yapı-Zemin Etkileşimli Sonlu Eleman Modeli.....	44
5.1. H Yüğü Altında Taban Kesme Kuvveti	48
5.2. H Yüğü Altında Devrilme Momenti	49
5.3. H Yüğü Altında Taban Eksenel Kuvveti	50
5.4. H Yüğü Altında Tepe Kat Yatay Yer değiştirmesi	51
5.5. H Yüğü Altında Tepe Kat Düşey Yer değiştirmesi	52
5.6. H + V Yüğü Altında Taban Kesme Kuvveti.....	53
5.7. H + V Yüğü Altında Devrilme Momenti	54
5.8. H + V Yüğü Altında Taban Eksenel Kuvveti	55
5.9. H + V Yüğü Altında Tepe Kat Yatay Yer değiştirmesi Sonuçları.....	56
5.10. H + V Yüğü Altında Tepe Kat Düşey Yer değiştirmesi Sonuçları	57
5.11. Rijit Mesnetli Modelin H ve H + V Yüğünün Taban Kesme Kuvveti türünden karşılaştırılması	58
5.12. Rijit Mesnetli Modelin H ve H + V Yüğünün Devrilme Momenti türünden karşılaştırılması	59

5.13.	Rijit Mesnetli Modelin H ve H + V Yükünün Taban Eksenel Kuvveti türünden karşılaştırılması	60
5.14.	Rijit Mesnetli Modelin H ve H + V Yükünün Tepe Kat Yatay Yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması.....	61
5.15.	Rijit Mesnetli Modelin H ve H + V Yükünün Tepe Kat Düşey Yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması.....	62
5.16.	Yapı - Zemin Etkileşimli Modelin H ve H + V Yükünün Taban Kesme Kuvveti türünden karşılaştırılması	63
5.17.	Yapı - Zemin Etkileşimli Modelin H ve H + V Yükünün Devrilme Momenti türünden karşılaştırılması	64
5.18.	Yapı - Zemin Etkileşimli Modelin H ve H + V Yükünün Taban Eksenel Kuvveti türünden karşılaştırılması	65
5.19.	Yapı - Zemin Etkileşimli Modelin H ve H + V Yükünün Tepe Kat Yatay Yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması.....	66
5.20.	Yapı - Zemin Etkileşimli Modelin H ve H + V Yükünün Tepe Kat Düşey Yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması.....	67

SİMGELER DİZİNİ

A	Efektif düğüm noktası alanı
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
A_i	i. katın alanı
$A(T_1)$	Spektral ivme katsayısı
C_h	Yatay viskoz sönüm katsayısı
C_v	Düşey viskoz sönüm katsayısı
d_{fi}	Binanın i. katında F_{fi} yükünlerine bağlı olarak hesaplanan yer değiştirme
F_{fi}	i. kata etkiyen fiktif yük
F_i	i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
g	Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)
g_i	i. kat sabit yüklerinin toplamı
I	Bina önem katsayısı
I_{xg}	Kat döşemelerinin x_g eksenine etrafındaki atalet momenti
I_{yg}	Kat döşemelerinin y_g eksenine etrafındaki atalet momenti
m	i. katın kütlesi (w_i / g olup kütlenin döşemeye üniform yayıldığı varsayılır.)
m_i	Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
$m_{\theta i}$	Binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütleli atalet momenti
M_n	n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
M_{xn}	Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{yn}	Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
N	Binanın temel üstünden toplam kat sayısı (bodrum katlarda rijit çevre perdeleri varsa zemin üstünden toplam kat sayısıdır)
n	Hareketli Yük Katılım Katsayısı
q_i	i. kat hareketli yüklerinin toplamı

$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$S(T)$	Spektrum Katsayısı
$S_{ae}(T)$	Elastik Spektral İvme
T_1	Binanın Birinci Titreşim Periyodu
V_p	Basınç kesme dalgası hızı
V_s	Kesme dalgası hızı
V_t	Taban Kesme Kuvveti
W	Toplam Bina Ağırlığı
W	Kat ağırlıkları
Y	Hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı
Φ_{xin}	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci modşeklinin i'inci katta x eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni
Φ_{yin}	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci modşeklinin i'inci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni
$\Phi_{\theta in}$	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod
λ	Deprem yer ivmesinin yıllık aşılma olasılığı
η_{bi}	i'inci katta tanımlanan burulma düzensizlik katsayısı
ΔF_N	Binanın en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
ρ	Yoğunluk

KISALTMALAR DİZİNİ

ASCE	American Society of Civil Engineer
CQC	Tam Karesel Birleştirme Yöntemi
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EERC	National Information Service for Earthquake Engineerring
EDY	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
EUROCODE	Avrupa Yapı Tasarımı Yönetmeliğı
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FFT	Fast Fourier Transform
FS	Fixed Supports (Rijit Mesnetli)
H	Depremlerin en büyük yatay ivmesi
IS	Indian Standard
LTHA	Lineer Time-History Analizi
LUSAS (FEM)	Infrastructure desing software
PEER	The Pacific Earthquake Engineering Research Center
PGA	Kuvvetli yer hareketi kayıtların pik ivme değeri
SAP 2000	Structural Analysis Program
SCT	Secretary of Communications and Transportatin
SRSS	Karelerinin Toplamının Karekökü Yöntemi
SSI	Soil – Structure Interaction (Yapı–Zemin Etkileşimi)
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı
UBC	Uniform Building Code
UNAM	Universidad Nacional Autonomade Mexico
V	Depremlerin en büyük düşey ivmesi
Y.A.S.	Yeraltı su seviyesi

1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir çoğunluğu aktif fay hatlarının tesiri altındadır. Bu sebeple deprem ülkemizde dikkate alınması gereken en büyük tehlikelerden biridir. Dolayısıyla depreme karşı güvenli yapı tasarımı mühendislik açısından önem kazanmaktadır.

Uzun yıllardır yapı tasarımları sırasında, depremin yatay etkisi dikkate alınmıştır. Oysa 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nde oldukça yüksek düşey ivme değerleri kaydedilmiştir. Bu durum göstermektedir ki; deprem yer hareketi sırasında oluşan düşey hareketlerin de yatay hareketler kadar dikkate alınması gerekmektedir.

Papazoglou (1996) bu konuyu şöyle değerlendirmektedir;

“Yakın geçmişte meydana gelen Northridge (1994, ABD) ve Kobe (1995, Japonya) depremlerinde alışılmışın üzerinde düşey deprem ivmeleri kaydedilmiş ve bu şiddetli depremler, depreme dayanıklı tasarım ilkelerinin en son şeklinin uygulandığı bölgelerde ve yapılarda dahi, yatay bileşenlerinin sebep olabileceğinden çok daha ağır ve doğrudan düşey bileşenlerine atfedilebilecek yıkılmalar ve ciddi yapısal hasarlar meydana getirmiştir.” [1]

Binaların mimari tasarımı ve taşıyıcı sistem tasarımı olarak ilk akla gelen bu aşamalar, güvenlik için önemli etkenlerdir. Herhangi bir yapının tasarımı, boyutlandırılması yapılırken; önce yapıların kendi ağırlığı ve üzerine gelecek yükler esas kabul edilir. Böylece başka etkiler olmadan yapıların stabilitesi, güvenliği ve dayanımı bunlara göre belirlenir. Ancak yapıları etkileyen kar, rüzgâr gibi dış ek yüklerin ayrıca deprem, çığ, sel, heyelan gibi doğal afetlerin dinamik yükleri de tasarım ve boyutlandırma için gerekli sebeplerdir. Depreme dayanıklı binaların tasarımı ve boyutlandırılmasında, esas yükler yanında deprem etkisi dinamik yükleri de güvenlikle karşılaması gerekmektedir.

Deprem etkisine karşı güvenli ve dayanıklı yapıların oluşturulmasında önem taşıyan unsurlardan biri de, yapıların oturacağı zemin ortamının özelliklerinin gerektiği ölçüde bilinmesi ve hesaplara aktarılmasıdır. Zemin özellikleri, deprem yer hareketinin genliğini, frekans içeriğini ve süresini değiştirmektedir. Yumuşak zeminlerin deprem dalgalarını büyüttüğü ve hasarlarda önemli rolü olduğu bilinmektedir. Yapı, deprem sırasında zeminde oluşan periyotlar dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Deprem hareketinin zemin üzerindeki etkisi incelenirken, ana kayadan gelen deprem hareketinin zemin içindeki dağılımı incelenmektedir. Ancak, bu bilgi zemin-yapı ilişkisinin tam ifade edilmesi açısından yeterli değildir. Deprem esnasında zemin ve üzerine oturan yapı birlikte hareket edeceklerdir. İkisinin davranışları arasındaki uyum önem kazanacaktır. Deprem sırasında yapı üzerine etkiyen ivmenin ortaya çıkardığı yapı frekansı ile zemin frekansının birbirine eşit olması sonucu frekanslar çakışmakta ve rezonans oluşarak yapılarda ciddi hasarlar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, farklı zeminlere oturan çok katlı betonarme yapılarda yatay deprem hareketinin yanı sıra düşey deprem hareketinin analizlere katılmasının yapı davranışına etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, zeminin rijit olarak modellendiği (FS) ve yapı-zemin etkileşiminin dikkate alındığı (SSI) iki farklı yapısal modelleme esası dikkate alınmıştır. Düşey deprem hareketinin farklı zeminlere oturan yapıların iç kuvvet ve deplasmanlarına etkileri, bu yapısal modeller üzerine yapılan zaman tanım alanında doğrusal analizler (LTHA) yardımıyla belirlenmiştir. Bu analizlerde, düşey bileşkesinin yatay bileşkesine oranı farklı olan deprem kayıtları kullanılarak, düşey deprem hareketinin büyüklüğünün yapı üzerindeki tesirleri ifade edilmeye çalışılmıştır.

1.1. Literatür Özeti

İlhan tarafından yapılan çalışmada, 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi sonucunda Yalova'nın merkezinde oluşan hasarlarda yerel zemin sınıflarının etkisi araştırılmıştır. Yalova için binaların hasar düzeyleri değerlendirildiğinde; kıyı bölgelerde bulunan binalardaki hasarlar az düzeyde ve orta düzeyde kalırken, Hacımehmet Ovası ile iç mahallelerde hasarlar ağır düzeylere çıktığı görülmüştür. Hasarların oluşumu ve düzeylerinde sınıflama potansiyeli etkileri de değerlendirilmiştir. Ağır hasarların sebepleri arasında havza zeminin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sınıflanan zemin ortamının hasarların oluşumuna sebep olduğu, sınıflanan zemin katman kalınlıkları da hasarların düzeylerini etkilediği görülmüştür. Binalarda az hasarların olduğu zemin ortamları değerlendirildiğinde sınıflama olayı olmadığı ve binaların 1- 3 katlı olduğu için deprem genliklerinin sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. [2]

Eren tarafından yapılan çalışmada Türk Deprem Yönetmeliği-2007'de, can güvenliği performans seviyesi için deprem yer hareketinin yatay bileşenleri etkilerine düşey bileşenlerinin etkileri de dâhil edilerek yeni bir betonarme yapıdaki tepkiler incelemiştir. Zaman Tanım Alanında Nonlinear Hesap Yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda tipik ve düzgün geometrili konut yapılarında düşey spektral depremin çok fazla etkili olmadığı görülmüştür. TDY 2007 içerisinde verilen yatay deprem spektrumları ile yapı analizi yapmak yeterli görülebileceğini, fakat açıklığı fazla olan, planda ve düşeyde düzensizliği olan yapı tiplerinde düşey deprem spektrumlarının ayrıca incelenmesinde önemli olacağını belirtmiştir. Ayrıca ülkemizdeki kayıtların geneline bakıldığı zaman, güncel diğer yönetmeliklerin genelinde kabul edilen yatay bileşenin 2/3 katı olan düşey ivme bileşeni değerleri kabul edilebileceğini, düşey ivmenin kolon ve perde elemanlarının eksenel kuvvetlerinin artırdığı, ama yatay kat deplasmanları ve taban kesme kuvveti üzerinde belirgin bir değişiklik yapmadığı gözlemlenmiştir. [3]

Uçar tarafından yapılan çalışmada, binalar 3-4 katlı, 5-6 katlı ve 7-8 katlı betonarme yapılar olup Artımsal İtme Hesap Yöntemi ile SAP 2000 Programı ile analiz yapılmıştır. 3 ayrı deprem bölgesi ve 2 ayrı yerel zemin sınıfı seçilerek kıyaslamalar

yapılmıştır. Modal yer değiştirme aralıkları hasar görebilme düzeylerine göre yani hasarsızlık, hafif hasar, orta hasar, ileri hasar ve göçme olacak şekilde değerlendirilmiştir. Sonuçlar kıyaslanarak birikimli hasar ve ayrıık hasar olasılıkları tablolarla gösterilmiştir. Betonarme binalarda uzun ve kısa kenar doğrultularında bulunan, etkin olan kolonların adetleri yaklaşık aynı olduğunda binanın zayıf doğrultusunun kısa kenar olduğu g r lm ştir. Kolonların etkin olduğu uzun kenar doğrultusunda y k dayanımları ve yer değiştirme kapasiteleri artmıştır. Ancak binanın her iki doğrultusundaki kolon etkin yönlerinin orantılı dağılımının olduğu binalarda y k dayanımları ve yer değiştirme kapasiteleri de aynı oranlarda seyretmişdir. Ayrıca betonarme binaların taşıyıcı sistemini oluşturan çerçevelerin düzgün yük aktarımını sağlayabilecek şekilde plandaki her iki doğrultuda sürekli olması, yine binanın yatay yük dayanım ve yer değiştirme kapasitesini artırmıştır. [4]

Ghobarah vd., ACI 318-63 kurallarına uygun tasarlanarak inşaa edilmiş mevcut üç katlı betonarme bir bina ile daha yeni bir yönetmeliğe (National Building Code of Canada) göre tasarlanan benzer betonarme bina kıyaslanmıştır. Farklı iki yönetmeliğin kuralları ve betonarme binaların deprem performansları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Binalar  ık sayıda yapay oluşturulan deprem yer hareketleri esas alınarak ve doğrusal olmayan statik ve doğrusal olmayan dinamik analizlerle hesaplanmıştır. Analizlerin sonuçlarıyla, farklı yer hareketlerinin oluşturduğu hasar düzeyleri belirlenmiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yapı güçlendirmeleri için ulaşılan bu bilgiler önemlidir. [5]

Shehata E. vd. tarafından yapılan çalışmada, zemin-yapı etkileşimini içeren doğrusal olmayan dinamik analiz yapılarak sismik tepki karakteristiklerini değerlendirilmiştir. Büyük deprem yer hareketi altında doğrusal olmayan zemin-temel-üstyapı etkileşim sisteminin daha gerçekçi yaklaşım için, sonlu elemanlar tekniği kullanılarak ve Artımsal İtme Analizi ile hesaplamalar yapılmıştır. Zemin - temel etkileşimini modellenirken, doğrusal olmayan Winkler zemin - temel modeli ve doğrusal Lumped-parametre zemin modeli kullanılmıştır. Doğrusal olmayan Winkler metodun, doğrusal Lumped Parametre metodu ile karşılaştırıldığında daha büyük dönme açıları ve daha k  k  eğilme momentleri elde edilmiştir. Zemin ortamının doğrusal olmayan davranışı, yapı- zemin etkileşimi etkileri için kapasite ve yer değiştirmelerde önemli

değişiklikler meydana getirmiştir. Nümerik sonuçlar basitleştirilmiş model analizinin tepe tepkisi için iyi bir tahmin sağladığını, ancak ivme tepkisini abartıldığı ve üstyapı–iskele arasındaki ankrajlarda oluşan çekme kuvvetinin ise azaldığını göstermiştir. Temelde meydana gelen gerilmeler ve zımbalama tepkileri de deprem etkisiyle önemli ölçüde artmıştır. Daha çok yönlü değerlendirmeler için farklı zemin etkilerinin de araştırma konusu yapılması tavsiye edilmiştir. [6]

Ekinci tarafından yapılan çalışmada, çok katlı üç farklı tasarlanmış betonarme yapılarda Eşdeğer Deprem Yüğü, Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemleri kullanılarak her bir yapının toplam kat kesme kuvvetleri ve yer değiştirmelerini 1997 Deprem Yönetmeliğine göre SAP2000 programıyla hesaplanmıştır. Zaman Tanım Alanı Hesap Yöntemi için, El- Centro Depremi, Kobe Depremi ve Mexico City Depremi kayıtları kullanılmıştır. Bina tiplerinin analizinde Mod Birleştirme ve Eşdeğer Deprem Yüğü ile yapılan analiz sonuçlarının uyumlu olduğu, ancak Zaman Tanım Alanında yapılan analizlerden elde edilen kuvvet ve deplasman değerleri ise tamamen seçilen veya türetilcek olan ivme kayıtlarının büyüklükleriyle orantılı olarak değiştiğini belirtilmiştir. Farklı hesap yöntemlerinin hassasiyetleri ayrıntılı olarak kıyaslanarak değerlendirilmiştir. [7]

Baş vd. tarafından yapılmış deneysel ve analitik çalışmalarda önemli bir parametre olarak ortaya çıkan düşey deprem etkisi, Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak tasarlanmış çok katlı betonarme bir yapı üzerinde inceleme yapılmıştır. Analizler, SAP 2000 programıyla, Doğrusal ve Zaman Tanım Aralığında Hesap yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Imperial Valley Depremi, Kobe Depremi ve Kocaeli Depremi gerçek kayıtları kullanılmıştır. Deprem kayıtları seçiminde depremin düşey ivme değerinin yatay ivme değerine oranları göz önüne alınmıştır yani düşey deprem ivmesinin daha etkili olan depremler tercih edilmiştir. Önce dikkate alınan depremin iki yatay bileşeni yapıya aynı anda etki ettirilerek analizler yapılmış daha sonra aynı analizler depremin düşey bileşeni de dikkate alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda, düşey deprem etkisinin taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve düşey yer değiştirme değerlerini önemli oranda arttırdığı, çalışma kapsamında dikkate alınan en üst kat yatay yer değiştirme ve burulma açısı değerlerinde herhangi bir değişim olmadığı belirtilmiştir. Düşey yer değiştirmedeki artışın yapıların dinamik analizlerinde ve tasarımlarında yapılan rijit

diyafram kabulünün geçerliliğini yitirmesine sebep olacağına değinilmiştir. Taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve düşey yer değiştirmelerdeki artışlarda en önemli parametrenin V/H oranı olduğu ve deprem süresinin yer değiştirmeleri kayda değer oranlarda etkilemediği gözlemlenmiştir. Ancak deprem süresi arttıkça taşıyıcı elemanlarda ortaya çıkan yapısal hasarlar yapının yanal rijitliğini azaltıp, yer değiştirmeleri dolaylı olarak arttığı sonucuna da varılmıştır. Binaların deprem performanslarının doğru değerlendirilebilmesi için, düşey deprem etkisinin yapısal değişimlerde etkili olduğu ve dikkate alınmasının gerekliliği savunulmuştur. [8]

Korkmaz K. tarafından yapılan çalışmada, Yapı- Zemin etkileşimi mutlak suretle değerlendirilmesi gerekliliği savunulmuştur. Bu çalışma ile farklı zemin ortamlarının etkileri ve rijit mesnetleme durumları karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar doğrusal olmayan analizlerle yapılmıştır ve yapısal davranışlar değerlendirilmiştir. Genellikle yapı analizlerinde zemine ortamına bağlanan düşey taşıyıcı elemanların rijit mesnetler şeklinde tanımlandığı ancak zeminin etkilerinin ve tepkilerinin yapı tasarımını değiştirebileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla yapı –zemin birlikte tanımlanarak analizler yapılmalıdır. Zemin etkisini yarı sonsuz elastik bir ortam olarak ve farklı rijitlikte doğrusal olmayan yaylarla tanımlanarak verilmiştir. Yapıyı oluşturan malzemelerin doğrusal olmayan davranışı tanımlanırken plastik mafsallı kabulü göz önüne alınmıştır. İkinci mertebe etkileri için ise, elasto – plastik teori değerlendirilmiştir. Özellikle zemin ortamının kötü olması durumlarında yapı periyotları değişmektedir. Değişen yapı periyotları ise kesitlere gelen yük dağılımlarını ve yatay yer değiştirmeleri etkilediği görülmüştür. Değişen yer değiştirmelerin etkisiyle de ikinci mertebe etkileri artırmıştır. Zayıf dayanıma sahip zemin ortamları yapılarda özellikle ilk katta bulunan kolonların burulmasına ve yumuşak kat davranışına benzeyen sonuçlar oluşturmuştur. Çalışmada deprem ve zemin etkilerinin birlikte değerlendirilerek, yapıların gerçek davranışını yansıtmak amaçlanmıştır. [9]

Çetin vd. tarafından yapılan çalışmada, deprem - zemin - temel - yapı etkileşiminin geoteknik ve deprem mühendisliği açısından tartışılmış, konuya ilişkin teorik bilgi ve mevcut şartname önerilerine değinilmiştir. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin

ortamları deprem yükleri etkisinde değişik tepkiler sergilemektedir. Yumuşak zeminler deprem dalgalarını büyötmektedir. Bu nedenle yumuşak zemin ortamlarında zemin-temel-yapı etkileşimi daha karmaşık bir sorun ve problem olmaktadır. Kaya zemin ortamında bulunan yapıların temellerinde deprem etkilerine bağılı fark deformasyonlar oluşmamaktadır. Ancak yumuşak ve gevşek zemin ortamlarındaki yapılarda deprem yer hareketi etkisiyle farklı temel- yapı deformasyonları meydana gelmektedir. Yapı – temel -zemin davranışı değerdendirildiğinde analizlerde problemi kolaylaştırmak alt sistem yöntemleri kullanılabileceğı, üstyapı için yapılacak eylemsizlik etkileşim analizleri yapının doğrusal olmayan davranışının ve deprem etkileşimin göz önüne alınabilmesi için mutlaka zaman tanım uzayında gerçekleştirilmesi gerektiğı söylenmiştir. [10]

Ansal tarafından yapılan çalışmada, deprem yer hareketinin etkileriyle zemin tabakalarında oluşan tepkileri tahmin edilmesinin önemi vurgulanmıştır. Deprem yer hareketlerinin özellikleri, sıvılaşma olayı ve toprak kayması gibi etkilerin jeolojik sahaya özel koşullar yapısal tasarım için gerekmektedir. Karmaşık zemin koşullarının ve katmanlarının doğrusal olmayan elastik davranışları dikkate alınarak iki veya üç boyutlu analizlerle hesaplamalar değerdendirilmelidir. Türkiye’de 1992 Erzincan Depremi, 1995 Dinar Depremi ve 1999 Düzce Depremi hasar dağılımları incelendiğinde saha koşullarının etkileri görölmüştür. “Microbölgeleme” olarak adlandırılan sismik zemin koşulları ve özelliklerinin bölgesel olarak belirlenmesinin önemi, deprem risklerini azaltmakta etkileri üzerinde durulmuştur. [11]

Ansal ve Tönük tarafından yapılan çalışmada, Türkiye deki yüksek ivme seviyelerinin gözlemlendiğı depremlerden alınan ivme –zaman kayıtları değerdendirilmiştir. Zeminlerin doğrusal olmayan davranışları önce İstanbul ve Dinar’da kaydedilen ivme kayıtlarından incelenmiştir. Bu ivme kayıtları için hem zemin üstündeki istasyonlardan hem de bu istasyonlara yakın mühendislik kayası üstündeki istasyonlardan alınan, en büyük ve spektral ivmeler karşılaştırılmıştır. Mühendislik kayası üzerinde yakın istasyonların bulunmadığı durumlarda yatay – düşey yer hareketi Fourier Spektrum Oranları değerdendirilerek zeminin doğrusal olmayan davranışlarına etken deprem şiddetlerinin değerdeleri incelenmiştir. Klasik yöntemlerle yapılan tasarım spektrumları ve tasarım ivmelerinin gerçek zemin – yapı davranışını

göstermediği anlatılmıştır. Deprem şiddetinin artması zemindeki doğrusal olmayan davranışların ortaya çıkması sebeplerinden olduğu söylenmiştir. Yerel zemin etkileri şiddetli yer hareketleri etkisiyle birleşince zemin amplifikasyon oranları pik ivmelerden hareketle hesaplanmaktadır. En çok doğrusal olmayan etkiye sebep olan yumuşak alüvyon çökellerinde hesaplanan zemin amplifikasyon oranları önemi belirtilmiştir. [12]

Farklı zeminlerde deprem dalgaları da farklı etkiler verirler. Yumuşak zeminlerin deprem dalgalarını büyüttüğü ve hasarlarda önemli rolü olduğu bilinmektedir. Bu konuda 17 Ekim 1989 Loma Prieta depremi veya diğer adıyla 89 Sarsıntısı ve 19 Eylül 1985 Mexico City depremleri için sıkı ve yumuşak zeminler farklı düzeylerdeki bu etkiler araştırılmıştır. 19 Eylül 1985 Mexico City depreminden en büyük hasar ve en yüksek ivme kayıtları, deprem kaynağından 400 km. uzaklıkta ayrıca yumuşak zemin üzerindeki bulunan yapılarda olmuştur. Mexico City Depremi olmadan önce; Universidad Nacional Autonomade Mexico (UNAM), Secretary of Communications and Transportatin (SCT) gibi kayıt sahalarının istasyonları yerleştirilmiştir. UNAM istasyonunun bulunduğu zemin 3 – 5 m. bazalttan oluşuyorken, SCT istasyonunun bulunduğu zemin ise göl etkisinde olan yumuşak zeminden oluşmaktadır. Mexico City Depremi yapısal hasar açısından oldukça ilginç ama nedenleri gayet belirgin olan bir depremdir. SCT istasyonunun bulunduğu yumuşak çökellerin sebebiyle en büyük hasar olurken, bazalt zeminin bulunduğu zeminde yapısal hasar önemsenmeyecek kadar az olmuştur. [13]

Türker ve İrtem tarafından yapılan çalışmada, deprem yer hareketinin yapılarda oluşturduğu doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için, 20 katlı betonarme bir bina Çok Modlu Yük Artımı Hesap Yöntemiyle analiz edilmiştir. Çok katlı binalarda doğrusal olmayan dinamik özellikler ve yüksek mod etkileri dikkate alınmıştır. Yüksek modlu betonarme binalarda plastikleşen kesitler belirlenerek ve yüklerdeki artmalar adım adım verilerek çözümlenmiştir. İkinci mertebe etkiler ve bileşik eğilme etkisinde akma koşulları doğrusallaştırmıştır. Doğrusallaştırma yapılan kısımlarda davranış spektrumu analizi kuralları değerlendirilerek yüksek mod etkileri dikkate alınmıştır. Çok katlı yapılarda özellikle alt katlarda artan normal kuvvetler ve yükler plastik davranışlara sebep olabilmektedir. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları

değerlendirilirken FEMA 356 (FEMA 2000)'daki sabit yük dağılımlarını esas alan doğrusal olmayan statik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. FEMA 356'daki 1. Mod dağılımının taşıyıcı sistemin alt ve orta katlarında iyi ancak üst katlarda yetersiz olduğu, spektral dağılımın üst katlarda iyi ancak alt ve orta katlarda yetersiz olduğu, üniform dağılımda ise tüm taşıyıcı sistemde farklı değerlere eriştiği sonucuna ulaşılmıştır. [14]

Gürel ve Kısa tarafından yapılan çalışmada, depremin düşey bileşeninin betonarme ve çelik yapı elemanlarına tesirleri ve hasar potansiyelleri araştırılmıştır. Northridge ve Kobe Depremlerinin kuvvetli düşey bileşenlerinden kaynaklanan hasarlar üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Depremin düşey bileşeninin güvenli yapı tasarımında ihmal edilmeyecek riskler oluşturabilmektedir sonucu vurgulanmıştır. [15]

Yer hareketlerinin kayıt altına alınması, dalga bileşenlerinin özellikleri ve kaya, toprak gibi yerel zemin etkilerine bağlı tepki spektrumları uzun yıllar önce Seed vd. tarafından belirlenmiştir. İvme / Hız oranları yerel zemin etkilerinin ifadesi olarak kullanılmıştır. Amerika'da şiddetli depremlerde yerel zemin etkilerini üç zemin sınıfına ayırarak değerlendirmişlerdir. Kayma dalga hızı 760 m/sn değerinden büyük "Kaya zeminler", kaya zeminlerin 45 m' lik kısmında sert kil, kum ve çakıl tabakalarından oluşan "Sert zeminler", en son kaya zeminlerin 76 m' lik kohezyonsuz toprak tabakalarından oluşan "Derin Kohezyonsuz zeminler". Ana kayadaki maksimum yatay yer ivmesini yüzeydeki maksimum yatay yer ivmesine dönüştürmekte kullanılan düzeltme grafiğini bu üç zemin sınıfı değerlendirilerek oluşturmuşlardır. Farklı zeminlerde kaydedilen ivmeleri de idealize etmişlerdir.[16]

6 ayrı deprem yer hareketi kayıtları ve pik yatay ivme, spektrum ivme, spektrum hız grafikleri kıyaslamaları Idriss ve Seed tarafından yapılmıştır. Market - Guerrero Caddeleri, Mason - Pine Caddeleri ve Horrison - Main Caddeleri kaya zeminler olup tepki spektrumlarındaki kuvvetli yer hareketleri birbirine çok benzer özelliktedir. Ancak Eyalet Binası'nın bulunduğu kum ardanmalı zeminin, Alexander Binası'nın bulunduğu killi kum - siltli kum ardanmalı zeminin ve Güney Pasifik Şirket Binası'nın bulunduğu kum – farklı sertliklerde olan kil ardanmalı zeminin tepki spektrumlarında kaydedilmiş kuvvetli yer hareketleri birbirinden çok farklı genlik,

birbirinden çok farklı frekans özellikleri taşımaktadır. Depremler zemin katmanlarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini etkilerken, zemin katmanları da deprem dalgalarının özelliklerini etkilemektedirler. [17]

Düşey deprem ivmesi bileşeni DBYBHY 2007’de yapı tasarımında hesabında ihmal edilmektedir. Ancak yapı tasarımına daha geçilmeden uygulanması istenen belirli kurallar vardır. Bu kurallar DBYBHY 2007 2.3.2.4. maddesinde açıklanmıştır. [18] TBDY2019’ de hem yatay hem düşey deprem ivmeleri için spektrum grafikleri oluşturulup yapı analizlerine yansıtılacaktır. [19] Başka ülkelerin deprem yönetmeliklerinde düşey deprem etkileri için farklı kabuller söz konusudur. Mesela; Hindistan Is 1893-2000’de, düşey deprem ivmesi etkisi yatay deprem ivmesinin 2/3 katıyla çarpılarak elde edilerek ve oluşturulan yük kombinasyonları ile dikkate alınır. [20] Avrupa Eurocode 8-1998’de, düşey ivmenin 0.25 g değerinden büyük olan bölgelerde dikkate alınması istenmiştir. Ayrıca Eurocode göre, 5 metreden büyük konsollu yapılarda, kirişlerin kolonları taşıdığı yapılarda, deprem yalıtımı olan yapılarda ve yatay açıklığı 20 metre taşıyıcı elemanları olan yapılarda düşey deprem ivmeleri etkileri yük kombinasyonları ile verilmektedir. [21] En son örnek ülkemiz Amerika UBC-1997 Yönetmeliğinde düşey deprem ivmesi yapılardaki düşey yüke bağlantılı bir katsayı ile çarpılarak ele alınmakta ve yük kombinasyonları betonarme yapılarda 1.1 oranında artırılarak yansıtılmaktadır. [22]

Kalkan ve Vladimir’in birlikte yaptıkları çalışmada, kuvvetli deprem yer hareketinin yatay etkilerinin yanında düşey ve dönme etkilerinin de dikkate alınması için “*Çok Bileşenli Bir Deprem Hareket Denklemi*” oluşturmuşlardır. Depremin düşey ve dönme bileşenlerinin etkisi yatay bileşenlerin etkisiyle kıyaslandığında 2 katı veya yakın fayın etkisiyle daha fazla değerlerde olabilmektedir. Genellikle yapısal tasarımlarda kolaylık sağladığı için yer hareketinin tepki spektrumu hesaplamalarda kullanılmaktadır. Oysa depremlerin üç doğrultuda etkin hareketleri vardır. Depremin yüksek düşey bileşenlerinin etkisi sıvılaşmaya elverişli zeminlerde daha etkin olmaktadır. Bu nedenle çalışmada, hareket denklemleri Zaman Uzak Alanında Hesap Yöntemiyle, deprem yer hareketinin yatay, düşey ve dönme bileşenlerinin etkileri birleştirilerek Matlab ve katı alan diferansiyel denklem çözücülerle çözümlenmiştir. [23]

Aydinoğlu tarafından yapılan çalışmada, yerel zemin etkilerinin bina tasarımı için ivme spektrumları değerleri ayrı ayrı verilmelidir. Sağlam zeminlerde yönetmeliğin belirlediği değerler geçerliken zayıf zeminlerde amprik zemin katsayıları ile büyütölme yoluna gidilmektedir. Özel durumlarda ise gerçek veya üretilmiş deprem kayıtları kullanılarak nonlinear zemin büyütmesi analizleri yapılmaktadır. Depremin etkili olduğu bölgelerde zayıf zeminlerde kazıklı temelli ve çok katlı yapılarda “Yapı – Kazık - Zemin Dinamik Etkileşimi” mutlaka hesaplara dâhil edilmelidir. Yapı - Zemin etkileşimleri, Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi” ve “Altsistem Analiz Yöntemi” olarak ikiye ayrılabilir. Aydınoğlu İzmir Bayraklı Bölgesinde zemin koşullarının çok kötü olduğu ve çok katlı yapıların inşaatı için, Yapı - Zemin Dinamik Etkileşimi probleminin rasyonel çözümü çalışmalarına katkıda bulunmuştur. [24]

Yapı ve zeminde meydana gelen geometrik ve mekanik özellikler ile nonlinear davranış göstermektedir. Zemin ortamının sonsuzluğunu ifade edebilmek önemlidir; bu sebeple zeminin dış sınırlarına “Geçirgen sınırlar – Transmitting Boundaries” adı verilen yapay sınır koşulları uygulanır (Kausel 1988, Mengi ve Tanrikulu 1993). Geçirgen sınırlar deprem yer hareketinin tekrar zemine yansımaması yani geçirimsizliği sağlamak içindir. Hem yapının hem de zeminin nonlinear olarak tanımlanması ve direkt yöntemle analiz yapılması için; zaman tanım alanında hesaplamalar yapılmasını gereklidir. Yapı – zemin ortak sistemde nonlinear şekil değiştirmelerin değerlendirilmesi sağlanır. [25], [26]

Çok katlı çelik yapıların yapı- zemin etkileşimi için Karabörk vd. yaptıkları çalışmada, LUSAS (FEM) bilgisayar programında iki katlı, beş katlı ve on katlı çelik yapıların sonlu elemanlar yöntemi ile nonlinear zaman tanım alanında hesap yöntemi ile dinamik analizler yapılmıştır. Momentler, üst kat yer değiştirmeleri, alt kat ivme değerleri, iç kuvvetler ve alt kat yer değiştirmeleri karşılaştırılarak kaya türü zeminlerin ankastre mesnetlenmiş modellerle yaklaşık sonuçlar verdiği ancak kum, kil tipi zeminlerde oldukça farklı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca iç kuvvetler kaya zeminlerde daha etkin olmuştur. Yer değiştirmeler de ise kum, kil tipi zeminler daha etkindir. [27]

“Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansın Tartışılması” başlıklı çalışmada Eren ve Beyen, TDY 2007 Yönetmeliği kurallarına uygun, yatay elastik tasarım ivme spektrumu ile yapılmış beş katlı betonarme düzenli ve düzensiz yapılara düşey deprem yer hareketini de etki ettirilerek değerlendirmişlerdir. Analizlerde düşey ivme değeri 0.1 g üzerinde olan ülkemizdeki üç farklı depremlerden elde edilen kayıtlar kullanılmış, statik itme analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle hesaplamalar yapılmıştır. Yapısal performanslar değerlendirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Düzensiz binada hasar düzeyi ve taban kesme kuvveti artmıştır. Düzenli binada ise hem hasar düzeyi hem de taban kesme kuvveti sınırlı değerlerde kalmıştır. [28]

Ghaffarzadeh ve Nazeri 2015 yılında tarafından yapılan çalışma, depremin düşey etkilerinin göz ardı edilmemesi gerekliliği ve yapılar üzerindeki yatay tepkiler değerlendirilmiştir. Bilhassa yapılar faya yakınsa deprem yer hareketi düşey bileşeninin daha etken olduğu ve yatay spektral yer değiştirmeyi arttırdığını sonucu vurgulanmıştır. [29]

Çağlar, N., Garip, Z. Ş. ve Atasoy, S. birlikte yaptıkları çalışmada, yumuşak zeminler üzerine inşaa edilmiş betonarme 3-10 katlı yapıların yapı – zemin etkileşimleri SAP 2000 programında bodrum katın katkısı göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bodrumsuz olması haliyle karşılaştırılmıştır. Yapı – zemin etkileşimi analizleri zaman – tanım alanında lineer dinamik yöntemle yapılmıştır. Sonuçlar görelî kat ötelemeleri, yer değiştirme – zaman grafikleri ayrı ayrı oluşturularak tablolştırılmıştır. Özellikle yumuşak zeminlerde bodrum katlı binaların yapılması deprem performansı açısından çok yararlı olduğu gözlemlenmiştir. İki kat bodrumun etkisi ise yumuşak zeminlerde tek bodrum katın olmasından daha iyi deprem performansı sergilemiştir. Sert zeminlerde ise, bodrum katlı binalarda yönetmelikte belirlenen yer değiştirmelere yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bodrumsuz ve sert zeminlerdeki binalarda, yönetmelikte belirlenen yer değiştirmeleri aşan sonuçlar elde edilmiştir. [30]

2. BETONARME BİNALARIN DEPREM HESABINDA KULLANILAN LİNEER HESAP YÖNTEMLERİ VE YAPI – ZEMİN ETKİLEŞİMİ

2.1. Deprem Etkisindeki Binaların Hesap Esasları

Dayanıklı ve güvenli binaların yapılması insanların en öncelikli beklentisidir. Binaların mimari tasarımı ve taşıyıcı sistem tasarımı olarak ilk akla gelen bu aşamalar, güvenlik için önemli etkenlerdir. Herhangi bir yapının tasarımı, boyutlandırılması yapılırken; önce yapıların kendi ağırlığı ve üzerine gelecek yükler esas kabul edilir. Böylece başka etkiler olmadan yapıların stabilitesi, güvenliği ve dayanımı bunlara göre belirlenir. Ancak yapıları etkileyen kar, rüzgâr gibi dış ek yüklerin ayrıca deprem, çığ, sel, heyelan gibi doğal afetlerin dinamik yükleri de tasarım ve boyutlandırma için gerekli sebeplerdir. Her açıdan uygun bir taşıyıcı sistem oluşturmak için, mimari tasarımın ve zemin ortamı koşullarının da dikkate alınması elzemdir.

Deprem etkisini yaşadığımız ülkemizde, depremlere dayanıklı yapıların projeleri ve yapım şartları ilgili yönetmelikler ve standartlarla belirlenmiştir. Depreme dayanıklı binaların tasarımı ve boyutlandırılmasında, esas yükler yanında deprem etkisi dinamik yükleri de güvenlikle karşılaması gerekmektedir. Yapıların sık olan ama küçük şiddetli depremlerde elastik sınırlar içinde kalması istenirken, orta şiddetteki depremlerde elastik sınırların dışında ancak hafif hasarlarla atlatılabilmesi istenmektedir. Çok seyrek ama çok da şiddetli depremlerde ise hasar oranları artabilir ancak yapılar tamamen göçmemeli ve can kaybı olmamalıdır. DBYBHY 2007’ de bu hasar oranları depreme dayanıklı tasarımın ana ilkesi olarak tanımlanmıştır.

Depreme dayanıklı binaların performansı; malzemelerin, kesitlerin, elemanların ve taşıyıcı sistemlerin davranışlarıyla alakalıdır. Dinamik yükler etkisi altındaki malzeme davranışlarının bilinmesi ilk ve öncelikli konudur. Betonarme yapılarda deprem güvenliği için, beton ve donatı çeliği birlikte kullanılmaktadır. Beton yüksek basınç dayanımına, donatı çeliği ise çekme dayanımına karşı etkilidir. Betonarmenin istenilen sünek davranış göstermesi için çelik donatı düzenlemeleri önemlidir. Beton ve donatı çeliğinin kıyaslamalı davranışları ve özellikleri **Çizelge 2.1.**’da görülmektedir.

Çizelge 2.1. Beton ve Donatı Çeliğinin davranışları ve özellikleri

ÖZELLİKLER	BETON	ÇELİK DONATI
Basınç Dayanımı	Yüksek basınç dayanımına sahiptir.	Çelik malzeme olarak yüksek basınç dayanımına sahiptir ama donatı çeliği çubuk olarak basınç etkisinde burkulma tehlikeleri vardır.
Çekme Dayanımı	Düşük çekme dayanımına sahiptir.	Yüksek çekme dayanımına sahiptir.
Kesme Dayanımı	Orta düzeyde kesme dayanımına sahiptir.	Yüksek kesme dayanımına sahiptir
Yangın Dayanımı	İyi bir yangın dayanımına sahiptir.	Düşük yangın dayanımına sahiptir.
Dış Etkilere Dayanım	Dış etkilere karşı iyi bir dayanımına sahiptir.	Dış etkilere karşı kötü bir dayanımına (örn. korozyon) sahiptir.
Sünekliklik Özelliği	Sünekliklik özelliği düşüktür.	Sünekliklik özelliği yüksektir.
Davranış Özelliği	Gevrek davranış gösterir.	Sünek davranış gösterir.
Büzülme (Rötire) ve Sünme Etkilerine Karşı Davranışları	Çeşitli şartlarda büzülme ve sünme davranışı gösterir.	Büzülme ve sünme davranışı göstermez.

Dinamik yükler ve diğer yüklerin ortak etkisi altındaki kesitlerin boyutlandırılması, en elverişsiz yükler, bu yüklerin birleşimleri ve yönetmeliklerde belirlenen yüklerin katsayıları taşıyıcı sistem elemanlarına etki ettirilerek yapılmaktadır.

Depreme dayanıklı binaların tasarımında etken olan diğer hususlar olan elemanların ve taşıyıcı sistemin davranışları için temel ilkelerin yeterlilikleri esastır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için; yeterli dayanım, yeterli sünekliklik ve yeterli rijitlik ilkeleri esastır. Ancak betonarme yapıların tasarımında bu esaslara ek olarak yeterli stabilite, yeterli adaptasyon ve yeterli sönüm ilkeleri de devreye girmektedir.

Yeterli Dayanım: Taşıyıcı sistemin davranışı, etkisi altında bulunan yük ve yük bileşenlerinden kaynaklı kesit tesirlerini göçme, kırılma olmadan karşılayabilecek

yeterli taşıma kapasitesi gösterecek şekilde olmalıdır. Bu ilkeye uygun tasarım koşullarından biri olan “Güçlü kolon- zayıf kiriş koşulu” örnek gösterilebilir.

Yeterli Süneklilik: Dinamik yükler etkisinde süneklilik kavramından bahsedilebilir. İdeal olan şiddetli de olsa deprem etkilerinin elastik sınırlarda kalarak karşılanmasıdır. Ancak taşıyıcı sistemin veya yapı elemanlarının davranışı, şiddetli deprem etkisinin elastik sınırdan geçerek plastik sınırlarla şekil değiştirerek tüketilmesi şeklinde de olabilmektedir. Yapıların sünekliliği deprem yer hareketinin etkisiyle rijitliği azaltırken yapı periyodu artar ve deprem enerjisi böyle tüketilir. Betonarme yapılarda donatı çeliğinin akma sınırına ulaşmamasıyla yeterli sünek davranış oluşacaktır ve tam göçme oluşmayacaktır. Yeterli süneklilik için, “Kolon – kiriş birleşim bölgeleri koşulları “ ve bu bölgelerdeki donatıların aderansları sağlanarak yeterli kenetlemeler örnek gösterilebilir.

Yeterli Rijitlik: Taşıyıcı sistemin davranışı, depremlerin etkisiyle meydana gelen şekil ve yer değiştirme değerlerini sınırlandırılarak yapısal hasarlar, fazla deformasyonlar olmayacak şekilde olmalıdır. Yeterli rijitliğin olması yapılardaki ikinci mertebe momentlerinin etkilerini azaltmak, yapı kütlesi aynı olsa da yapı periyodunu değiştirebilmektir. Yapıda rijitliği artırmak yapı periyodunu azaltmak anlamına gelmektedir. Bu ilkeye uygun tasarım koşullarından “Görelî kat ötelemesi koşulu” ve “Yumuşak kat koşulu” örnek gösterilebilir.

Yeterli Stabilité: Taşıyıcı sistemin davranışı, yatay yer değiştirmelere karşı denge durumu sağlanarak yeterince kararlılık gösterecek şekilde olmalıdır. Yapılarda yatay yer değiştirmeler sonucu ortaya çıkan ikinci derece momentlerin etkilerinin oranları değerlendirilerek stabilité sağlanmaktadır. Görelî kat ötelemesi değerlerinin artması ve planlarda perdelerin simetrik olmayan, burulma oluşturacak şekilde tasarlanması stabilitenin olumsuz etkilenmesine örnek olabilir.

Yeterli Adaptasyon: Betonarme yapılarda çok zorlanan ve hatta taşıma yükü kapasitesini aşan elemanlar diğer elemanlarla fazla yük paylaşımlarını yaparak “yeterli adaptasyon (uyum) davranışı” gösterirler. Yeniden yüklerin dağılımı da diyebileceğimiz adaptasyon davranışı süneklilik ilkesine bağlı gerçekleşir. Örnek

verilirse; taşıyıcı sistem içindeki yeterli süneklğe sahip bir kolon taşıma gücünü aştığında kirişler aracılığı ile diğer kolona moment ve kuvvet etkilerini aktarabilmektedir.

Yeterli Sönüm: Yapıların titreşimli deprem hareketlerine maruz kalmasıyla ortaya çıkan deplasmanların azaltılarak söndürülmesi veya deprem enerjisinin azaltılarak tüketilmesi “Sönüm” olarak adlandırılmaktadır. Betonarme yapılarda kullanılan beton ve çelik donatı malzemelerinin sönüm özellikleri bilinmektedir ancak yapıların sönüm özellikleri bilinmemektedir. Çünkü her taşıyıcı sistemde oluşan plastik şekil değiştirmeler, deprem yer hareketleri, yapılarda bulunan taşıyıcı olmayan bölme duvarların etkileri gibi birçok etken aynı değildir. Yaklaşık olarak önceki depremlerden yararlanılarak sönüm oranları belirlenmektedir. DBYBHY 2007’ de betonarme yapılarda bu sönüm oranı % 5 olarak belirlenmiştir.

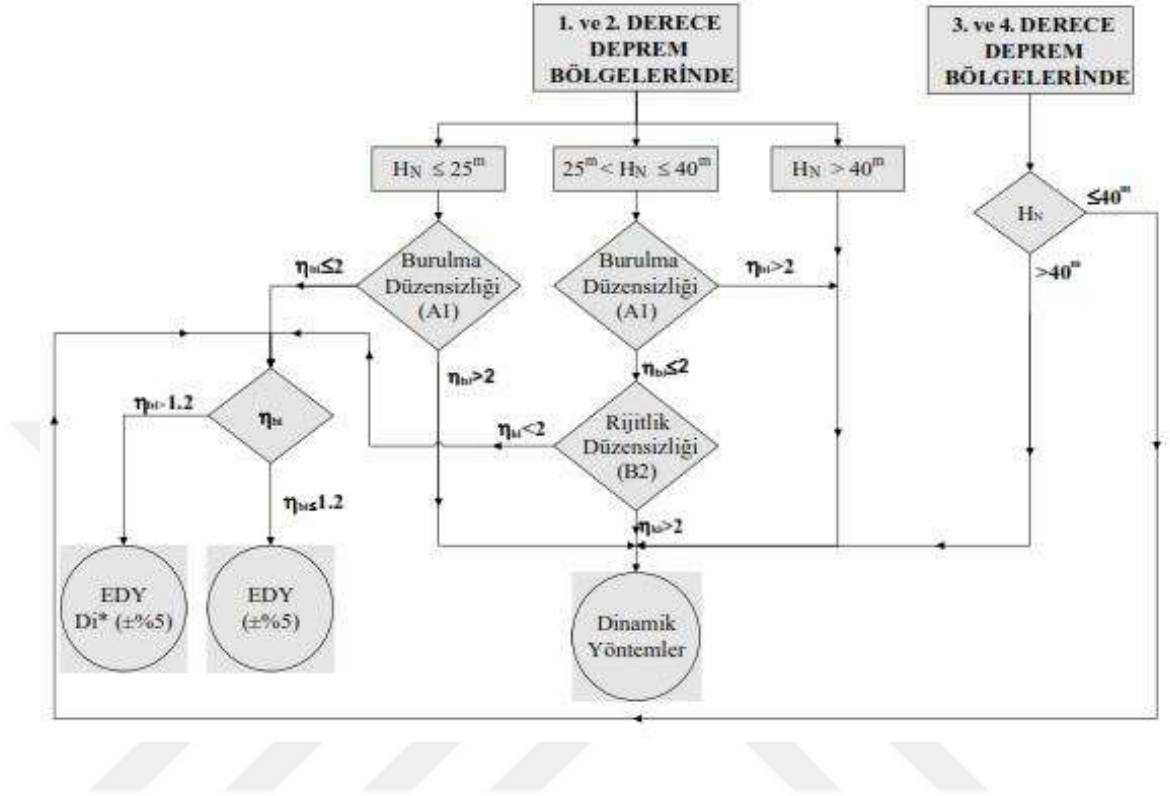
Depreme dayanıklı binaların tasarımında DBYBHY 2007’ de “Düzensiz Binalar” olarak tanımlanıp tablolastırılan, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik oluşturan koşullardan kaçınmak da ayrı önem taşımaktadır. Yapılar mümkün olduğu kadar düzenli ve sade olmalıdır.

Deprem etkisine karşı güvenli, dayanıklı yapıların oluşmasında başka bir konu ise, yapıların oturacağı zemin ortamının özelliklerinin, etkilerinin dikkatle bilinmesi ve hesaplara aktarılmasıdır.

2.2. Betonarme Binaların Deprem Hesabında Kullanılan Lineer Hesap Yöntemleri

Betonarme binaların esas yükler ve dinamik yükler etkisinde davranışının hesaplanarak değerlendirilmesi için değişik hesap yöntemleri vardır. Betonarme binalarda kullanılan lineer hesap yöntemlerinin amacı; taşıyıcı sistem, kesitler, elemanlarda oluşacak iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve şekil değiştirmelerin hesaplanması ve performanslarının değerlendirilmesidir. Betonarme kesitlerin etkileşim diyagramları tanımlanıp, çok doğrultulu veya çok düzlemli uygun

doğrusallaştırılmış diyagramlar oluşturulmalıdır. Lineer elastik hesap yöntemleri şunlardır: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Dinamik Yöntemler'dir.



Şekil 2.1. Lineer Hesap Yöntemleri belirleme koşulları (Zorbozan M., 2009)

2.2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Performansların ve davranış durumlarının lineer elastik yöntemle yaklaşık olarak belirlenmesi yöntemidir. Deprem etkilerinin “ **Eşdeğer Deprem Yüğü** ” diye adlandırılan yatay ve statik yüklerle temsil edilmesi hesabın esasını oluşturmaktadır. Lineer- elastik şekil değiştirerek orantılı artan ve kat kütle merkezinden yatay etkiyen yükler, sönüm değerlerinin ve ikinci mertbe etkilerinin değerlendirilmemesi gibi kabuller yapılmaktadır. Binanın sadece birinci titreşim periyodu üzerinden hesaplar yapılarak, toplam eşdeğer deprem yükleri katlara dağıtılmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için, deprem bölgeleri, binadaki düzensizlik durumları ve binanın yükseklikleri önemlidir ve DBYBHY 2007’ de bu koşullar belirtilmiştir (Şekil 2.1.).

Binanın tümüne etkiyen “Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü” diğér bilinen adıyla “Taban Kesme Kuvveti” **Eşitlik 2.1** ile hesaplanmaktadır.

$$V_t = W A (T_1) / R_a (T_1) \geq 0.1 A_0 I W \quad (2.1)$$

Burada;

- V_t : Taban Kesme Kuvveti,
 W : Toplam Bina Ağırlığı,
 $A (T)$: Spektral İvme Katsayısı,
 T_1 : Binanın Birinci Titreşim Periyodu,
 $R_a (T)$: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı,
 A_0 : Etkin Yer İvme Katsayısı,
 I : Bina Önem Katsayısı’nı ifade etmektedir.

$A (T)$, $R_a (T)$, A_0 , I katsayıları bir önceki bölümde anlatılmıştı. Binanın deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu (T_1) saniye cinsinden **Eşitlik 2.2** ile yaklaşık olarak hesaplanacaktır. Binanın hâkim doğal periyodu hesaplanan birinci doğal titreşim periyodundan (T_1) küçük olmalıdır.

$$T_1 = 2\pi (\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2 / \sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi})^{1/2} \quad (2.2)$$

Burada;

- m_i : Binanın i. katının kütlesi ($m_i = w_i / g$),
 d_{fi} : Binanın i. katında F_{fi} yükünlerine bağılı olarak hesaplanan yer değıştirme,
 F_{fi} : i. kata etkiyen fiktif yüktür.

Eşitlik 2.1’de verilen toplam bina ağırlığı ise **Eşitlik 2.3** ile hesaplanmaktadır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (2.3)$$

Burada;

w_i : Kat ağırlıkları'nı ifade eder ve **Eşitlik 2.4** ile hesaplanmaktadır.

$$w_i = g_i + n q_i \quad (2.4)$$

Burada;

g_i : i. kat sabit yüklerinin toplamı,

q_i : i. kat hareketli yüklerinin toplamı,

n : Hareketli Yük Katılım Katsayısı'nı ifade etmektedir. Deprem anında tüm katlarda hareketli yüklerin tamamının olması ihtimali az olduğu için bu katsayılarla azaltılarak yapılmaktadır.

Eşitlik 4.1 ile hesaplanan V_t ' yi, binanın her katlarına etkileyen eşdeğer deprem yükünün toplamı ve en üst kattaki eşdeğer deprem yükünün toplamı olarak **Eşitlik 2.5** ile ifade edebiliriz.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.5)$$

Burada;

F_i : i. Kata etkileyen eşdeğer deprem yükü,

ΔF_N : Bina'nın en üst katına etkileyen eşdeğer deprem yüküdür.

Bina'nın en üst katına etkileyen eşdeğer deprem yükü ise **Eşitlik 2.6** ile hesaplanacaktır.

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad (2.6)$$

N : Bina'nın temel üstünden toplam kat sayısı (bodrum katlarda rijit çevre perdeleri varsa zemin üstünden toplam kat sayısıdır) .

Bina katlarında oluşan eşdeğer deprem yükleri **Eşitlik 2.7** ile katlara dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) w_i H_i / \sum_{i=1}^N w_i H_i \quad (2.7)$$

H_i : Binanın en üst katının temel üstünden itibaren yüksekliği (bodrum katlarda rijit çevre perdeleri varsa zemin üstünden itibaren yüksekliği) anlamına gelmektedir.

Eşdeğer deprem yükleri etkisiyle taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarında oluşan maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilecektir.

2.2.2. Dinamik Yöntemler

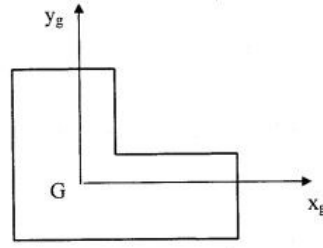
Depremler, patlama, çarpma ve titreşimli makine etkileri gibi zamanla hızlı değişen dinamik etkilerin betonarme binaların hesaplarına dahil edildiği yöntemlerdir. Bu dinamik etkilerle oluşacak ivmeler ihmal edilemeyecek kadar büyüktür ayrıca ivmelerin etkisiyle oluşacak atalet kuvvetlerinin hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında (Time History) hesap yöntemleri olarak ikiye ayrılır:

2.2.2.1. Mod Birleştirme Yöntemi

”Tepki Spektrumu Analizi” olarak da adlandırılan doğrusal dinamik hesap yöntemidir. Deprem yer hareketinin etkisindeki binaların titreşim periyotları bunlara karşı gelen modları ve bu modlara bağlı olarak değişen hakim davranışlar bu hesap yönteminin esasını oluşturmaktadır. Binanın sadece birinci titreşim periyodu üzerinden değil yeterli sayıdaki titreşim periyotları üzerinden hesaplamalar yapıldığı için değerlendirmeler daha gerçekçi olmaktadır. Doğal titreşim periyotları yapının kütlesine ve rijitliğine bağlı değişmektedir.

Mod Birleştirme Yöntemi için belli kabul ve hesap aşamaları şöyledir:

- Döşemeler yatay rijit diyafram olarak kabul edilmektedir.
- Binaların her katında iki yatay yer değiştirme ve düşey doğrultuda dönme etkileri değerlendirilecektir.
- Kütleli atalet momentleri Eşitlik 2.8 ile hesaplanacaktır. Binanın kütlesi yer değiştirme için ve kütleli atalet momenti ise dönme etkileri için gerekmektedir.



Şekil 2.2. Kütleli atalet momenti hesabı için tipik bir döşeme şekli

$$m_{\theta i} = (I_{xg} + I_{yg}) m / A_i$$

Bu bağıntıda;

$m_{\theta i}$: Binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki kütleli atalet momenti,

I_{xg} : Kat döşemelerinin x_g eksen etrafındaki atalet momenti,

I_{yg} : Kat döşemelerinin y_g eksen etrafındaki atalet momenti,

m : i. katın kütlesi (w_i / g olup kütlenin döşemeye üniform yayıldığı varsayılır.),

A_i : i. katın alanını ifade etmektedir.

- Ek dış merkezlik etkisi hesaba dahil edilmelidir. Bunun için kat kütleleri $\pm \% 5$ oranında eksantriste yapacak şekilde kaydırılacaktır.
- Kaydırılmış kat kütlelerinin ek etkileriyle titreşim periyotları hesaplanacaktır.
- Titreşim periyotlarına bağlı modlar bulunacaktır.
- Etkin kütleler (M_{xn} ve M_{yn}) **Eşitlik 2.9** ile hesaplanacaktır.

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \quad (2.9)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n}$$

Etkin kütlelerin hesabı için verilen bağıntıda kullanılan; L_{xn} , L_{yn} **Eşitlik 2.10** ile hesaplanacaktır.

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad (2.10)$$

$$L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin}$$

Yine etkin kütlelerin hesabı için gerekli M_n ise, **Eşitlik 2.11** ile hesaplanacaktır.

$$M_n = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2 \quad (2.11)$$

Bu bağıntıda kullanılan simgeler;

- Y : Hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı,
- M_{xn} : Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle,
- M_{yn} : Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle,
- M_n : n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle,
- N : Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı),
- m_i : Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$),

Φ_{xin} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni,

Φ_{yin} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni,

$\Phi_{\theta in}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşenidir.

Yeterli doğal titreşim modu sayısı 2 yatay ve 1 düşey serbestlik derecesi kabulüyle; kat adetinin 3 katı olarak ilk aşamada değerlendirilmektedir. Yeterli doğal titreşim modu sayısı, deprem doğrultularının herbirinde her mod için hesaplanılan etkin kütle oranları toplamının, bina toplam kütlelerinin % 90 'ından az olmaması gerekmektedir (**Eşitlik 2.12**).

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.12)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i$$

Spektral ivme değerleri belirlenecek ve herhangi n'inci mod için ivme spektrumu **Eşitlik 2.13** ile hesaplanarak oluşturulacaktır.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (2.13)$$

$S_{aR}(T_n)$: n'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme [m / s^2]

$S_{ae}(T_n)$: Elastik spektral ivme [m / s^2]

$R_a(T_n)$: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı olarak ifade edilmektedir.

Binanın spektrum analizi yapılarak, yeterli sayıdaki doğal titreşim modunun herbiri için maksimum etkilerinden hesaplanarak ve birleştirilmesi yapılmalıdır. Mod katkıları birleştirilmesi için;

- a) Tam Karesel Birleştirme Yöntemi (CQC),
- b) Karelerinin Toplamının Karekökü Yöntemi (SRSS) kullanılacaktır.

DBYBHY 2007' de verilen koşullar değerlendirilerek uygun yöntem seçimiyle birleştirmeler yapılarak maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilecektir.

2.2.2.2. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (Time History Analysis)

Özel ve genel tüm yapılarda lineer elastik veya lineer elastik olmayan deprem yer hareketleri davranışlarının dinamik hesaplama yöntemidir. Bina gerçek veya yapay olarak üretilmiş kuvvetli yer hareketleri kayıtları etkisi zaman değişimleri altında aşama aşama analiz edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Bu hesap yönteminde daha kesin ve gerçekçi yapı davranışları izlenebilmektedir. Ancak, ” Geçmişte olmuş depremlerin, yapay üretilmiş ve benzetilmiş depremlerin etkisi gelecekte olma ihtimali olan depremlerle ne kadar benzeşecektir?” sorusu hep vardır.

Yapıların lineer elastik davranış sergilediği durumlarda; sistemin dinamik davranışını kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri matrislerinin toplamalarıyla oluşturulan hareket denklemleri gerekmektedir. Deprem ivmesinin belirlenen zaman artımlarına bağlı olarak değişimi ve bu değişimin yapıda oluşturduğu iç kuvvetler, yer değiştirmeler doğrusal elastik hesaplamalarla elde edilmektedir.

Yapıların lineer elastik olmayan davranış sergilediği durumlarda ise; kayma modülü şekil değiştirmeler bulunmaktadır. Sistemin dinamik davranışını kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri matrislerinin zaman artımlarına bağlı değişimlerinin hareket denklemleri gerekmektedir. Lineer elastik olmayan durumlarda süperpoizisyon prensibi gereği farklı etkilerin toplanması kuralı geçerli olmamaktadır. Doğrusal

olmayan hareket denklemlerinde zamana bağıl ivme, hız ve yer değiştirme vektörleri söz konusudur.

Zaman Tanım Alanında hesap yöntemi kullanıldığında yapı lineer elastik veya lineer olmayan elastik hangi davranışı sergilerse sergilesin, en az 3 kuvvetli deprem yer hareketi kullanılmalıdır. Ancak 3 deprem yer hareketi kullanılırsa elde edilen etkilerin maksimumları, 7 deprem yer hareketi kullanılırsa da elde edilen etkilerin ortalamaları tasarımda kullanılacaktır.

Yapay deprem yer hareketlerinin bu hesap yönteminde kullanılması durumunda yine en az 3 deprem yer hareketi olarak ve DBYBHY 2007' de verilen koşullar dikkate alınarak maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilecektir.

Gerçek kaydedilmiş veya benzetilmiş deprem yer hareketlerinin bu hesap yönteminde kullanılması durumunda ise yine en az 3 deprem yer hareketi olarak yerel zemin koşulları dikkate alınarak maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilecektir.

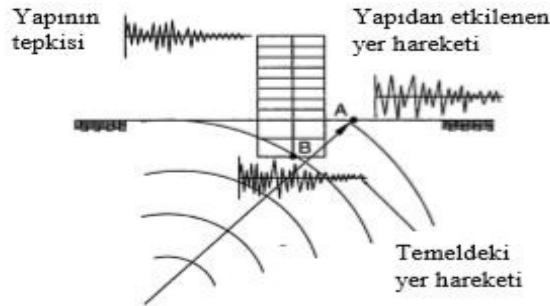
2.3. Yapı – Zemin Etkileşimi

Depreme dayanıklı yapı tasarımının asıl amacı, büyük ve önemli hasarlara sebebiyet verilmeden belirli bir sarsılma düzeyine karşı koyabilecek yapıların tasarlanmasıdır. Güncel ve sıklıkla kullanılan yapıların temelini ankastre mesnetlenmiş, rijit olduğu varsayımıyla zemin ortamının şekil değiştirmedeği kabul edilir. Deprem etkisi ise, yapıdan etkilenmeyecek şekilde yatay bir rijit ötelenme olayı olarak kabul edilir. Halbuki deprem etkisi altında yapı ve zemin birbirlerini karşılıklı olarak etkileyecektir. ABD yönetmeliğinde yapı- zemin etkileşimi iki yönlü, kolektif olarak tarif edilmiştir. Bu iki yönlü etki; dinamik bir etkileşimdir. Dinamik etkileşimi oluşturan sebepler genellikle; rijit ve büyük ölçekli ağır yapıların etkisi, tehlikeli madde içeren yapıların etkisi, aktif deprem davranışının etkisi, yüksek seviyedeki titreşimlerin (örn. patlatma kaynaklı titreşimler) etkisi, açık deniz dalgalarının etkisidir. Ayrıca iki yönlü bu etki; yapı analiz ve tasarımını etkileyen, dikkat edilmesi gereken bir konudur. Yapı - zemin, statik ve dinamik etkilere karşı birlikte davranırlar. Yapı – zemin etkileşimi etkisi

özellikle; nükleer güç santralleri, açık deniz petrol platformları, asma köprüler, yüksek binalar, barajlar, viyadükler, ağır makinelerin bulunduğu yapılar, demiryolu ve karayolu trafiğinin yoğun olduğu yerleşimdeki yapılarda daha çok önem kazanmaktadır. Eğer zemin ortamımız çok rijitse, yapı – zemin farklı şekil değiştirme etkisi gösterir ve birlikte davranamazlar. Yapının şekil değiştirmesi zemin gerilmelerinde değişim meydana getirirken, zeminde oluşan deformasyonlar da yapı iç kuvvetlerini değiştirmektedir. Deprem etkisi altında yapının davranışını; deprem kaynağı – özellikleri, zemin şartları – özellikleri, temel özellikleri, yapı özellikleri mutlak manada etkilemektedir. Bu özellikler yapıda kütle ve rijitlik oranlarını değiştirirler. Yapıda değişen kütle ve rijitlik oranları ise; yapı – zemin periyot ve mod şekillerinin değişimine sebep olur.

2.4. Yapı – Zemin Etkileşiminde Zemin Ortamı

Yapı – zemin etkileşiminin çözülmesi için asıl konu; zeminin nasıl idealleştirilip tanımlanacağıdır. Zemin, belirli eksenel yönü olmadığı ve üç boyutlu olduğu için, zeminin jeolojik – jeoteknik özellikleri, mekanik - dinamik özellikleri, sıvılaşma - yanal yayılma durumları, oturma- şişme potansiyeli, zemindeki karstik boşluklar, yeraltı- yerüstü suyunun bulunması veya bulunmaması durumları, taşıma gücü vb. etkenler göz önüne alındığında yapı – zemin mühendisliği açısından bu değişkenlerin tanımlanıp formüle edilmesi oldukça zordur.



Şekil 2.3. Yapı - Zemin Etkileşimi Davranışı ((Villaverde, R., 2009), Türkçe'ye çevirilerek kullanılmıştır.))

Zemin ortamının sınırsız oluşu nedeniyle deprem ve diğer dinamik etkilerle oluşan dalgalar radyasyon etkisine maruzdur. Bu radyasyon etkisinin doğru bir şekilde esaplanabilmesi için zemine yaylar ve sönümleyiciler tanımlanmalıdır. Zemin ortamındaki yaylar fleksibilite denilen zeminin şekil değiştirmesini, sönümleyiciler ise zemindeki enerji kaybını ifade etmektedir. Zemin ortamı; elastik yaylar ve sönümleyicilerin ortak kullanılmasıyla kayma kiriş modeli şeklinde, yarı sonsuz zemin ortamına mesnetli model şeklinde ve iki veya üç boyutlu sonlu elemanlar modeli şeklinde tanımlanabilir. Sonlu elemanlar modeli, daha yakınsak sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilmektedir.

Taban kayasının üstünde kalan zemin yatay ve ardalanan tabakalı ortam olduğu kabul edilir. Zeminlerdeki farklı tabakalanma şekillerinin deprem etkisini önemli ölçüde değiştirdiği göz ardı edilmeden lokal zemin farklılıkları dikkate alınmalıdır. Zeminde tabakaların çeşitliliği, derinliği, boşlukları, düzensizlikleri, esnekliği, plastisitesi, yoğunluğu vb. etkilerin zemin tepkisinin ve lokal zemin etkenlerinin de büyütülmesi anlamına gelir. Zemindeki tepki ve büyütme ise, üst yapının dinamik analizi için çok önemli parametrelerdendir. Deprem etkisi taban kayasından tanımlanır. Taban kayasından tanımlanan deprem etkisinin, zemin ortamına ve yapıya olan etkilerinin hesaplanması asıl hedeflenen amaçtır. Zemin ortamını tanımlayıp formüle edilebilmesi için belli kabuller yapılmıştır ve üç grupta değerlendirilmiştir.

Bunlar;

- Sınırlı Zemin Ortamı,
- Sınırsız Zemin Ortamı,
- Etkileşim Ara Yüzeyi Olan Zemin Ortamı' dır.

Sınırlı zemin ortamı, yapı ve zeminin nonlinear davranış sergilediği ortamdır. Sınırlı zemin ortamı yapının hemen altında bulunan en yakın bölgedir. Yarı sonsuz sınırsız zemin ortamı, yapı ve zeminin lineer davranış sergilediği ortamdır. Sınırsız zemin ortamı uzak bölge olarak adlandırılabilir. Etkileşim ara yüzeyi, nonlinear zemin davranışıyla lineer zemin davranışının geçiş yaptığı yüzey olarak değerlendirilir.

Yapının hemen altında ve yapıya birleşik olan yakın zemin ortamının büyüklüğü, zeminin etkileşim ara yüzüne kadar olan kısım olarak modellenir.

2.5. Yapı – Zemin Etkileşiminde Deprem Etkisi

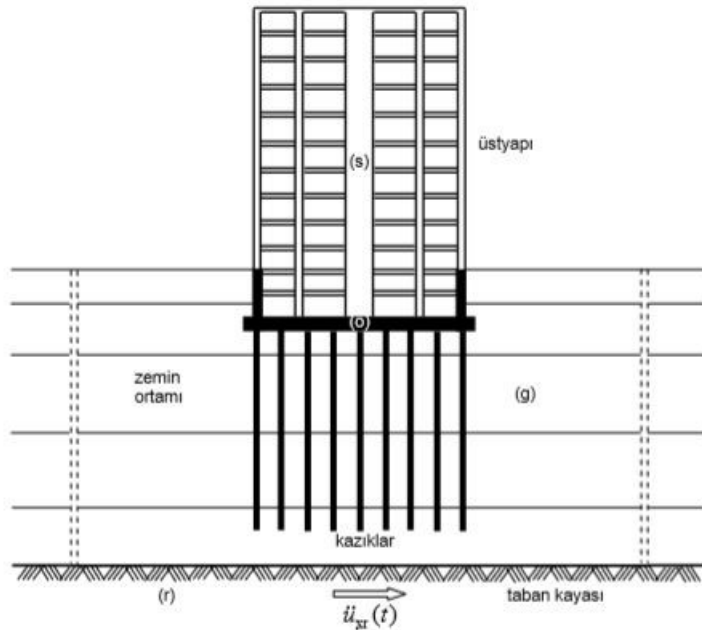
Deprem yer hareketinden kaynaklanan ve zemin içinde yayılarak yapı temeline ulaşan deprem dalgalarının bir kısmı yapı temelinden yansıyarak zemine geri dönmektedir. Deprem dalgalarının diğer kısmı da üstyapıyı etkileyerek yapı titreşimine sebep olduktan sonra zemin ortamına geri dönmektedir. ASCE 7 – 10 Bölüm 19’da rijit olan ve yüzeysel temeli bulunan yapıların yapı- zemin etkileşimi hesap yöntemi anlatılmaktadır. Yapının rijit olması eylemsizlik prensibiyle üstyapının taban kesme kuvvetinde mutlaka azalma meydana getirir. ASCE 7 – 10, taban kesme kuvvetini % 30 oranına kadar azaltılabildiğini kabul etmektedir. DBYBHY 2007 yönetmeliği taban kesme kuvvetindeki bu azaltmayı güvenli tarafta kalarak ihmal etmektedir. Kazıklı temeli bulunan yani temeli yüzeysel olmayan yapıların yapı – zemin etkileşiminde taban kayasından tanımlanan deprem yer hareketini öncelikle kazıklar karşılamaktadır. Böylelikle kazıklar deprem yer hareketinden dolayı deformasyona uğrarlar ama aynı zamanda deprem dalgalarının yapı – zemin etkileşimi ve değişimine olumlu katkılar sağlarlar. Olumlu etkisi olan bu kazıklar, deprem etkisinde meydana gelen kesme kuvvetini ve eğilme momentini karşılayacak güçte tasarlanmalıdır. Ayrıca yine deprem etkisinde zeminin yer değiştirmesine uygun davranışlar sergileyecek kadar da esnek tasarlanmalıdır.

2.6. Yapı - Zemin Etkileşim Analiz Yöntemleri

Yapı - zemin etkileşim analiz yöntemleri; “Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi” ve “Altsistem Analiz Yöntemi” olarak ikiye ayrılabilir (Wolf, 1985).

2.6.1. Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi

Yapı davranışının incelenmesinde dinamik ve statik etkiler altında zemin ortamının yapı ile birlikte analiz edilmesi önemlidir. Zemin ile yapının birlikte, tek bir ortak sistem olduğu varsayımıyla sonlu elemanlar modeli ile idealleştirildiği ve taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinin etkisi ile tek aşamada analiz edildiği yöntem “Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi” dir. Bu yöntemde yapı ve zeminde meydana gelen geometrik ve mekanik özellikler ile nonlinear davranış gösteriyor diye değerlendirilir. Zemin ortamının sonsuzluğunu ifade edebilmek önemlidir; bu sebeple zeminin dış sınırlarına “Geçirgen sınırlar – Transmitting Boundaris” adı verilen yapay sınır koşulları uygulanır (Kausel 1988, Mengi ve Tanrikulu 1993). Geçirgen sınırlar deprem yer hareketinin tekrar zemine yansımaması yani geçirimsizliği sağlamak içindir. Hem yapının hem de zeminin nonlinear olarak tanımlanması ve direkt yöntemle analiz yapılması için; zaman tanım alanında hesaplamalar yapılmasını gereklidir. Yapı – zemin ortak sistemde nonlinear şekil değiştirmelerin değerlendirilmesi sağlanır. Nonlinear analizlerde, hareket denklemlerini küçük zaman adımlarıyla değerlendirip nonlinear – inelastik zeminlerin gerilme – birim deformasyonları incelenir.

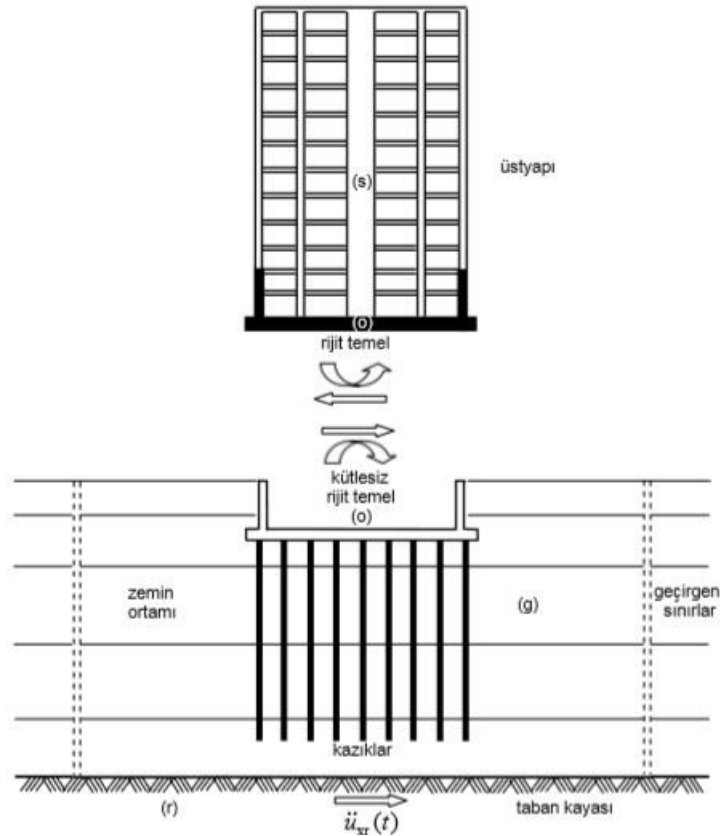


Şekil 2.4. Direkt (Doğrudan) Analiz Yöntemi (Aydınoglu, M. N., 2011)

Ancak yapı ve zemini nonlinear olarak tanımlayabilmek oldukça karmaşıktır. Bu nedenle uygulamada üstyapıdaki nonlinear şekil değiştirmeleri yaklaşık değerlendirip, yönetmeliğe göre azaltılmış deprem yükleri altında lineer analiz yöntemi kullanmak kolaylık sağlayacaktır.

2.6.2. Alt sistem Analiz Yöntemi

Zemin ile yapının ayrı ayrı sistemler olduğu varsayımıyla zemine ait ve sönüm mekanizmasının belirlenerek zeminin yapıya olan etkileşiminin incelendiği çok aşamalı analiz yöntemine “Alt Sistem Analiz Yöntemi” adı verilir. Direkt yöntemin basitleştirilip sonuca daha kolay ulaşılması yani kolay anlaşılabilirlik için alt sistem analiz yöntemi kullanılır.



Şekil 2.5. Altsistem Analiz Yöntemi (Aydınoglu, M. N., 2011)

Bu yöntemde zemin ve üstyapıda ayrı modelleme yapılmaktadır. Aşamalı olarak ayrı ayrı analizler yapıldıktan sonra sonuçlar süperpozisyon prensibiyle değerlendirilir. Bu nedenle lineer veya eşdeğer lineer analiz yöntemleri kullanmak gereklidir. Analizler ayrı yapıldığı için direkt yöntemden daha kısa sürede analizler tamamlanır. Lineer analizlerde, zemin rijitliği ve sönümlleme karakteristiklerinin zemin ortamı içinde oluşan birim deformasyon ile aynı davranış gösterene kadar değiştirip yinelenir. Hesaplama kolaylığı nedeniyle eşdeğer lineer analizler tercih edilir. Yapı – zemin arakesitindeki noktalarda sınır elemanlar yöntemi uygulanır. Zemin sonsuz olarak modellendiği için yapay sınır koşulları uygulanmasına gerek yoktur.

2.6.2.1. Altsistem Analiz Yöntemi Adımları

Alt sistem analiz yöntemi iki adımda yapılır. Bunlar; Kinematik etkileşim ve ataletsel (inertial) etkileşimdir.

2.6.2.1.1. Kinematik Etkileşim

Açık arazi hareketleri, üst yapıdan etkilenmeyen yer hareketleridir. Kinematik etkileşimde sadece açık arazi hareketleri esastır. Açık arazide oluşan deprem etkisiyle zemin, hem yatay yer değiştirme hem de düşey yer değiştirme tepkisi gösterir. Zemin yüzeyine ya da daha derine oturan çok rijit temel, açık arazi hareketlerinden etkilenmeyecektir. Temelin açık arazi hareketlerinin gelişmesini engelleyebilecek kadar rijit ve kütesiz olmasıyla kinematik etkileşim oluşmaktadır. Kinematik etkileşimle değişik titreşim etkileri, temelde devrilme momenti, ötelenme, dönme ve kayma gibi tepkiler ortaya çıkarabilmektedir. Yapı ve temelin kütesiz olarak değerlendirildiği durumdaki kütle matrisi, rijitlik matrisi, yer değiştirme vektörü gibi değişkenlerle temel ivmesinin zamana bağlı değişimi hareket denklemleriyle hesaplanabilir. Deprem etkisi taban kayasından verilerek, bilgisayar programlarıyla zaman tanım alanında nonlinear analiz yapılarak temel hareketinin ivme – zaman değişimleri ayrı ayrı tepkiler için oluşturulur.

2.6.2.1.2. Ataletsel (İnertial) Etkileşim

Yapı ve temelin kütlelerinin varlığı zemin ortamına dinamik tepkime şeklinde yansımaktadır. Yapıda burulma, kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşur. Kesme, momentin etkisiyle temelde yer değiştirme ve dönme oluşur. Yapıda ise şekil değiştirme durumu (yapı periyodunun artması, mod şekillerinde farklılık vb.) söz konusu olur. Zeminin kütsüz, yapı ve temelin kütleli olarak değerlendirildiği durumdaki kütle matrisi, rijitlik matrisi, yer değiştirme vektörü gibi değişkenlerle oluşan deformasyonlar hareket denklemleriyle hesaplanabilir. Yapının temeli tabanında eşdeğer dinamik rijitlik matrisi olarak yaylar tanımlanır. Deprem etkisi yapının temelinde tanımlanan yayların altından ve yine temel altında tanımlanan temel hareketi bileşenleri ile yapıya etki ettirilir. Bu analiz sadece yapıya uygulanan deprem analizidir, zemin ortamının hareketsiz olduğu varsayılır. Ataletsel etkileşim analizinde yapı ya nonlinear modellenip zaman tanım aralığında ya da lineer modellenip azaltılmış deprem yükleriyle Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz edilmelidir. Bilgisayar programlarıyla yatay ivmeler, düşey ivmeler ve dönme momentleri beraber etkilerek yapılmalıdır.

2.7. Kinematik Etkileşim ve Ataletsel Etkileşim Etkisinin Birleştirilip Değerlendirilmesi

Alt sistem analiz yöntemiyle kinematik ve ataletsel etkileşim etkileri birleştirilerek sonuç değerlendirilmesi yapılmalıdır. Ataletsel etkileşimin lineer ya da nonlinear analiz tercihi göre iki şekilde yapılabilir.

- a. Ataletsel etkileşim analizinde yapı lineer olarak tanımlanıp azaltılmış deprem yükleri etkisiyle Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz edilmiş ise; maksimum yer değiştirme ve gerilme değerleri belirlenir. Kinematik etkileşim analizi nonlinear olarak tanımlanıp yapıldığı için, ataletsel etkileşim değerleri ve kinematik etkileşim değerleri yaklaşık birleştirilir. Hem kinematik hem de ataletsel etkileşim maksimum yer değiştirme ve gerilme değerleri “karelerin toplamının karekökü” kuralıyla birleştirilir.

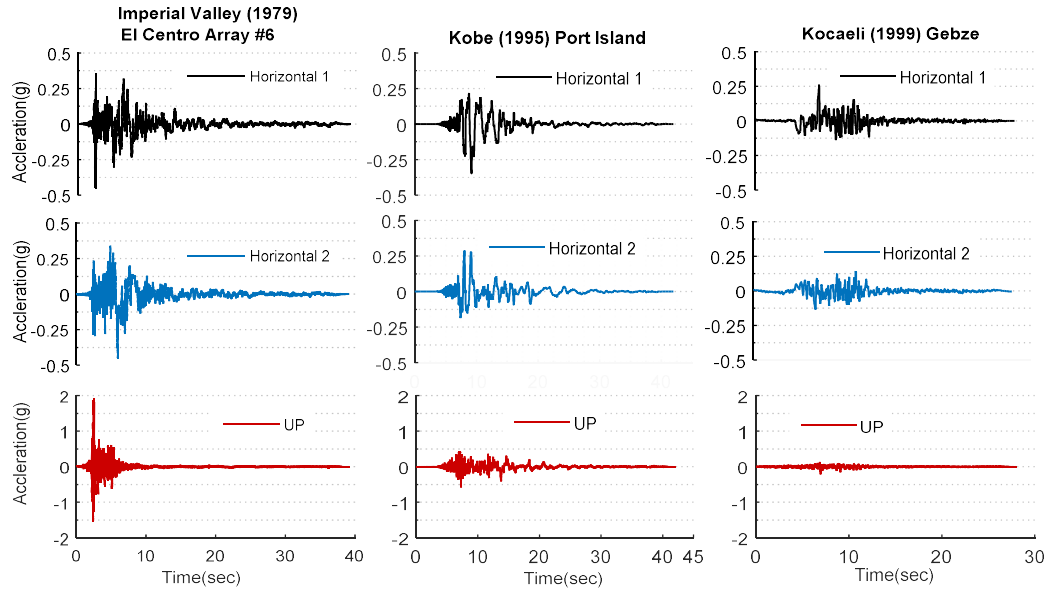
- b. Ataletsel etkileşim analizinde yapı nonlineer olarak tanımlanıp Zaman Tanım Aralığı Yöntemi ile analiz edilmiş ise; yer değiştirme, gerilme ve şekil değiştirmelerdeki değerler “değerlerin toplamı” olarak birleştirilir. Tasarımda değerler ortalamaları alınarak genel tepkiler hesaplanır.



3. ÇOK KATLI BETONARME YAPININ ÖZELLİKLERİ VE NUMERİK MODEL

3.1. Deprem Kayıtları

Tez kapsamında zaman tanım alanında gerçek zamanlı deprem analizleri, iki farklı (sağlam ve kötü) zemin türü için mühendislik parametreleri olan taban kesme kuvveti, devrilme momenti, taban eksenel kuvveti, en üst kat yatay ve düşey yer değiştirme değerlerine düşey deprem hareketinin etkisini belirlemek amacıyla yapılacaktır. Bu amaçla, düşey deprem bileşeni yüksek olan diğer bir deyişle yakın faydan oluşan deprem kayıtlarının seçilmesi büyük önem kazanmaktadır. Ülkemizdeki faylanma durumu ile aynı olan fay kaynağından oluşan ve literatürde deprem analizleri için referans verilen 1979 Imperial Valley ($M_w=6.53$), 1995 Kobe ($M_w=6.90$) and 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) depremleri zaman tanım alanında lineer analizler için kullanılmıştır. Bu depremlerin seçilmesinde depremlerin en büyük düşey (V), en büyük yatay (H) ivme oranları (V/H) dikkate alınmıştır. Depremlere ait temel özellikler **Çizelge 3.1.**'de detaylı olarak verilmiştir.

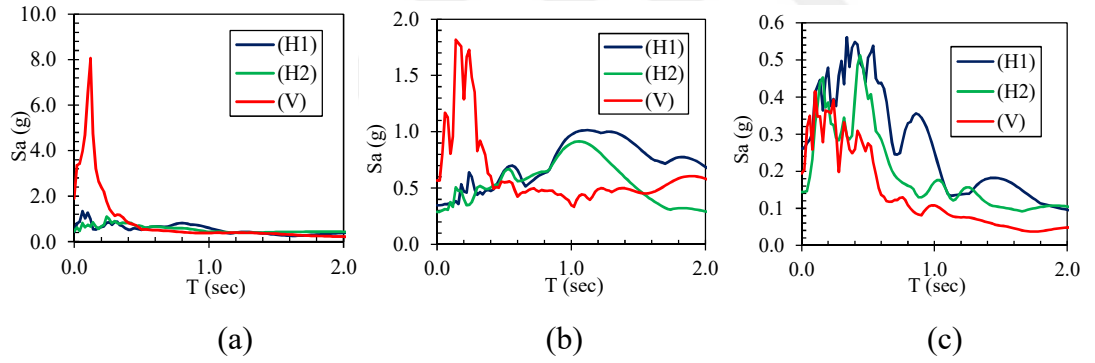


Şekil 3.1. Analizlerde kullanılacak deprem kayıtları

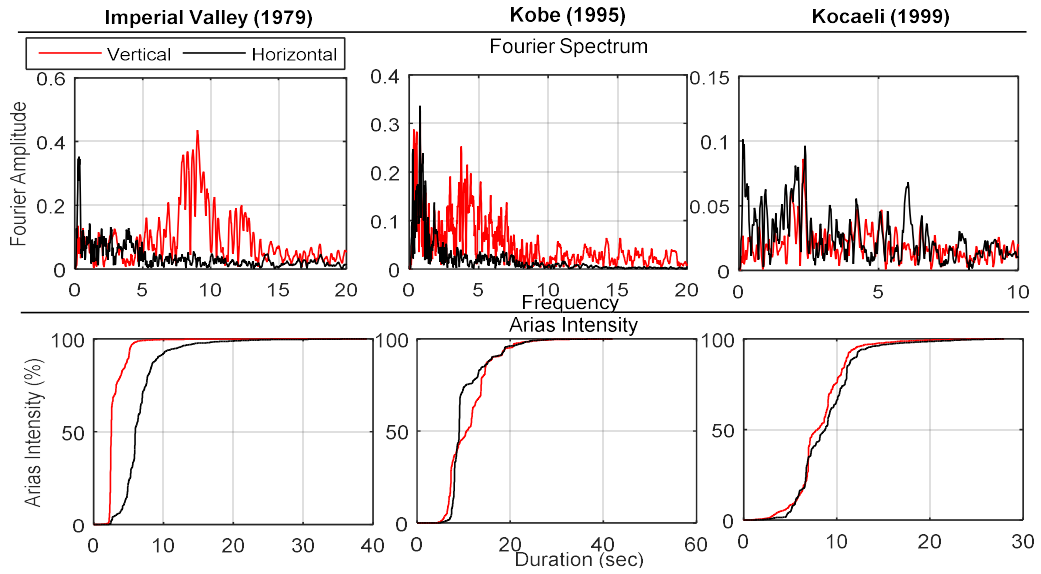
Çizelge 3.1.'de görüldüğü üzere kayıtların kaynağa olan uzaklığı Δ değeri 11.0 km ve daha düşük olması yakın fay etkisini analizlerde dikkate alınacağını göstermektedir. Deprem kayıtlarının V/H oranının değişimi incelendiğinde 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) depremine doğru bir azalış olduğu görülmektedir. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının (PGA) ivme değerlerinin değişimi de **Şekil 3.1**'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deprem kayıtlarının özellikleri

Yıl	Deprem	İstasyon	Zaman [s]	M_w	Δ [km]	Zemin	Faylanma	PGA (g)			V/H
								H ₁	H ₂	V	
1979	Imperial Valley	El Centro Array #6	39.08	6.53	1.35	Yumuşak	Yanal atım	0.45	0.44	1.90	4.31
1995	Kobe	Port Island	41.98	6.90	3.31	Yumuşak	Yanal atım	0.35	0.29	0.57	1.96
1999	Kocaeli	Gebze	27.99	7.40	10.92	Yumuşak	Yanal atım	0.26	0.14	0.19	0.73



Şekil 3.2. Kayıtların ivme tepki spektrumları



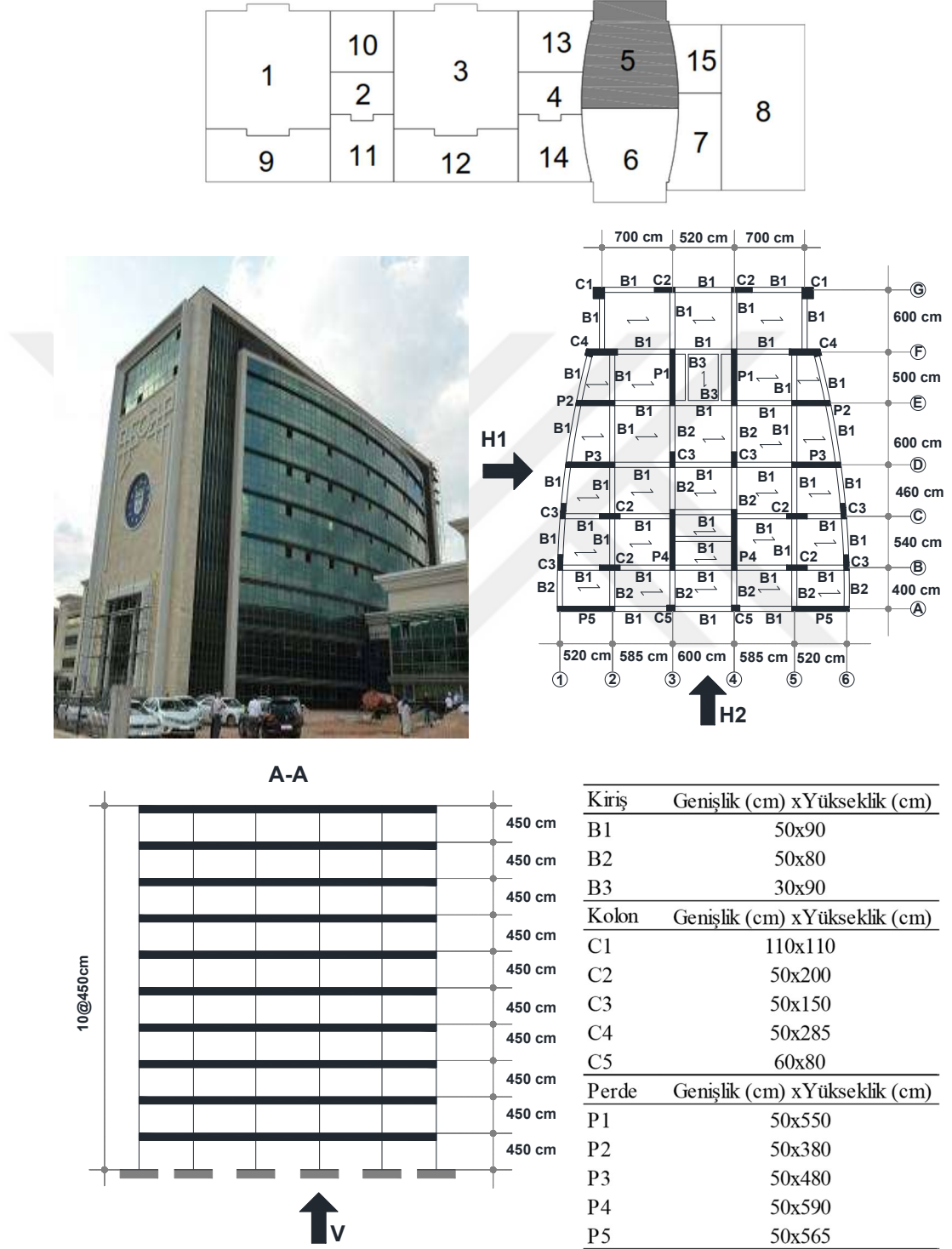
Şekil 3.3. Kayıtların FFT ve etkin sürelerinin elde edilmesi

Kuvvetli yer hareketlerine ait spektral ivme değerlerinin değişimi **Şekil 3.2.**'de görüldüğü üzere elde edilerek, kayıtların zaman alanında bir yapıya etki edilmesi sonucu yapının maruz kalacak en büyük ivme değerleri gösterilmiştir. Kayıtların ayrıca frekans alanındaki davranışları ve Arias şiddetlerine bağlı olarak etkin süreleri **Şekil 3.3.**'de verilmiştir. **Şekil 3.3.**'den görüldüğü üzere yatay ve düşey bileşenlerinin her ikisinde en uzun etkin süre 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) depreminde elde edilmiştir. Ayrıca frekans alanında yapılan FFT (Fast Fourier Transform) analizlerinde etkin frekans değerleri Imperial Valley ($M_w=6.53$), Kobe ($M_w=6.90$) ve 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) depremleri için sırasıyla 9.03 s^{-1} , 3.75 s^{-1} ve 2.30 s^{-1} olarak elde edilmiştir.

3.2.Yapı Bilgileri

Bu tez kapsamında Bursa Büyükşehir Belediyesi Hizmet Binasının 5. Bloğu yapısal analizlerde kullanılmak üzere sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Yapı dilatasyon derzleriyle ayrılmış 15 bloktan oluşmaktadır. Genel yapı özellikleri ve yapısal parametreler **Çizelge 3.2.** 'de verilmiştir. Bina kullanım amacı dikkate alınarak; bina önem katsayısı 1.5 olarak belirlenmiştir. Bina taşıyıcı sisteminde toplam taban kesme

kuvvetinin % 75'inden azının sistemdeki perdeler tarafından karşılanması sebebiyle yapı sistemi yarı sünektir. Yarı sünek perdeli çerçeveli bu yapı DBYBHY 2007 kurallarına göre tasarlanmıştır. Yapı sistemine ait özellikler **Şekil 3.4.**' de verilmiştir.



Şekil 3.4. Analizlerde dikkate alınacak betonarme yapının özellikleri

Sonlu elemanlar yöntemi ile modeli ve analizi yapılacak olan yapının önemli yapısal parametreleri DBYBHY 2007 yönetmeliği esaslarına dayanarak **Çizelge 3.2.**'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Genel yapı özellikleri ve yapısal parametreler

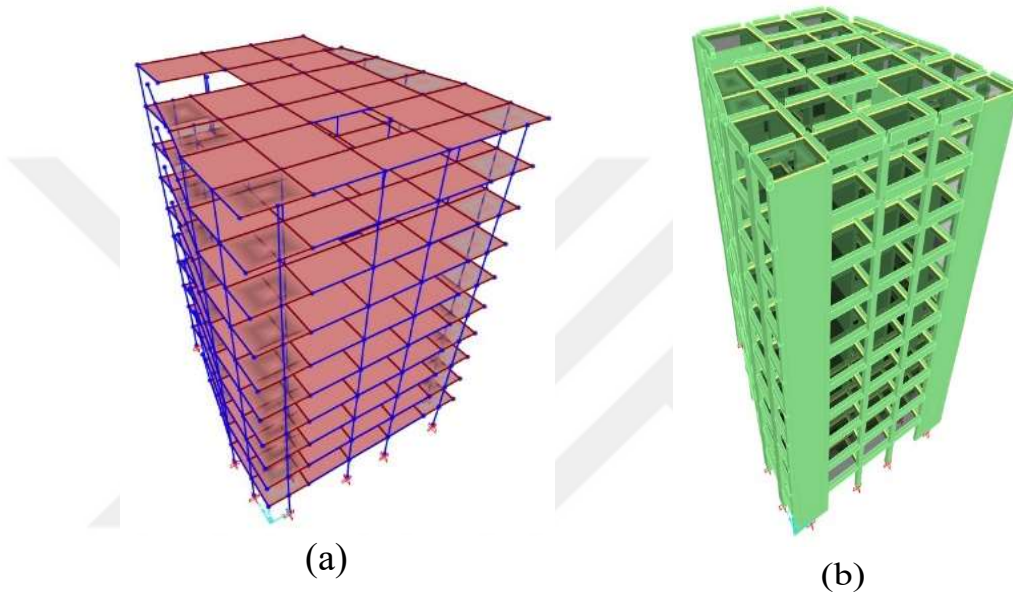
Kat sayısı:	10
Kat yüksekliği (m):	4.5
Kullanım amacı:	Resmi kamu binası
Yapısal sistem:	Yarı sünek ($R=7$)
Beton sınıfı:	C35 ($f_{ck}=30$ MPa)
Donatı sınıfı:	S420 ($f_{yk}=420$ MPa)
Hareketli yük katılım katsayısı (n):	0.3
Ölü ve hareketli yük:	7.50 ve 5.0 kN/m ²
Toplam kütle =10 x kat kütlesi:	10x1342.6 (ton)=13426 (ton)
Etkin yer ivme katsayısı:	1 st ($A_0=0.4$)
Önem çarpanı (I):	1.5
Zemin türü:	Z3 ($T_a=0.15$ s, $T_b=0.60$ s)

3.3. Yapı Sonlu Eleman Modeli

Bu tez kapsamında yapılan numerik hesaplamalar SAP2000 programından faydalanılarak yapılmıştır. Yapıya ait detaylı özellikler belirlendikten sonra yapının sonlu eleman modeli oluşturulurken şu hususlar dikkate alınmıştır;

- Kolan ve kirişler çubuk (frame) eleman olarak alınmıştır.
- Döşeme ve perde elemanları için kabuk (shell) eleman türü atanmıştır.
- Temel için ise kayma şekil değiştirmesini de dikkate alan plaka (plate) eleman tanımı yapılmıştır.
- Her kat seviyesinde deprem yükünün çerçeve sistemlere aynı şekilde aktarılmasının sağlayan ve döşemelerin düzlem dışı davranışının sınırlandıran rijit diyafram ataması yapılmıştır.

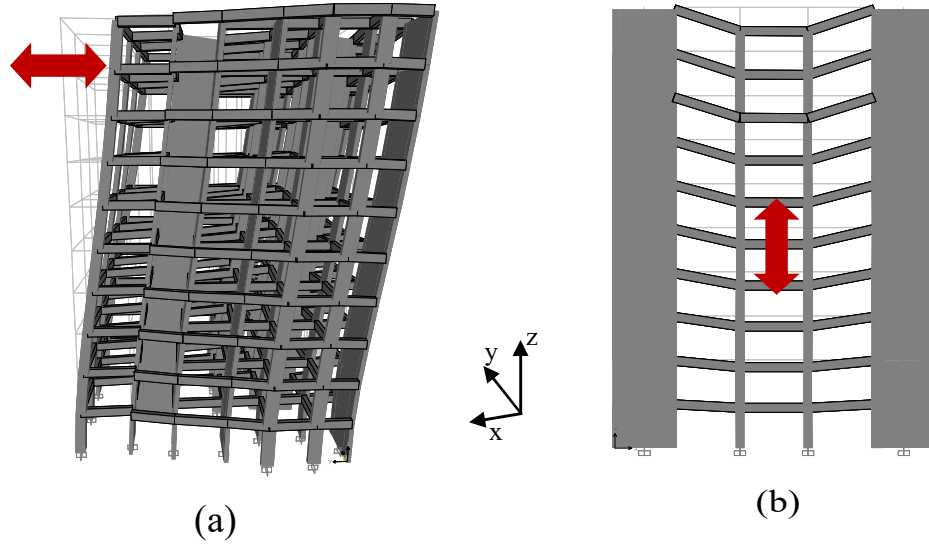
Bu aşamada yapının sadece temelde ankastre bağlı olma durumu yani üst yapı çerçeve kısmı modellenmiştir. $H=1$ m yüksekliğindeki rijit radye temel üst yapı kısmında modele dâhil edilmemiş olup, yapı zemin etkileşimli modellemede dikkate alınmamıştır. Böylece, üst yapı kısmına temelden rijit bağlantıyı temsil eden ankastre mesnetlenme şartı tanımlanmıştır. **Şekil 3.5.**' de betonarme mevcut çok katlı binanın oluşturulan sonlu eleman modeli ve üç boyutlu görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.5. (a) Yapı sonlu eleman modeli (b) 3 Boyutlu görünüş

3.4. Modal Analiz

Oluşturulan modelde dikkate alınan varsayımların ilk aşamada doğruluğunu sınamak için yapının doğal titreşim periyotlarını veren modal analiz yapılmıştır. Analizden önce beklendiği üzere **Şekil 3.6.**' de gösterildiği gibi etkin titreşim modların yatay yönde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.6. (a) Yatay doğal titreşim modu (b) Düşey doğal titreşim modu

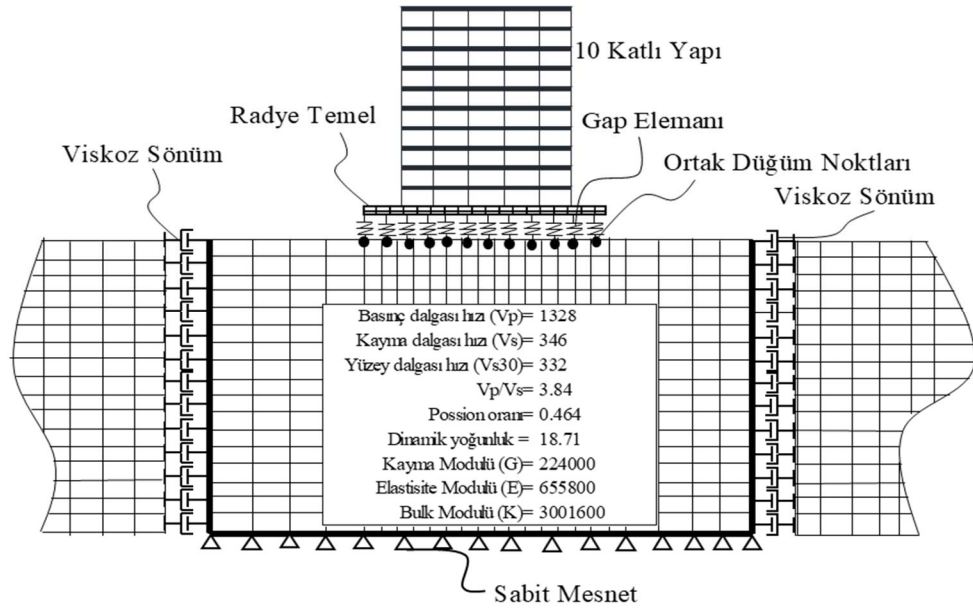
Modal analizin sonuçlarını içeren detaylı bilgiler **Çizelge 3.3.**'de verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere 20 mod sonunda dinamik analize katılacak toplam modal kütle oranının her bir doğrultu için istenilen değerlere çıktığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında zaman tanım alanında linear analiz, direkt integrasyon yöntemi ile yapılacağından ne kadar modun dikkate alınacağı önemli bir husus olmamaktadır.

Çizelge 3.3. Rijit mesnetli modelin modal analiz sonuçları

Mod No	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Moda Kütle Katılım Oranı [%]					
			X-Yönü		Y-Yönü		Z-Yönü	
			Mx	Rx	My	Ry	Mz	Rz
1	<u>0.707</u>	<u>1.414</u>	<u>0.394</u>	0.081	0.325	0.122	0.000	0.020
2	<u>0.659</u>	<u>1.517</u>	0.258	0.106	<u>0.417</u>	0.084	0.000	0.063
3	<u>0.623</u>	<u>1.604</u>	0.068	0.003	0.010	0.022	0.000	<u>0.674</u>
4	0.205	4.869	0.025	0.264	0.107	0.049	0.000	0.002
5	0.190	5.268	0.033	0.034	0.014	0.063	0.000	0.088
6	0.181	5.528	0.098	0.023	0.012	0.185	0.000	0.041
7	0.112	8.949	0.000	0.001	0.000	0.004	0.019	0.000
8	0.109	9.193	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.000
9	0.108	9.230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.108	9.266	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.107	9.308	0.000	0.003	0.003	0.001	0.001	0.000
12	0.107	9.327	0.001	0.014	0.013	0.001	0.000	0.002
13	0.107	9.359	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.106	9.405	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.106	9.436	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.105	9.481	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.103	9.671	0.002	0.029	0.030	0.003	0.000	0.001
18	0.099	10.089	0.000	0.002	0.003	0.001	0.000	0.044
19	0.093	10.719	0.049	0.001	0.003	0.052	0.003	0.001
20	<u>0.092</u>	<u>10.847</u>	0.000	0.020	0.000	0.003	<u>0.676</u>	0.000
Toplam Kütle [%]=			0.929	0.583	0.937	0.590	0.706	0.936

4. YAPI-ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE MODELİ

Tez çalışmasının önceki bölümlerinde detayları verilen, Direk Metot kullanılarak yapı-zemin etkileşimi mühendislik parametreleri olan taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, taban eksenel kuvveti, en üst kat yatay ve düşey yer değiştirmeleri üzerinden belirlenmeye çalışılmıştır. Yapı-zemin etkileşiminde dikkate alınan en önemli özelliklerden biri taşıyıcı sistem çerçevesi (üst yapı) ile temel ve zemin ortamının aynı anda modellenerek bileşik dinamik etkininde dikkate alınmasıdır. Tez çalışmasında dikkate alınan yapı-zemin modeli şematik olarak **Şekil 4.1.**'de gösterilmiştir. **Şekil 4.1**'de verilen zemin değerleri yapının oturduğu zemine ait saha verilerini veren SPT (standart penetrasyon testi) deney sonuçlarıdır. Bu değerler DBYBHY 2007'ye göre C tipi, TBDY (2019)'a göre D tipi zemin sınıfına karşılık gelmektedir. Bu sınıflandırmanın yapılmasında en önemli parametre kesme dalgası hızı (V_s)'dir. Zeminlere ait parametreler **Çizelge 4.1.**'de D ve B için verilmiştir. Tez çalışması kapsamında iki tür farklı zemin türü kullanılarak zaman tanım alanında lineer analizler yapılmıştır. Bu zemin türleri TBDY (2019)'a göre B ($V_s=893$ m/s) ve D ($V_s=346$ m/s)'dir.



Şekil 4.1. Yapı-zemin etkileşim modelinin şematik gösterimi

Çizelge 4.1. Yapı-zemin etkileşimli modelde kullanılan zemin türleri

	D Tipi Zemin	B Tipi Zemin	Birim
Basınç dalgası hızı (V_p)=	1328	2472	m/s
Kayma dalgası hızı (V_s)=	346	893	m/s
Yüzey dalgası hızı (V_{s30})=	332	893	m/s
V_p/V_s =	3.84	2.77	
Possion oranı=	0.464	0.464	
Dinamik yoğunluk =	18.71	27.70	kN/m ³
Kayma Modülü (G)=	224000	1786344	kN/m ²
Elastisite Modülü (E)=	655800	5090933	kN/m ²
Bulk Modülü (K)=	3001600	11306811	kN/m ²

Şematik gösterimden görüldüğü üzere, direk metot da kullanılan varsayımlar şu şekilde sıralanabilir;

- Yakın alan etkisi temel boyutlarının yaklaşık 5 katı büyüklüğündeki zemin ortamı modellenerek dikkate alınmıştır.
- Uzak alan etkisi ise sönümleyicilerle temsil edilerek yakın alan yüzeyinde temellendirilmiştir.
- Zemin modeli solid eleman tanımıyla elastik olarak modellenmiş olup, yakın alan ve uzak alan ara yüzeyi lineer olmayan sönümleyiciler ile temsil edilmiştir.
- Yapı temeli altı seviyesi ile zemin üst yüzeyi arasındaki bağlantı sadece basınç etkisini dikkate alan gap eleman sağlanmıştır.
- Zemin ortamının alt seviyesine, ana kayayı temsil edecek şekilde sabit mesnet sınır koşulları atanmıştır.
- Deprem kuvveti ana kaya seviyesinden etki edilmiştir.

Yukarıda açıklanan lineer olmayan sönüm elemanının sönüm katsayısı değeri C_H ve C_V katsayıları, Lysmer and Kuhlemeyer (1969) tarafından **Eşitlik 4.1.**'de verilen formüller kullanılmıştır.

$$C_h = -\rho \cdot V_p \cdot A; C_v = -\rho \cdot V_s \cdot A \quad (4.1)$$

Burada,

C_h : Yatay viskoz sönüm katsayısı,

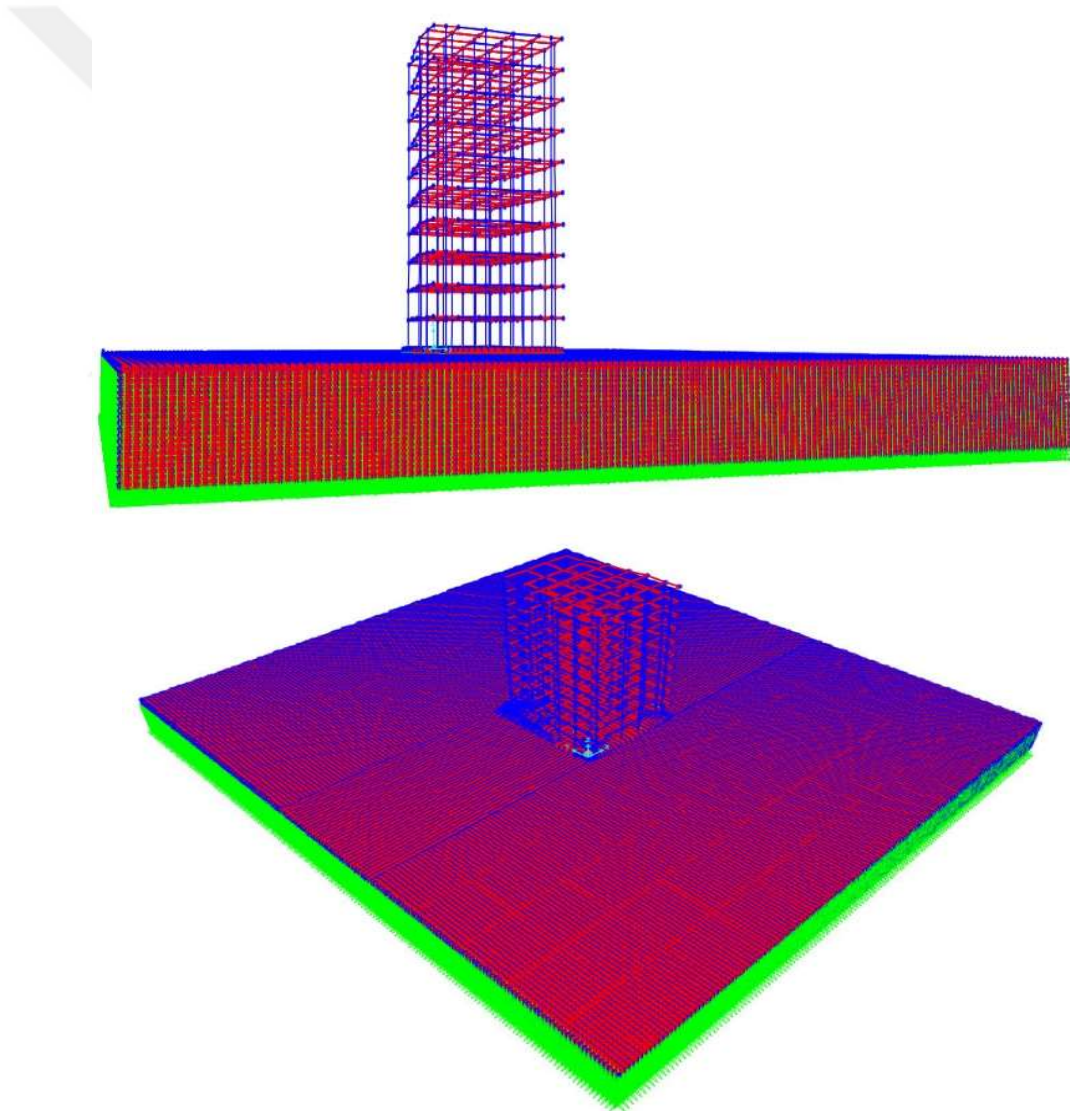
C_v : Düşey viskoz sönüm katsayısı,

V_p : Basınç kesme dalgası hızı

V_s : Kesme dalgası hızı,

A : Efektif düğüm noktası alanı,

ρ : Yoğunluk olarak tanımlanmaktadır. Bu verilerin ışığında oluşturulan yapı-zemin sonlu eleman modeli **Şekil 4.2.**'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Yapı-zemin etkileşimli sonlu eleman modeli

5 . ZAMAN TANIM ALANINDA LINEER ANALİZ (ZTALA)

Zaman tanım alanında lineer analiz, rijit mesnetli (FS), D ve B zemin sınıfları için ayrı ayrı yapı-zemin etkileşimli (SSI) modeller için yapılmıştır. Toplamda üç analizden elde edilen sonuçlar taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, taban eksenel kuvveti, en üst kat yatay ve düşey yer değiştirmelerine göre özetlenmiştir. Analiz sonuçları her bir zemin türü için ayrı olarak rijit mesnetli modelden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

5.1. D Tipi Zemin Türü İçin Analiz

Çizelge 5.1.' de taban kesme kuvveti için elde edilen sonuçlar incelendiğinde rijit mesnetli (FS) ve yapı-zemin etkileşimli yapı modeli (SSI) hem H hem de H+V yükleme durumları ile karşılaştırıldığında göreceli olarak artış olduğu ve SSI modelinden elde edilen sonuçların daha yüksek çıktığı görülmektedir. Modeller bazında SSI modelinin daha kritik sonuçlar verdiği elde edilmiştir. Fakat analizlerden önce beklenildiği üzere düşey deprem etkisinin taban kesme kuvvetinin artışı üzerinde etkisinin neredeyse olmadığı görülmektedir. Böylece taban kesme kuvvetinde yatay deprem hareketinin etkili olduğu tahmin edilmiştir.

Çizelge 5. 1. Taban kesme kuvveti sonuçları

Taban Kesme Kuvveti (kN)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet	Yapı-Zemin	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	84050	87460	4	84050	87730	4	0.0	0.3
Kobe	67740	109100	61	67620	109600	62	-0.2	0.5
Kocaeli	26250	33550	28	26240	33570	28	0.0	0.1

Devrilme momentinin karşılaştırılmalı sonuçlarından, SSI modelinin genel anlamda devrilme momenti etkisini sönümlendiğini ve dolayısıyla FS ile karşılaştırıldığında daha düşük değerler verdiği görülmektedir. Dolayısıyla model bazında

karşılaştırıldığında her bir yükleme durumu için FS modelinin daha kritik sonuçlar vermesine rağmen zeminin sönümlleme yeteneğinin bilinmesi sebebiyle sonuçların tartışmaya açık olduğu görülmüştür. Bu parametre yüklemeler türünde karşılaştırıldığında ise SSI modelinde düşey deprem etkisinin olması durumunda beş kattan fazla artış olduğu **Çizelge 5.2.**'de görülmektedir.

Çizelge 5. 2. Devrilme momenti sonuçları

Devrilme Momenti (kNm)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	2365000	2199000	-7	9484000	14390000	52	301.0	554.4
Kobe	2016000	3242000	61	2431000	3569000	47	20.6	10.1
Kocaeli	8358000	793400	-91	9083000	1272000	-86	8.7	60.3

Analizden önce yine beklenildiği gibi, taban eksenel kuvvetindeki büyük artış **Çizelge 5.3.**'de görülmektedir. Fakat, H+V etkisi altında FS'ye göre SSI modelinden elde edilen artış yalnız H deprem etkisi altında elde edilen artıştan daha azdır. En genel anlamda SSI modelinin taban eksenel kuvvetinin tahmininde biraz düşük kaldığı tespit edilmiş olup bu noktada zeminin sönümlleme özelliğinin etkin olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. 3. Taban eksenel kuvveti sonuçları

Taban Eksenel Kuvveti (kN)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	911	4803	427	655100	1018000	55	71786.3	21095.1
Kobe	138	1259	811	95740	147100	54	69176.4	11583.9
Kocaeli	217	2474	1038	31930	48400	52	14587.2	1856.3

Tepe kat yatay ve düşey yer değiştirme parametrelerine gelince, taban kesme kuvvetindeki değişime benzer bir değişiminde tepe kat yatay yer değiştirmesi için tahmin edildiği analizlerden önce öngörülmekteydi. **Çizelge 5.4.**’ de görüldüğü üzere SSI modelindeki artışın sınırlı olmasına rağmen tahmin edildiği gibi düşey deprem bileşenin her iki model üzerinde etkisi hiç yoktur. Sınırlı olsa SSI modelinden elde edilen sonuçların yüksek olması sebebiyle SSI modelinin daha kritik sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çizelge 5. 4. Tepe kat yatay yer değiştirmesi sonuçları

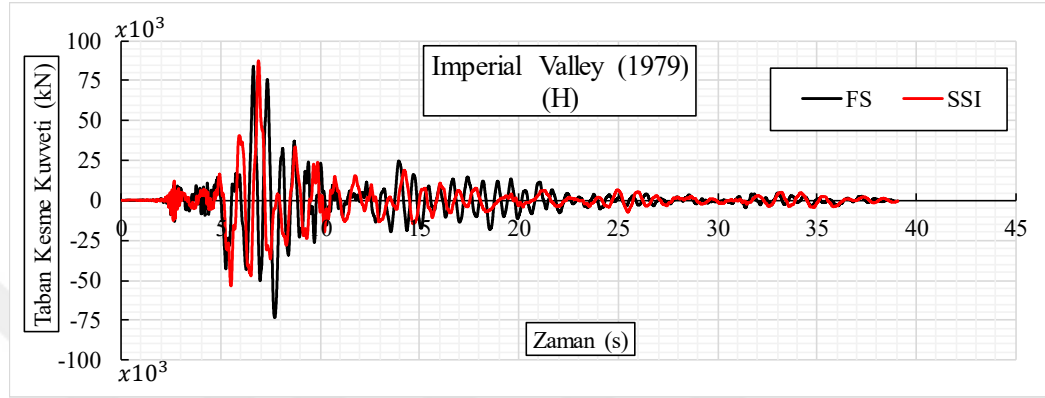
Tepe Kat Yatay Yatay Yerdeğiştirmesi (m)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	0.786	0.835	6	0.786	0.835	6	0.0	0.0
Kobe	0.459	0.680	48	0.459	0.680	48	0.0	0.0
Kocaeli	0.432	0.484	12	0.432	0.484	12	0.0	0.0

Düşey yer değiştirme değerlerini incelediğimizde ise yine beklenildiği gibi H depremi etkisi altında SSI modelinden FS’ ye kıyasla büyük ama sınırlı değerler elde edilmesine rağmen H+V etkisi altında H yüklemesine göre büyük bir artış olurken neredeyse modellemeler arasında hiçbir artış gözlenmiştir. Böylece, düşey deprem bileşenin SSI ve FS modellerinin ikisi içinde dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

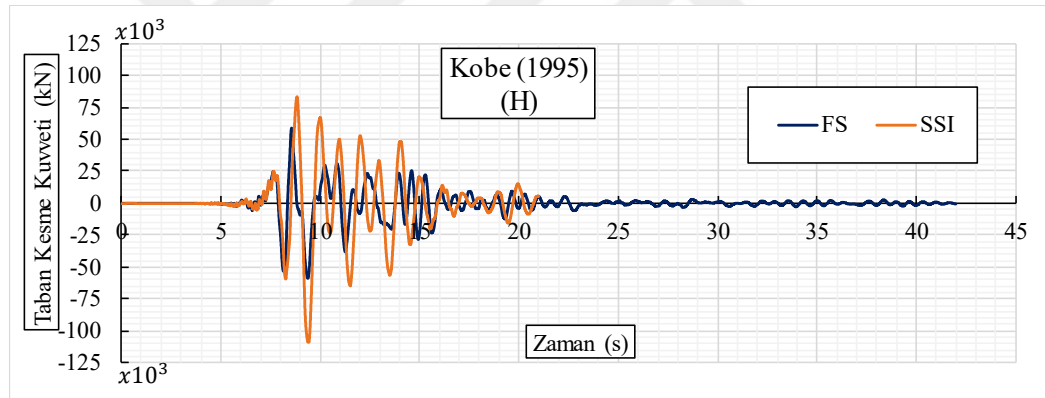
Çizelge 5. 5. Tepe kat yatay düşey yer değiştirmesi sonuçları

Tepe Kat Yatay Düşey Yerdeğiştirmesi (m)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	0.003	0.004	17	0.260	0.260	0	8253.7	7019.0
Kobe	0.003	0.006	83	0.280	0.281	0	8607.2	4672.0
Kocaeli	0.001	0.001	-25	0.057	0.057	1	4781.8	6447.2

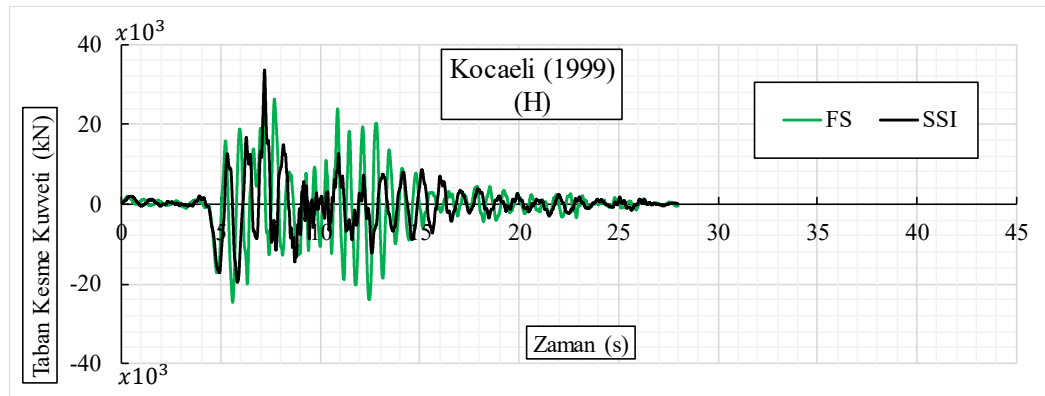
Elde edilen karşılaştırmalı sonuçlara ek olarak, dikkate alınan taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, taban eksenel kuvveti, en üst kat yatay ve düşey yer değiştirme parametrelerinin zamana bağlı olarak iki model (SSI ve FS) ve iki yükleme türüne göre değişimleri zamana bağlı olarak ayrıca Şekil 5.1. - 5.20. 'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



(a)

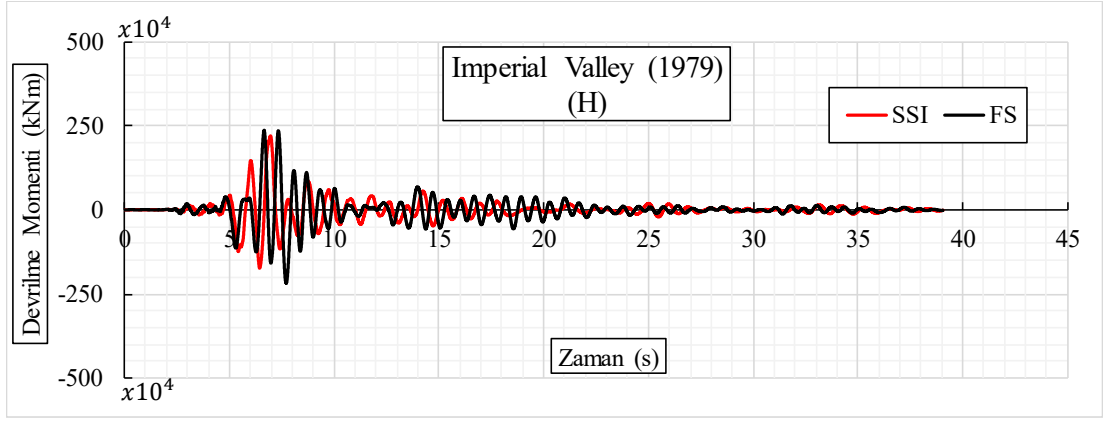


(b)

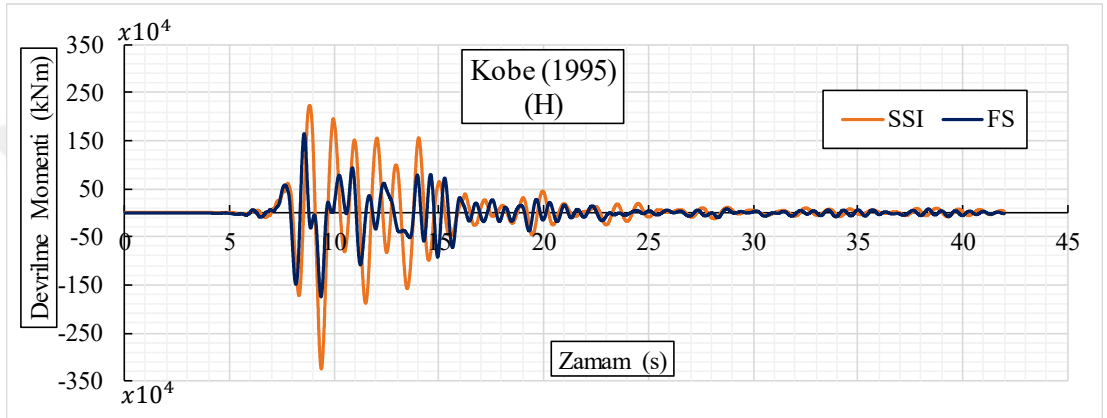


(c)

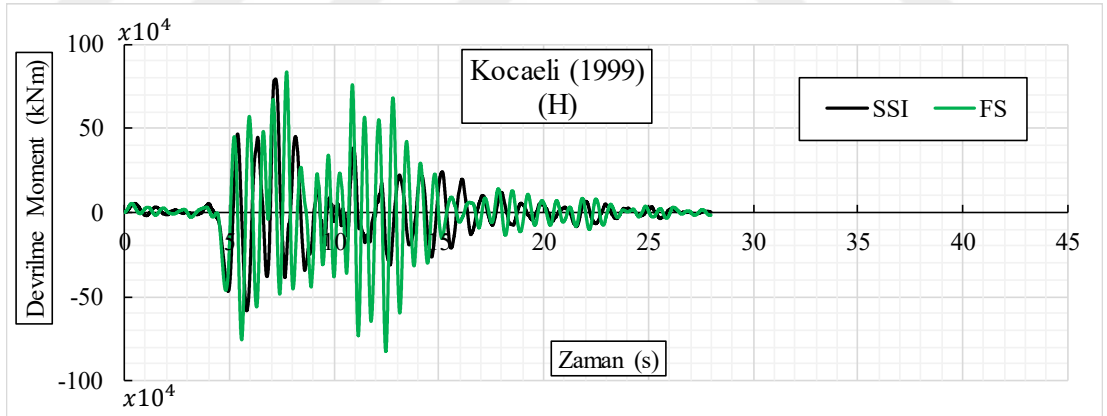
Şekil 5. 1. H yükü altında taban kesme kuvveti



(a)

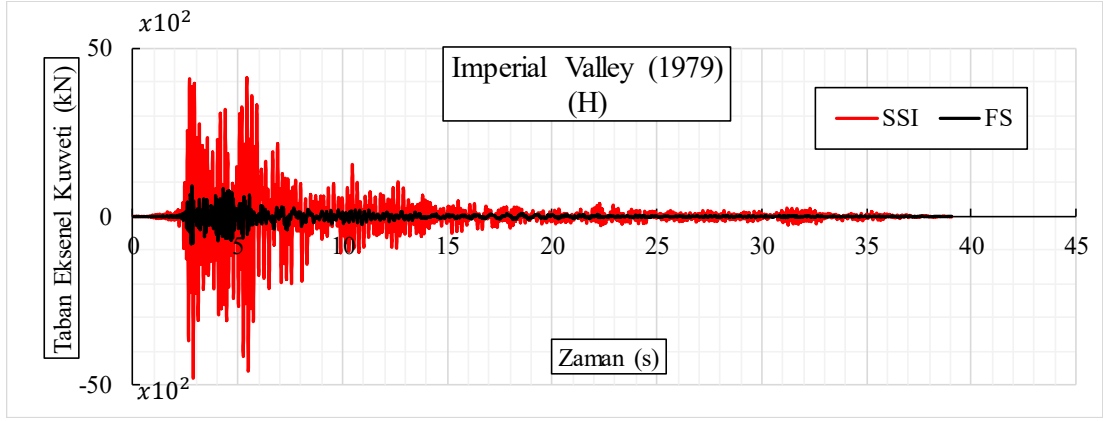


(b)

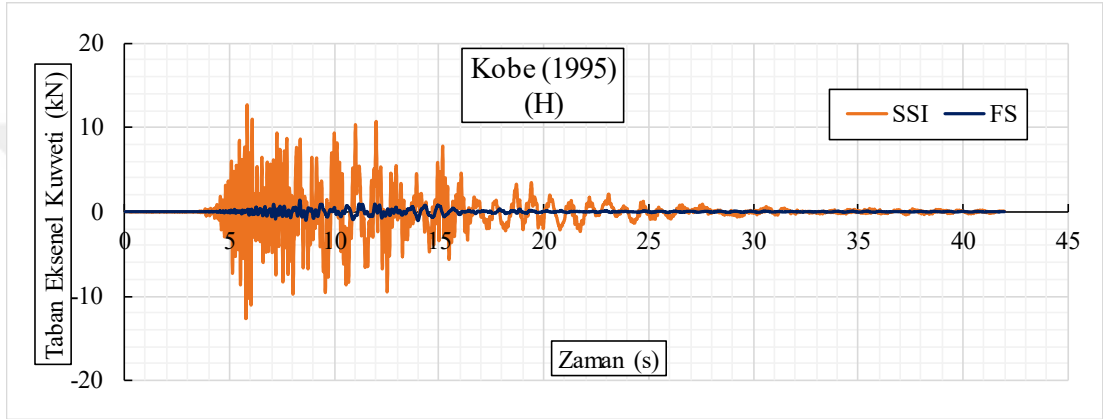


(c)

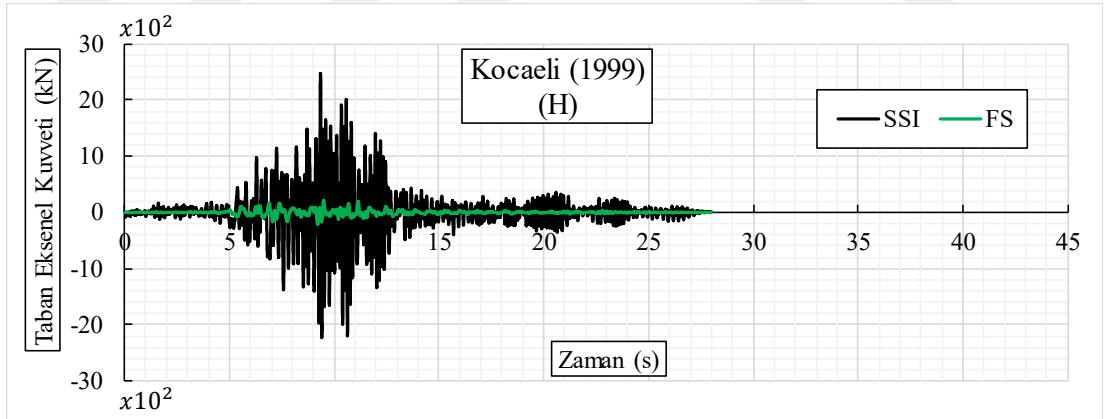
Şekil 5. 2. H yükü altında devrilme momenti



(a)

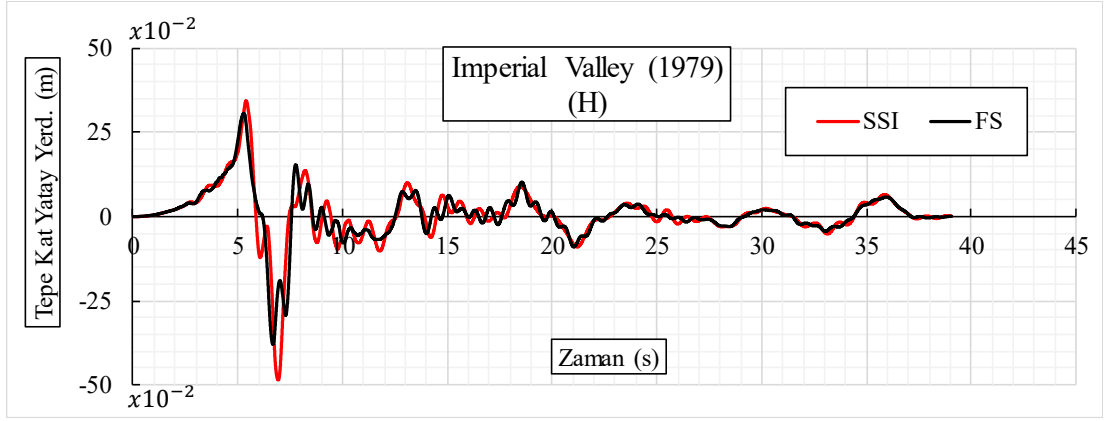


(b)

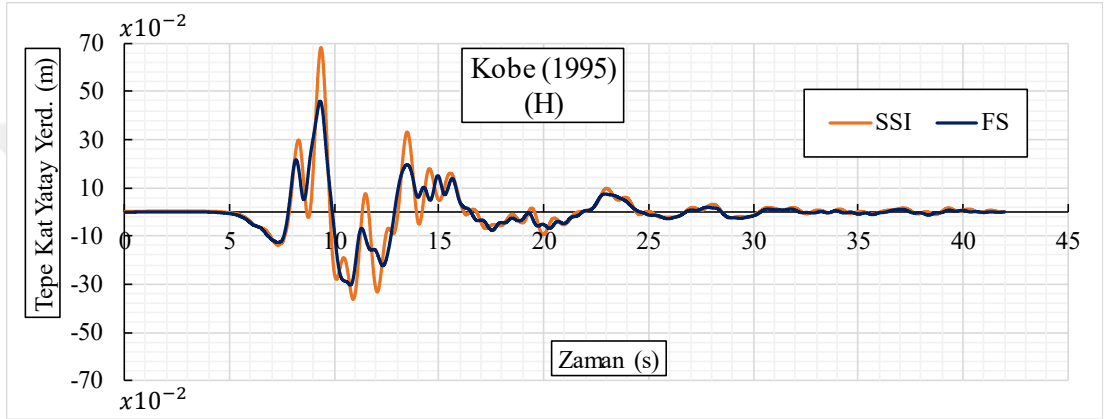


(c)

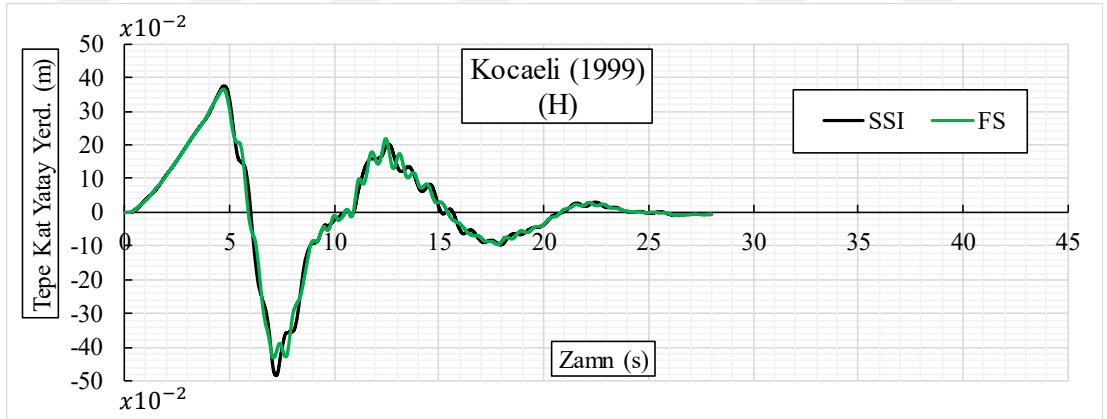
Şekil 5. 3. H yükü altında taban eksenel kuvveti



(a)

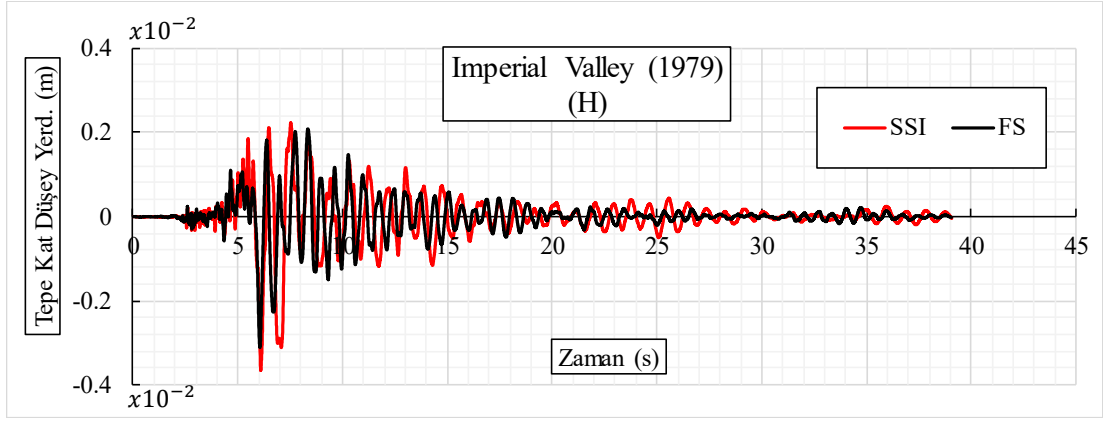


(b)

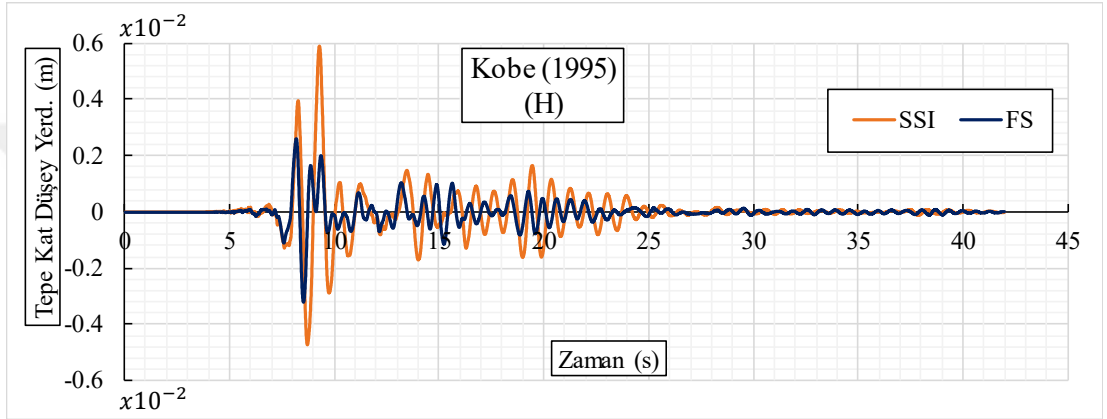


(c)

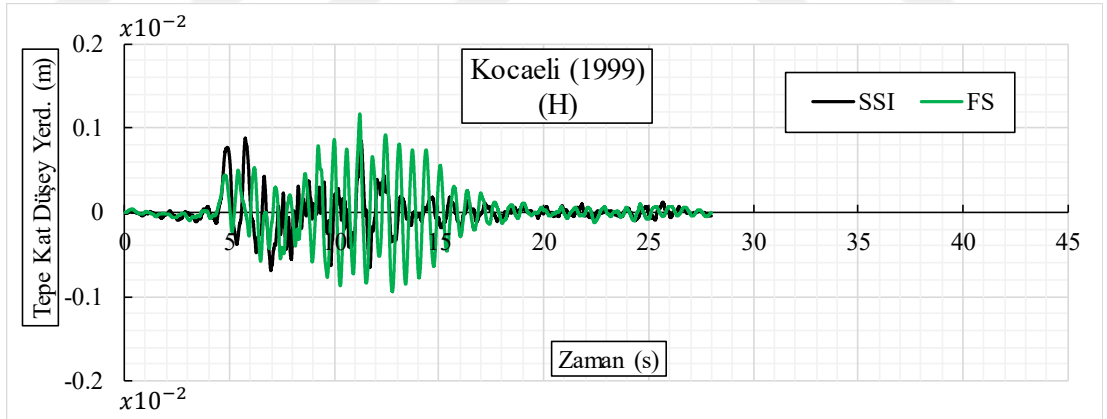
Şekil 5. 4. H yükü altında tepe kat yatay yer değiştirmesi



(a)

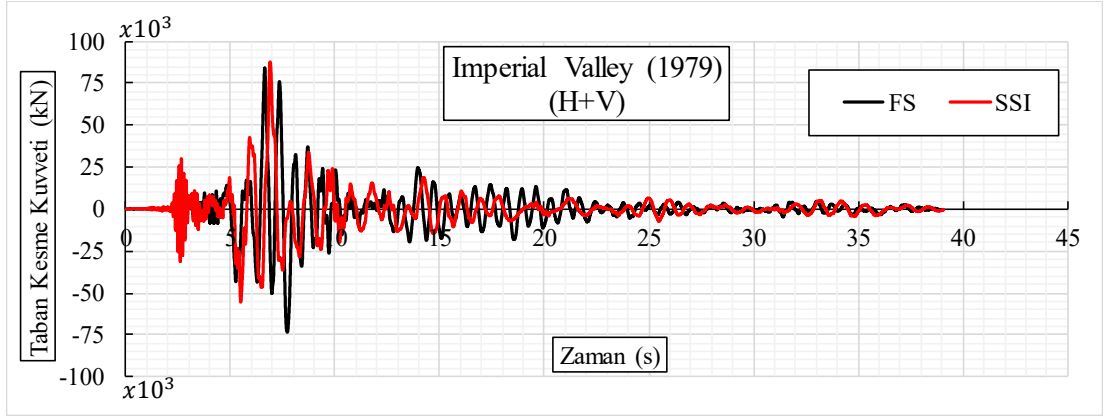


(b)

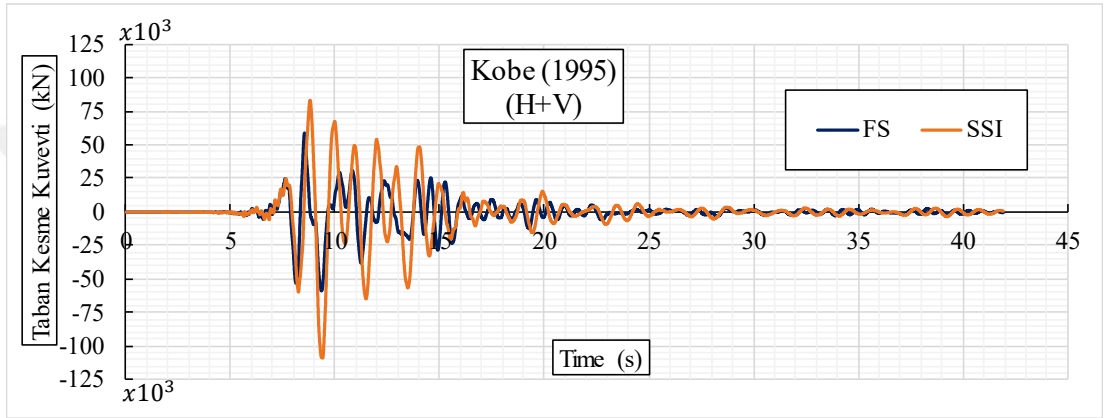


(c)

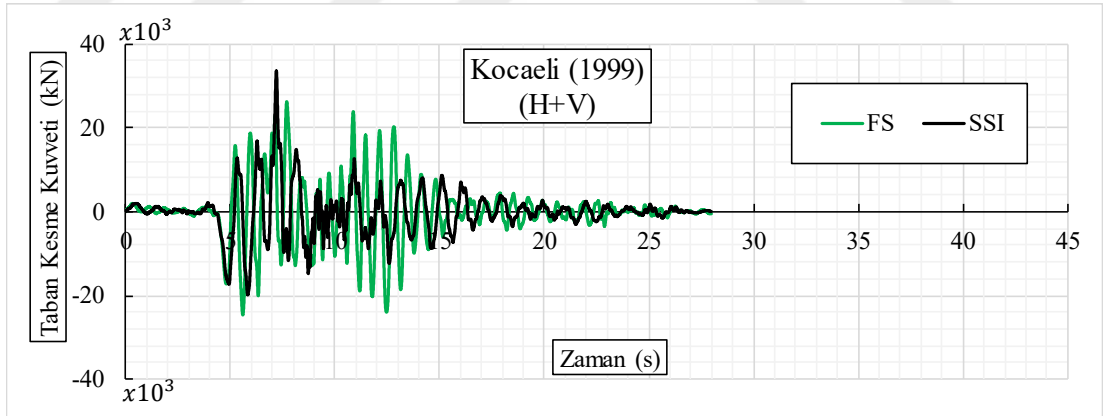
Şekil 5. 5. H yükü altında tepe kat düşey yer değiştirmesi



(a)

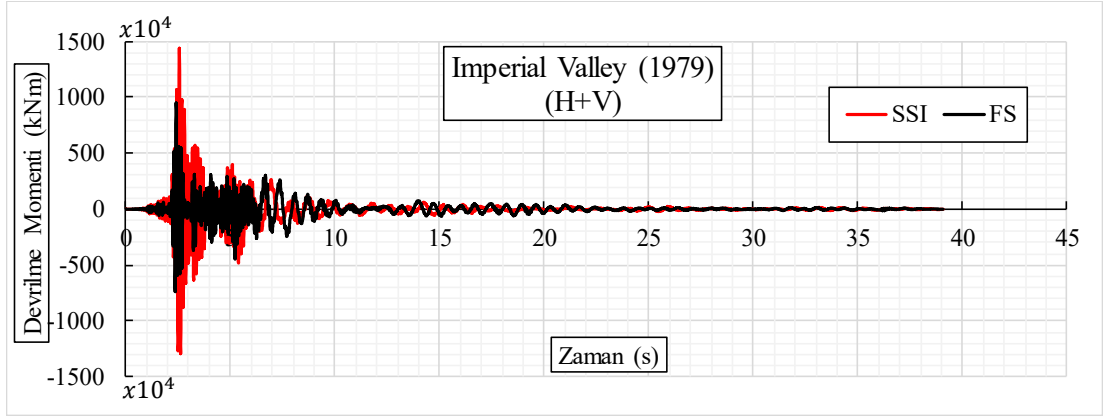


(b)

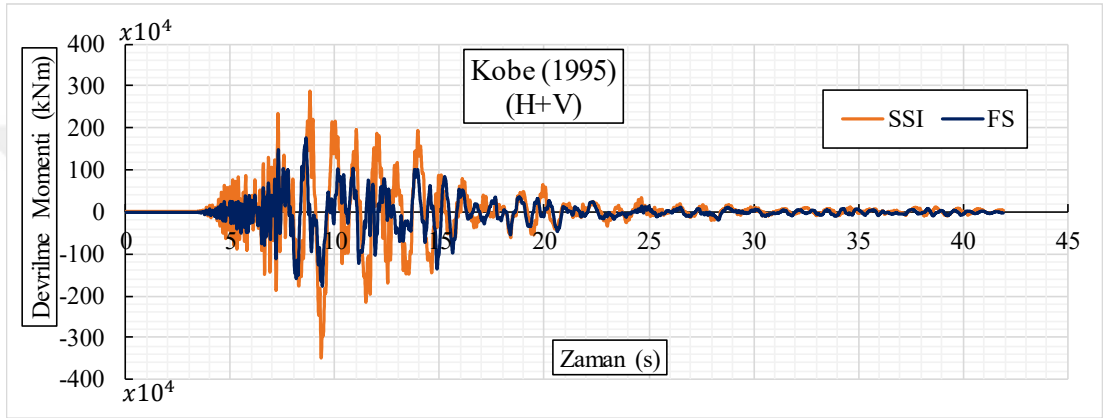


(c)

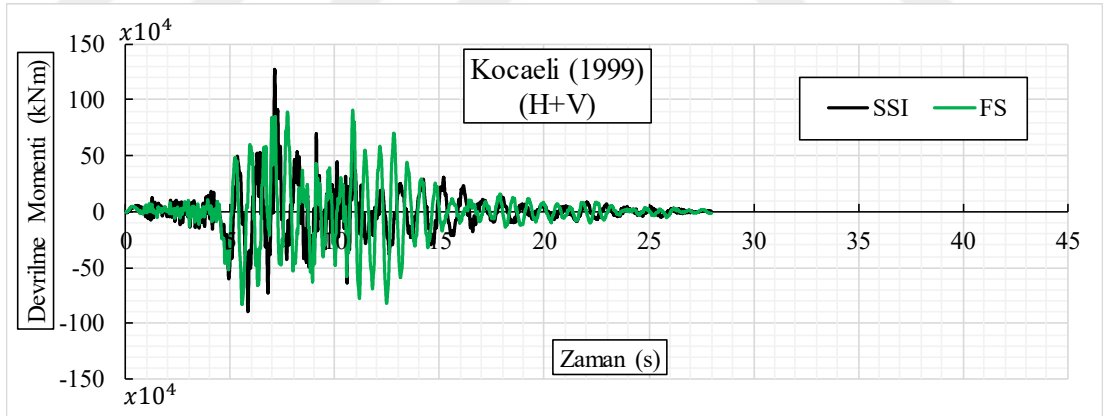
Şekil 5. 6. H+V yükü altında taban kesme kuvveti



(a)

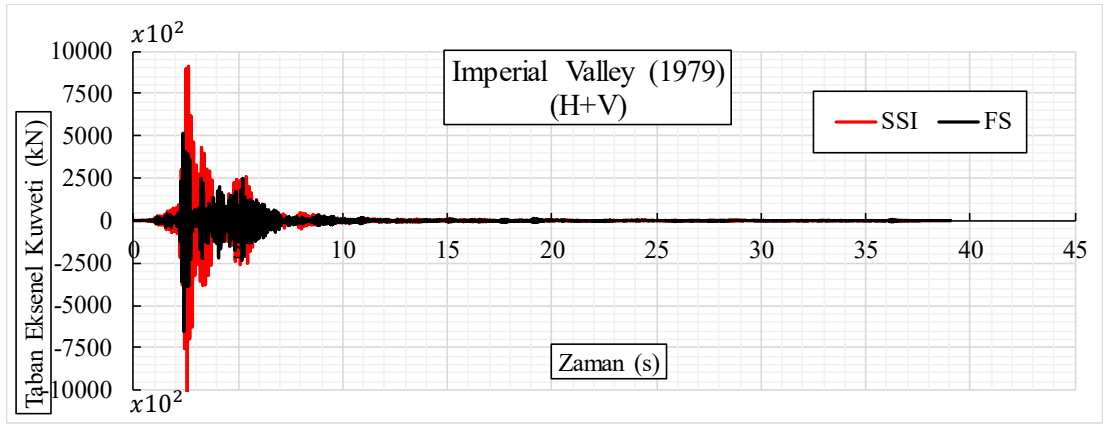


(b)

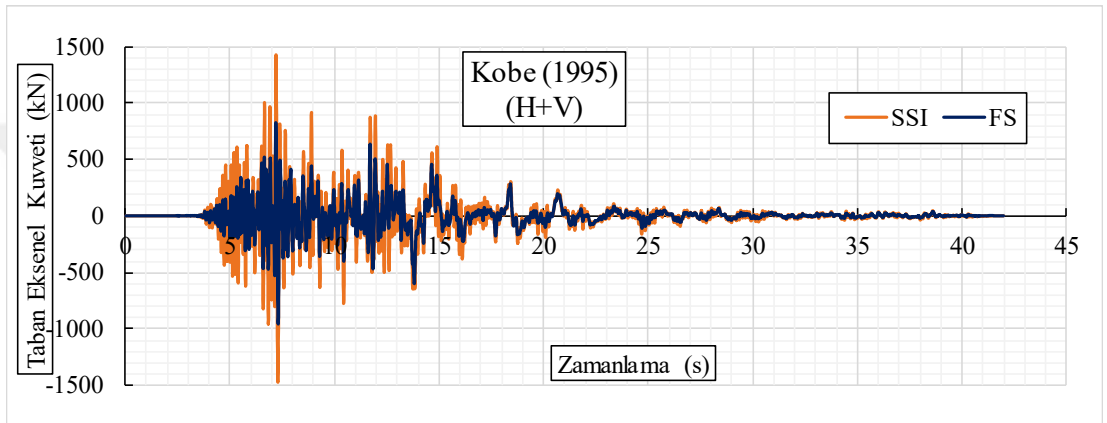


(c)

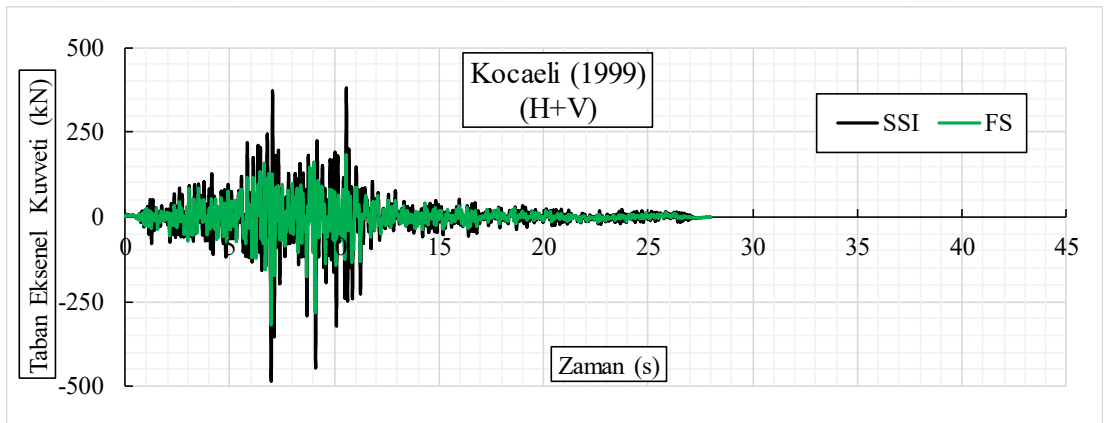
Şekil 5. 7. H+V yükü altında devrilme momenti



(a)

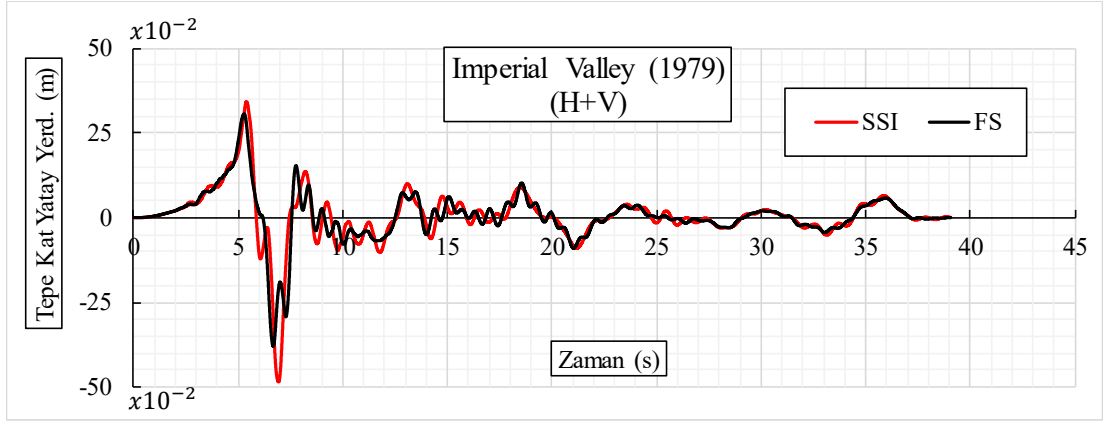


(b)

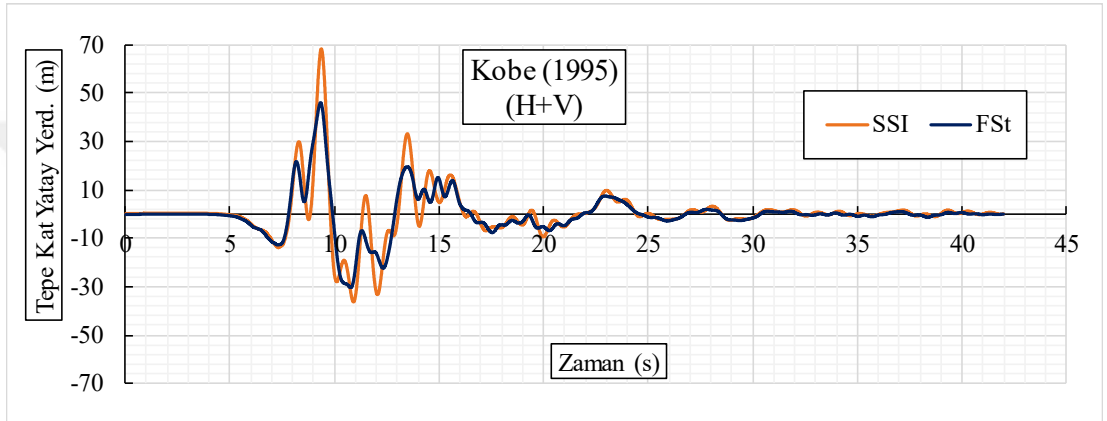


(c)

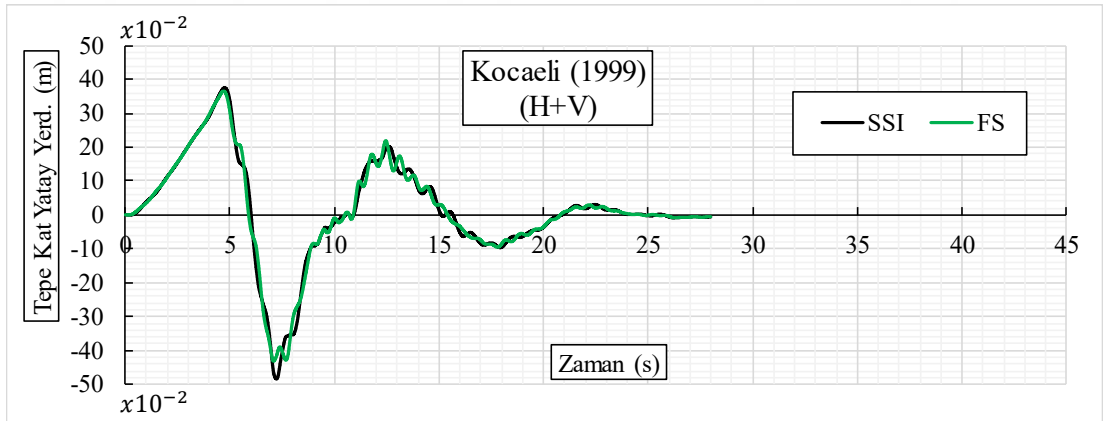
Şekil 5. 8. H+V yükü altında taban eksenel kuvveti



(a)

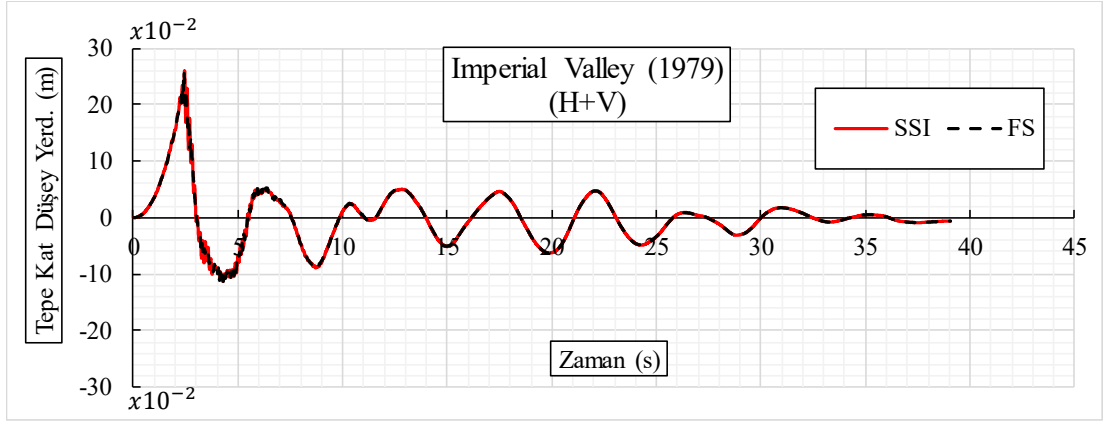


(b)

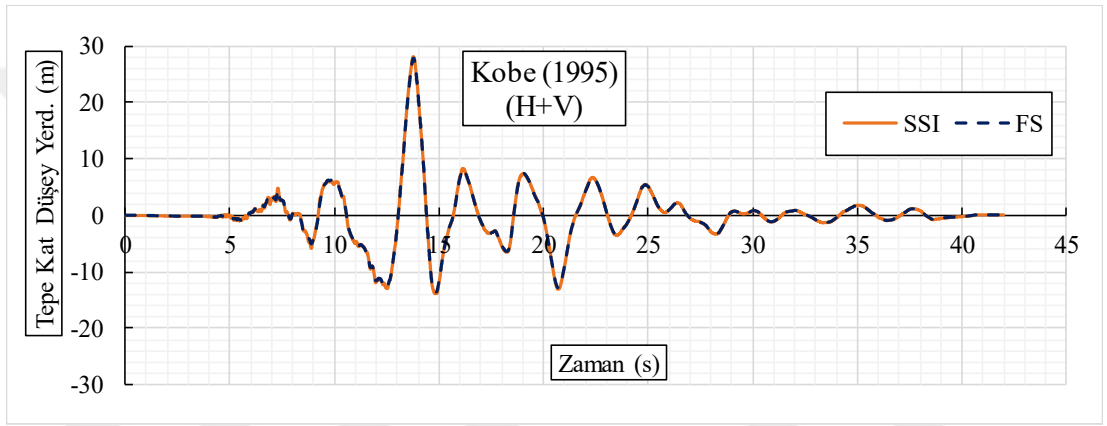


(c)

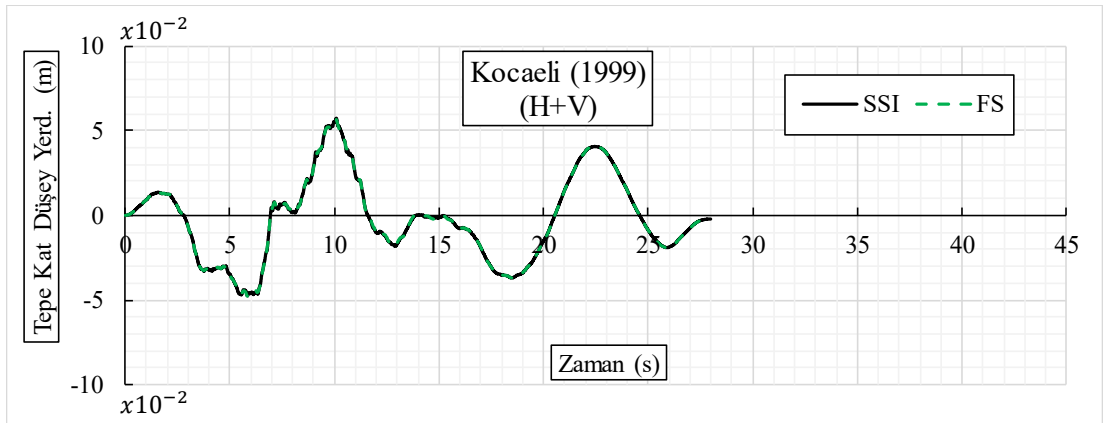
Şekil 5. 9. H+V yükü altında tepe kat yatay yer değiştime sonuçları



(a)

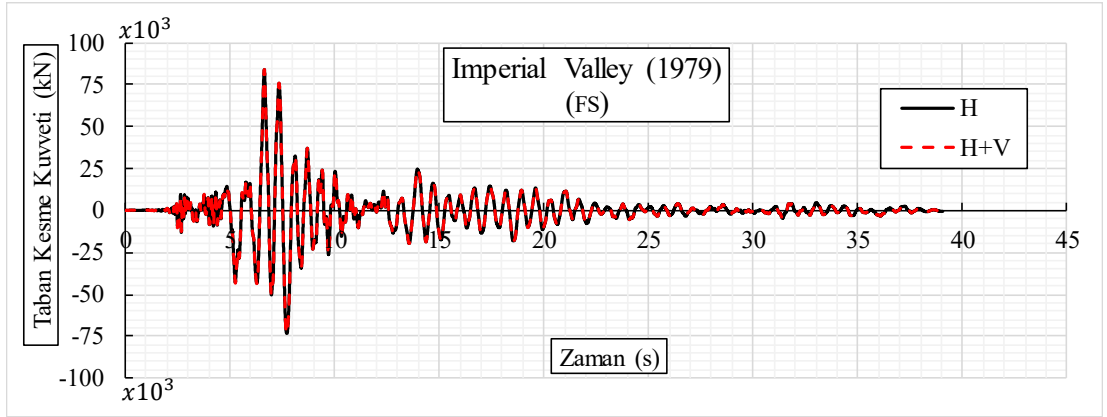


(b)

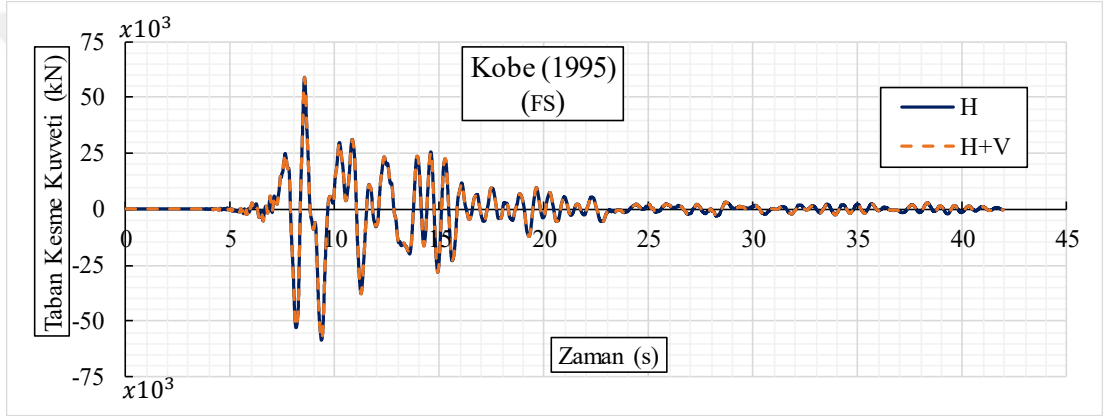


(c)

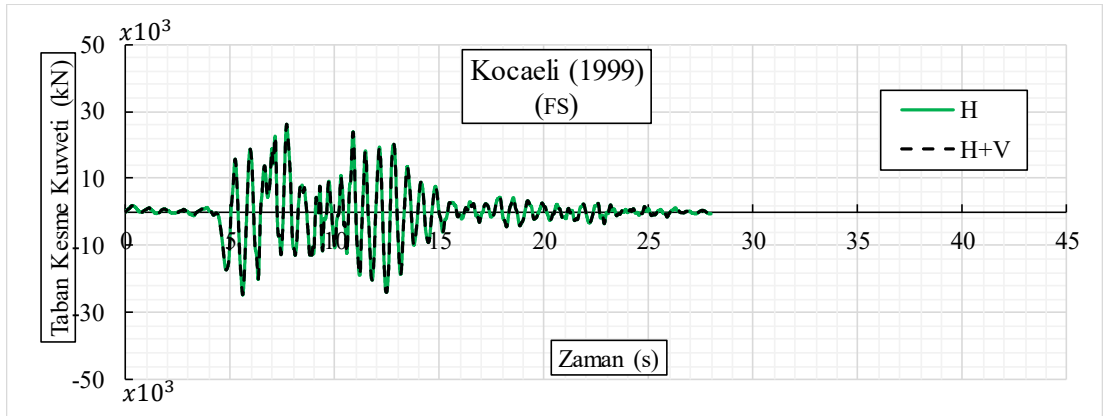
Şekil 5. 10. H+V yükü altında tepe kat düşey yer değiştirme sonuçları



(a)

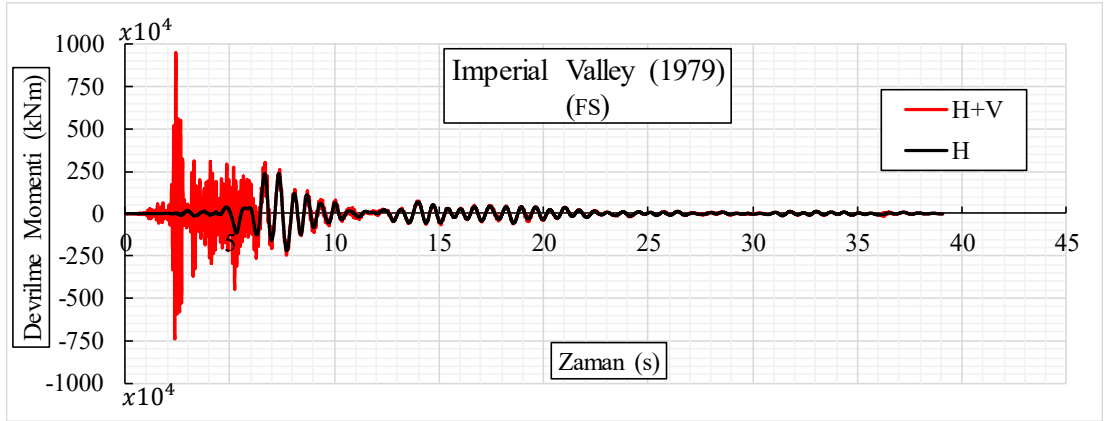


(b)

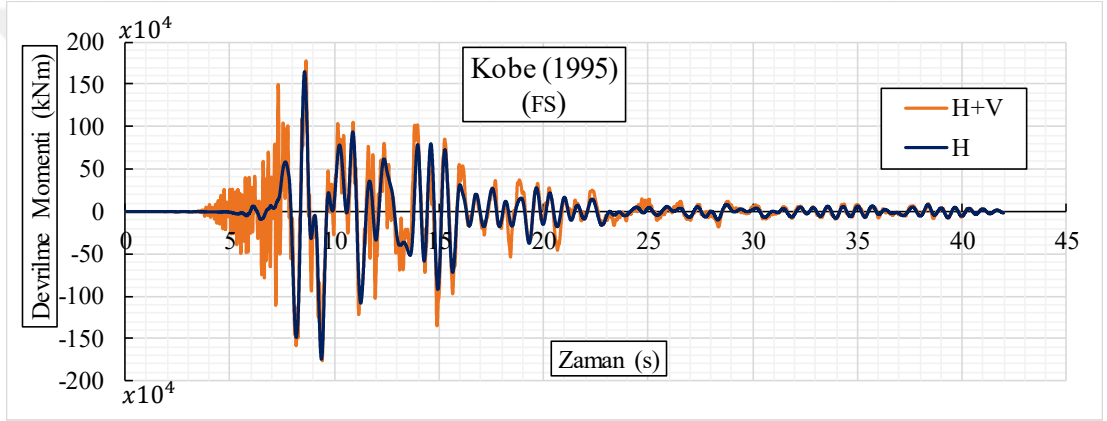


(c)

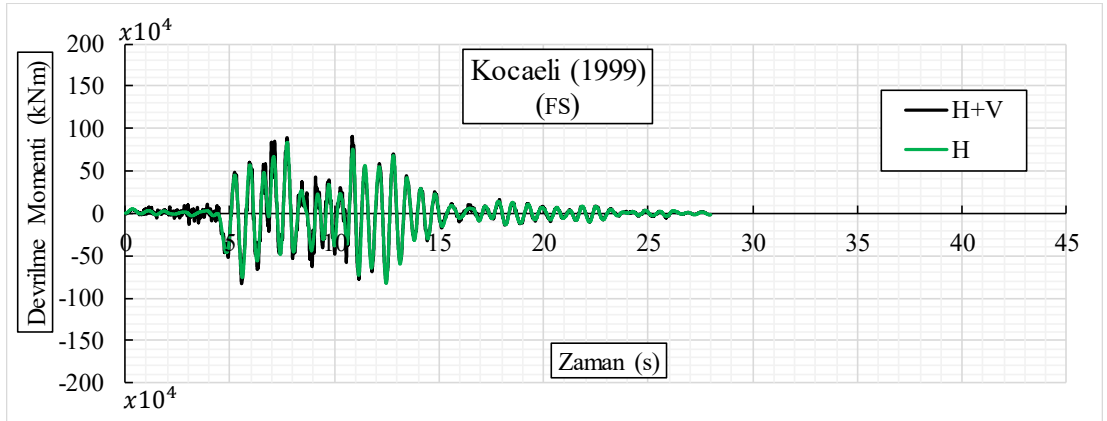
Şekil 5. 11. Rijit mesnetli modelin H ve H+V yükünün taban kesme kuvveti türünden karşılaştırılması



(a)

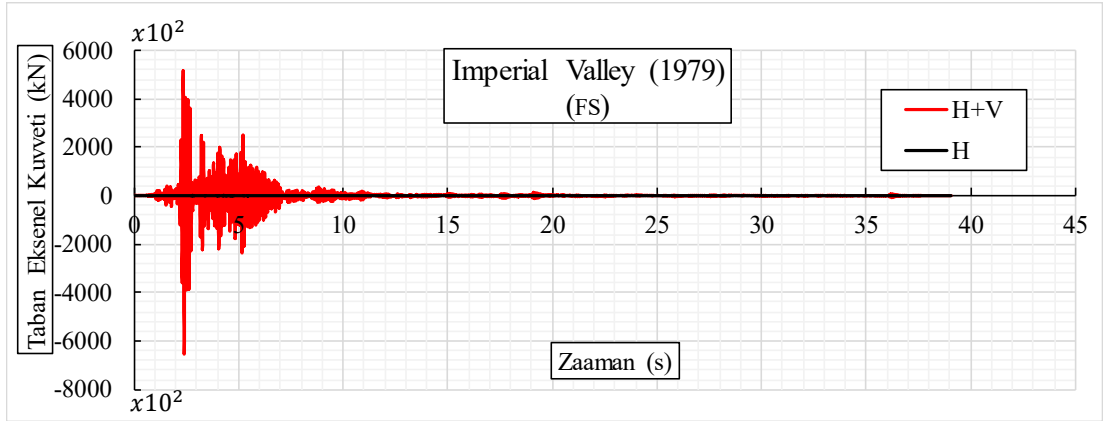


(b)

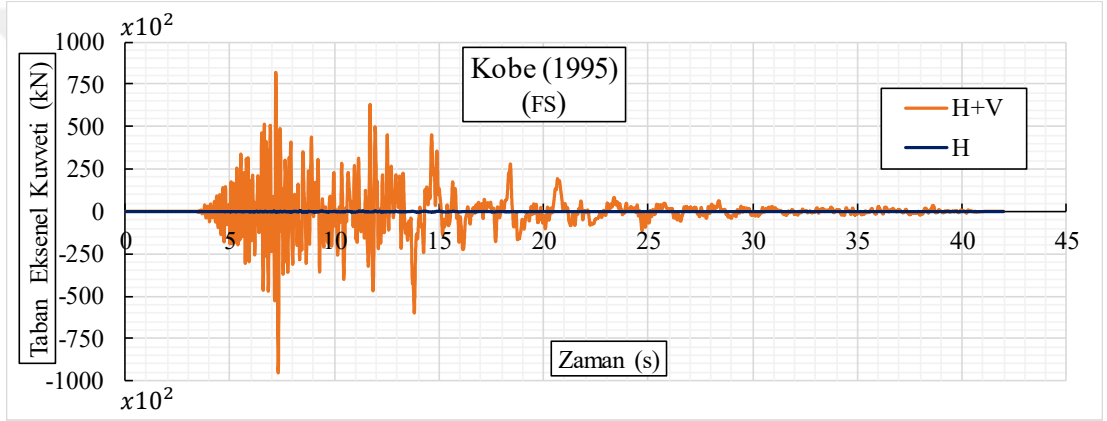


(c)

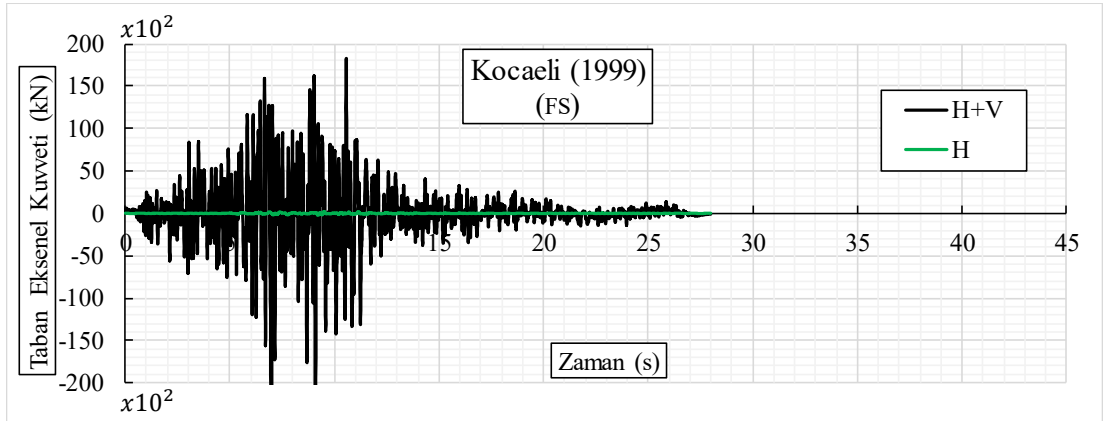
Şekil 5. 12. Rijit mesnetli modelin H ve H+V yükünün devrilme momenti türünden karşılaştırılması



(a)

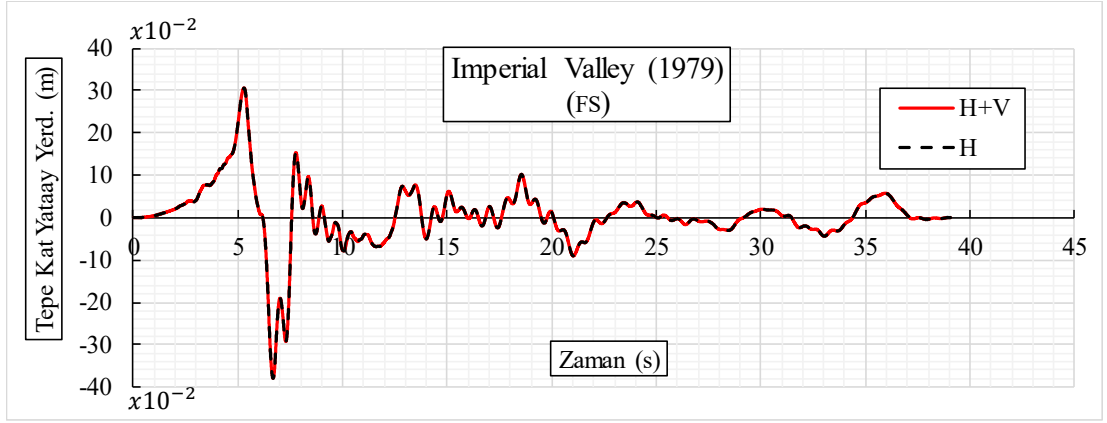


(b)

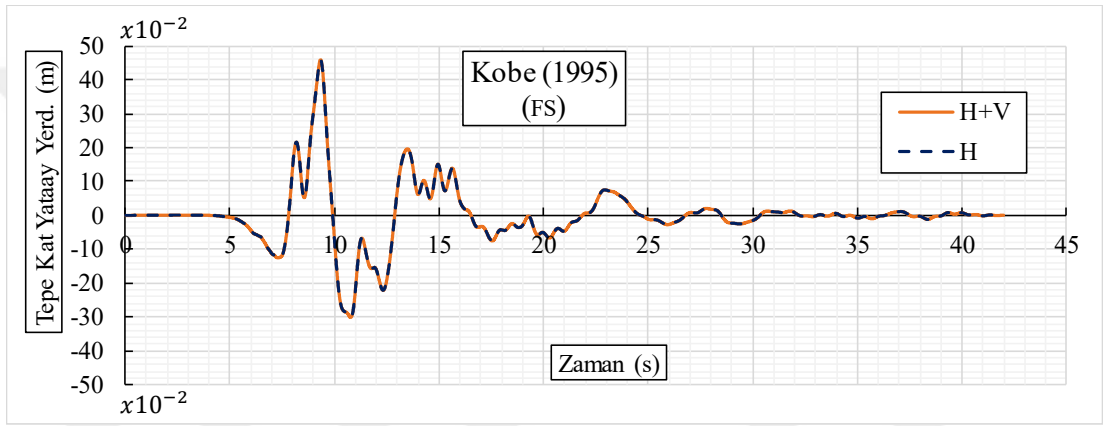


(c)

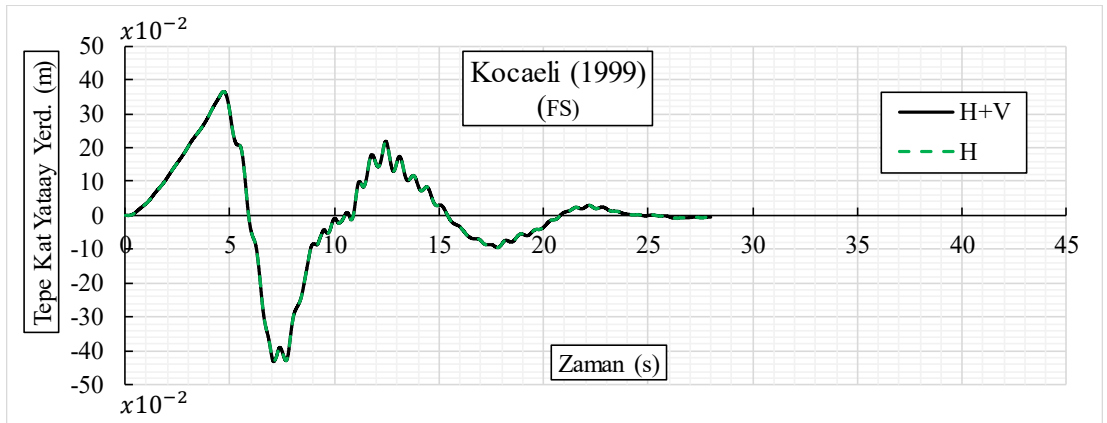
Şekil 5. 13. Rijit mesnetli modelin H ve H+V yükünün taban eksenel kuvveti türünden karşılaştırılması



(a)

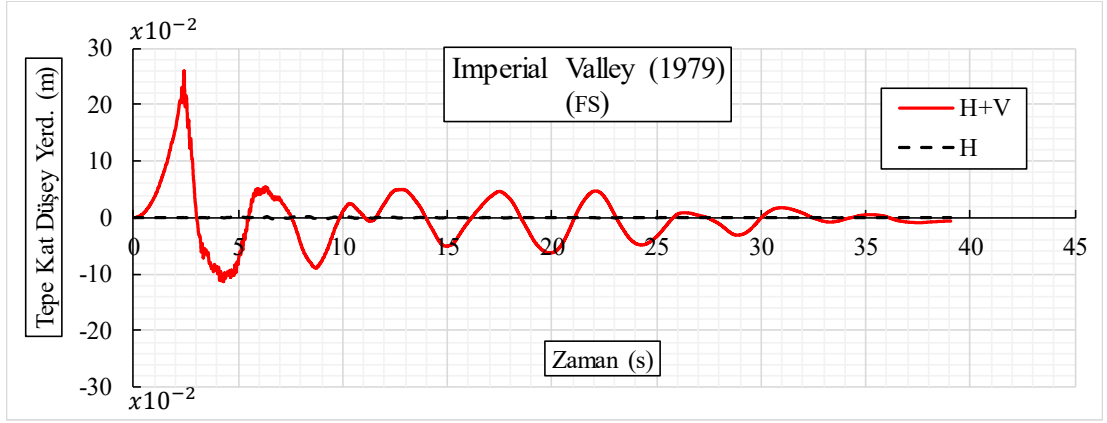


(b)

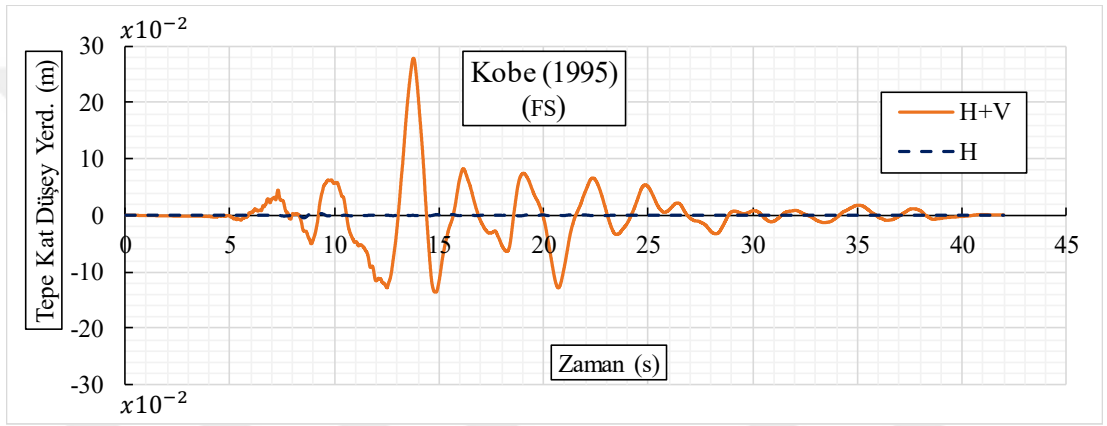


(c)

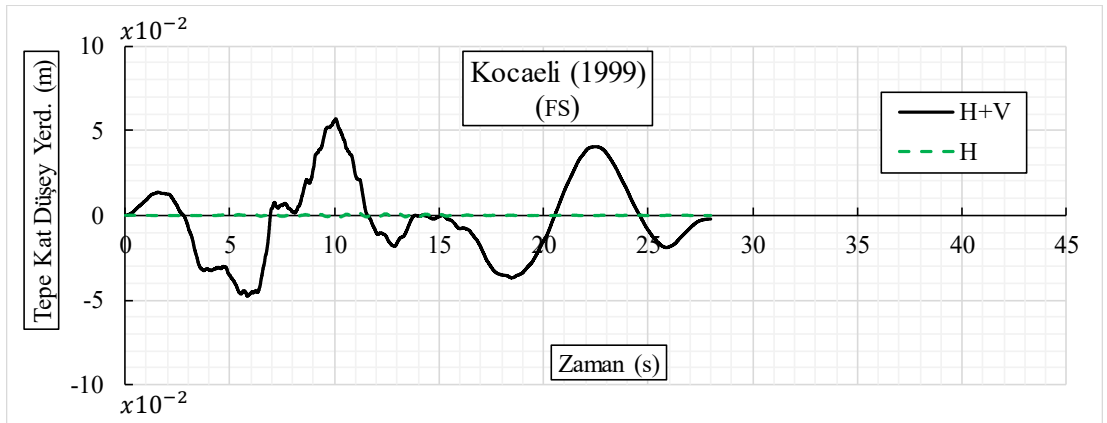
Şekil 5. 14. Rijit mesnetli modelin H ve H+V yükünün tepe kat yatay yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması



(a)

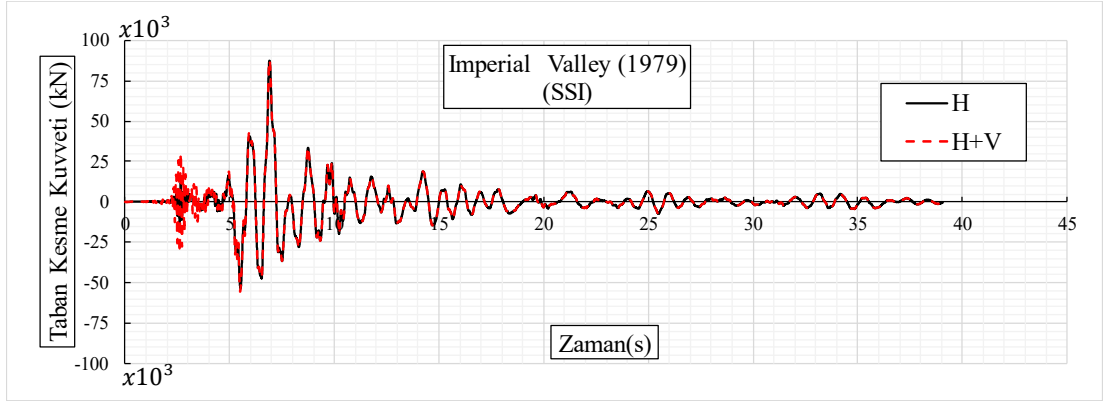


(b)

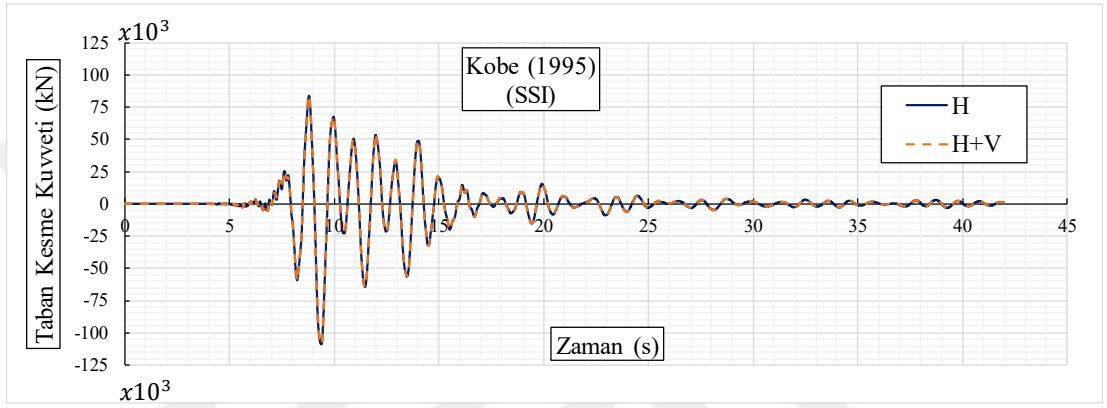


(c)

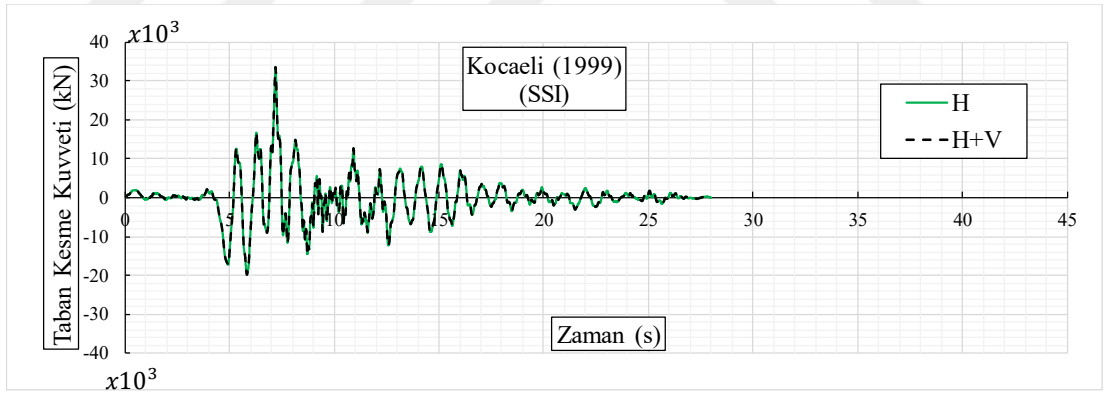
Şekil 5. 15. Rijit mesnetli modelin H ve H+V yükünün tepe kat düşey yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması



(a)

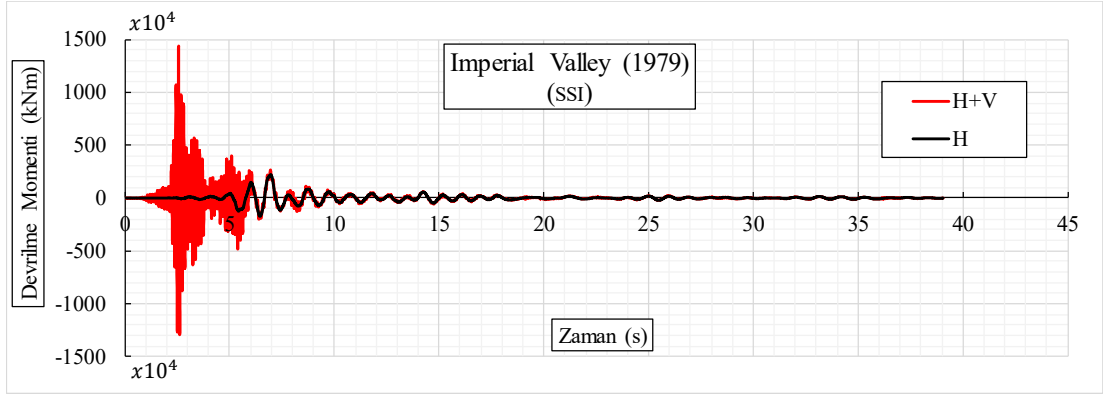


(b)

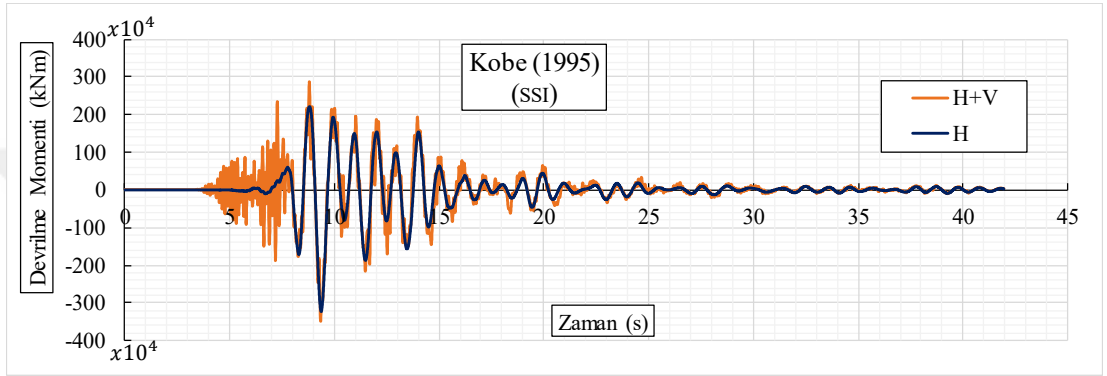


(c)

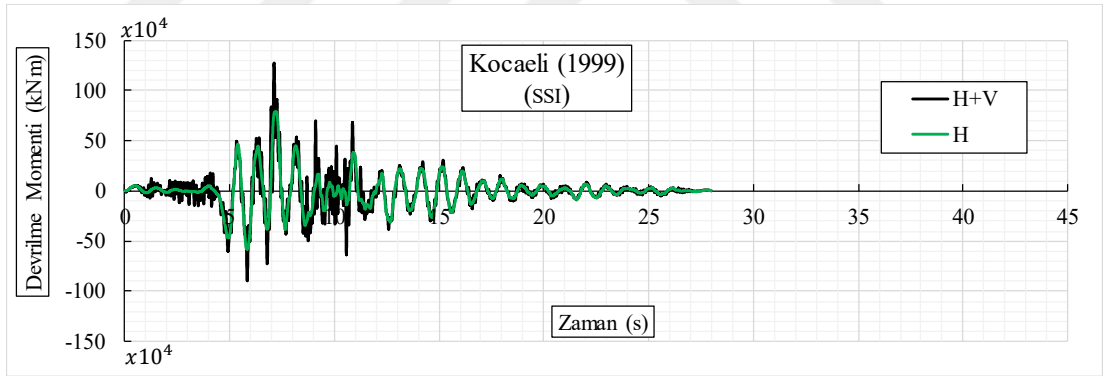
Şekil 5. 16. Yapı-zemin etkileşimli modelin H ve H+V yükünün taban kesme kuvveti türünden karşılaştırılması



(a)

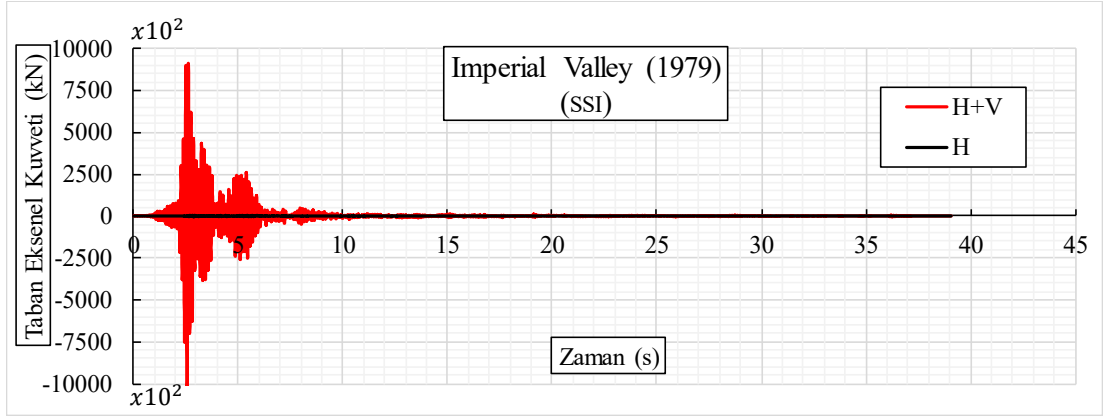


(b)

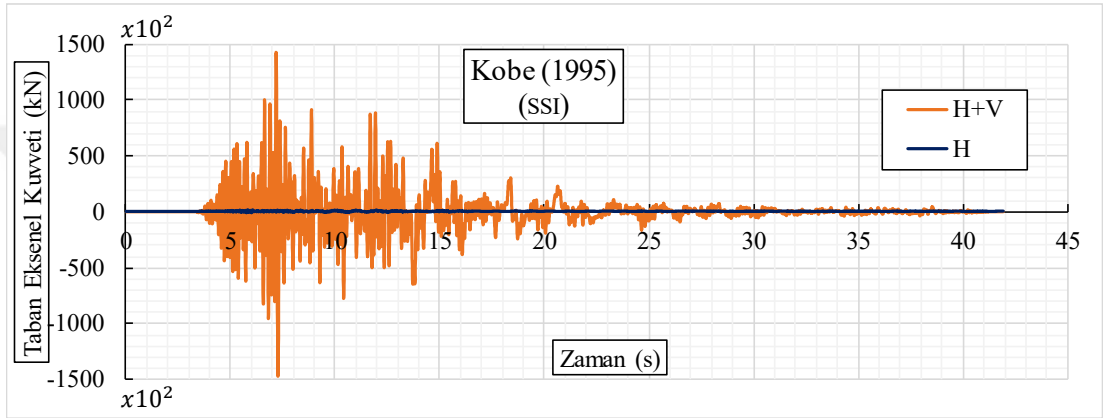


(c)

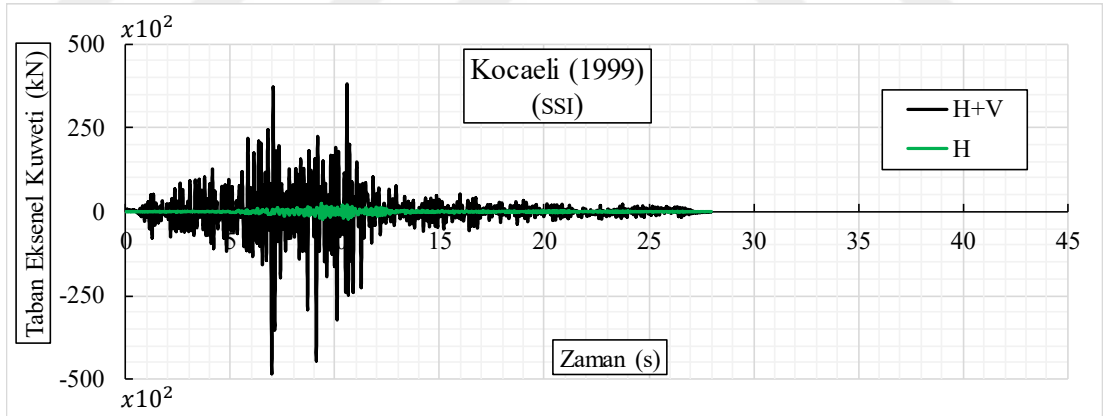
Şekil 5. 17. Yapı-zemin etkileşimli modelin H ve H+V yükünün devrilme momenti türünden karşılaştırılması



(a)

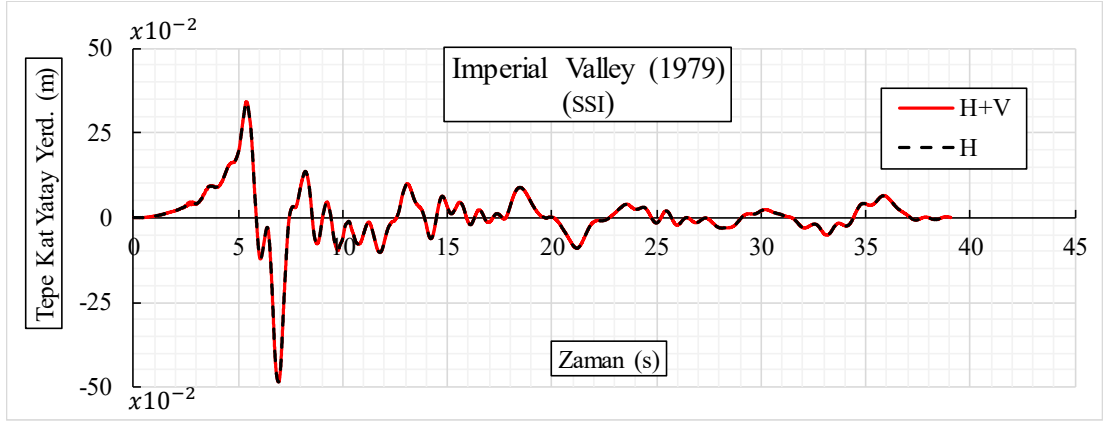


(b)

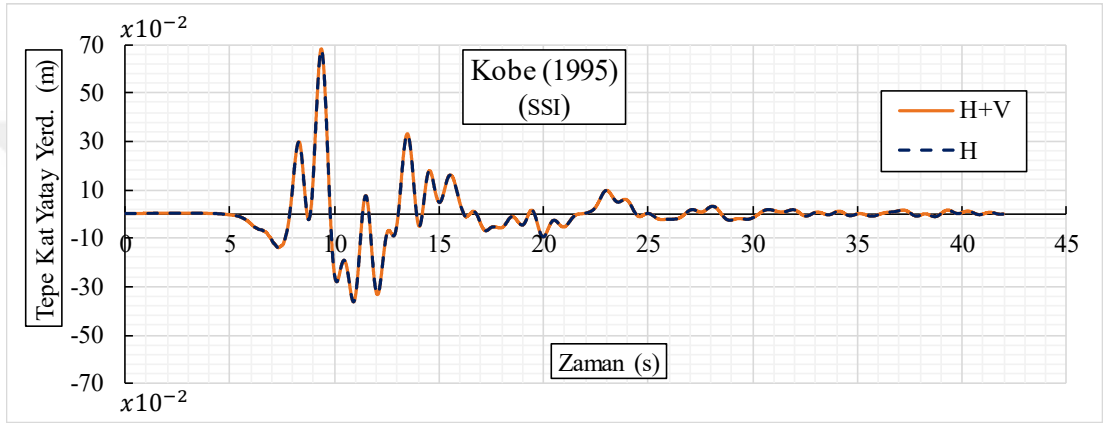


(c)

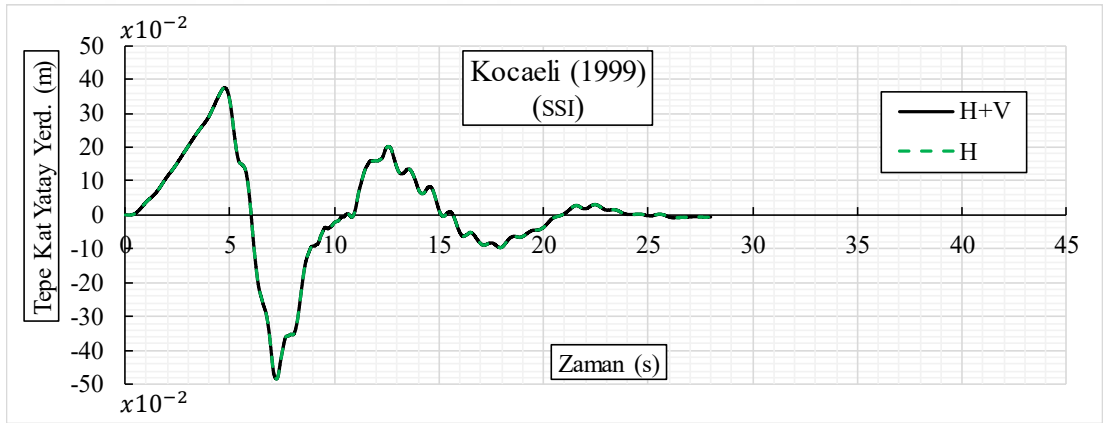
Şekil 5. 18. Yapı-zemin etkileşimli modelin H ve H+V yükünün taban eksenel kuvveti türünden karşılaştırılması



(a)

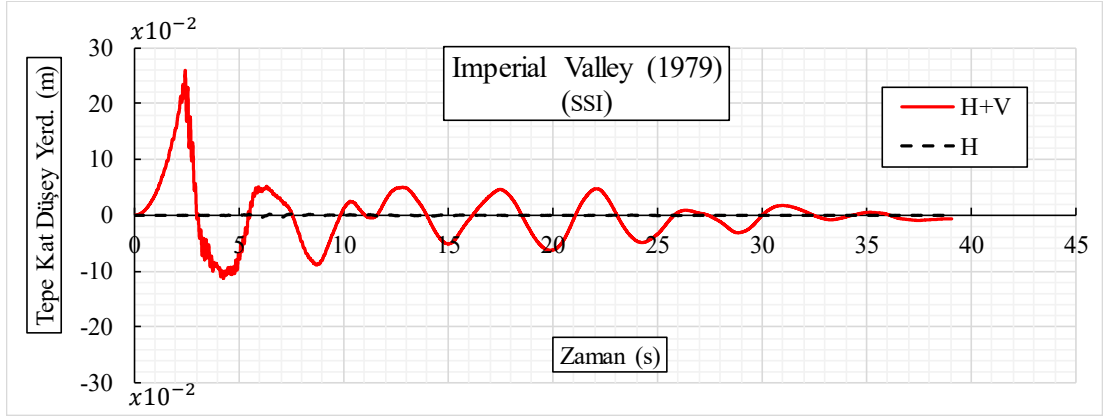


(b)

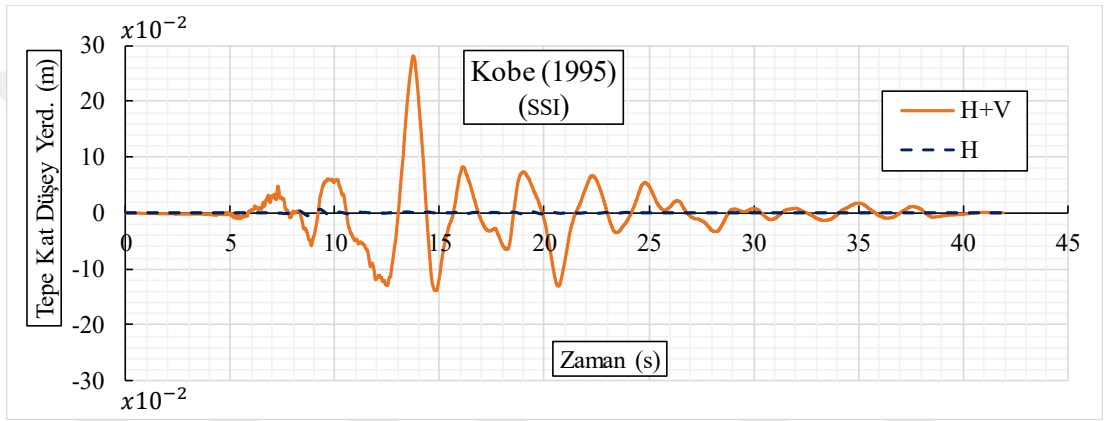


(c)

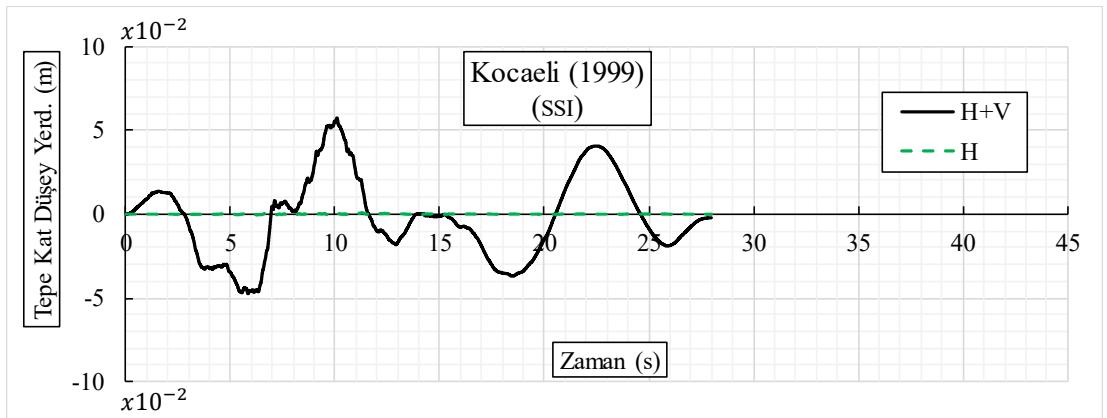
Şekil 5. 19. Yapı-zemin etkileşimli modelin H ve H+V yükünün tepe kat yatay yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. 20. Yapı-zemin etkileşimli modelin H ve H+V yükünün tepe kat düşey yer değiştirmesi türünden karşılaştırılması

5.2. B Tipi Zemin Türü İçin Analiz

B tipi daha sağlam zemin için sonuçlar **Çizelge 5. 6. - 5.10.** 'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. B tipi zemin için elde edilen sonuçların D tipi zemin sonuçlarına benzer olduğu görülmesine rağmen değer olarak bir azalışın olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak düşey deprem yükü sağlam zeminden yapıya aktarılırken azalmaktadır. Fakat bu azalış çok sınırlı olmaktadır.

Çizelge 5. 6. Taban kesme kuvveti sonuçları

Taban Kesme Kuvveti (kN)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	84050	87262	4	84050	87453	4	0.0	0.2
Kobe	67740	108948	61	67620	108883	61	-0.2	-0.1
Kocaeli	26250	33434	27	26240	33434	27	0.0	0.0

Çizelge 5. 7. Devrilme momenti sonuçları

Devrilme Momenti (kNm)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	2365000	2192207	-7	9484000	14000000	48	301.0	538.6
Kobe	2016000	3236526	61	2431000	3478610	43	20.6	7.5
Kocaeli	8358000	792241	-91	9083000	1257322	-86	8.7	58.7

Çizelge 5. 8. Taban eksenel kuvveti sonuçları

Taban Eksenel Kuvveti (kN)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	911	4737	420	655100	989627	51	71786	20791
Kobe	138	1240	797	95740	147407	54	69176	11788
Kocaeli	217	2460	1032	31930	47967	50	14587	1850

Çizelge 5. 9. Tepe kat yatay yatay yer değiştirmesi sonuçları

Tepe Kat Yatay Yatay Yerdeğiştirmesi (m)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	0.786	0.484	-38	0.786	0.484	-38	0.0	0.0
Kobe	0.459	0.680	48	0.459	0.680	48	0.0	0.0
Kocaeli	0.432	0.484	12	0.432	0.484	12	0.0	0.0

Çizelge 5. 10. Tepe kat yatay düşey yer değiştirmesi sonuçları

Tepe Kat Yatay Düşey Yerdeğiştirmesi (m)								
Deprem	H			H+V			Değişim % (H+V/H)	
	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	Rijit Mesnet (FS)	Yapı-Zemin (SSI)	Değişim % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	0.003	0.004	29	0.260	0.259	0	8254	6375
Kobe	0.003	0.006	87	0.280	0.281	1	8607	4583
Kocaeli	0.001	0.001	-32	0.057	0.057	0	4782	7025

Çizelge 5. 6. - 5.10. ile gösterilen sonuçların D tipi zeminden elde edilen sonuçlara yakın olmasından dolayı zaman tanım alanında bu parametrelerin değişimi B tipi zemin için verilmemiştir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapının servis yükleri ve tasarım kurallarına göre tasarımında yatay deprem hareketi bileşeninin daha önemli etkilere sahip olduğu ve birçok faylanma türünde düşey bir hareketin ortaya çıkmayacağı varsayımlarına dayalı olarak, birçok depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliği düşey deprem hareketini önemli bir parametre olarak dikkate almamaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, düşey deprem etkisinin ihmal edilmesinin yapı davranışı ve tasarımı açısından ortaya çıkaracağı sakıncaların sayısal olarak ifade edilmesidir. Bu amaçla, yarı sünek perdeli ve çerçeveli betonarme yüksek bir yapının rijit zemine oturan (FS) ve yapı-zemin etkileşimli (SSI) modelleri hazırlanmıştır. Bu modellerin farklı düşey-yatay maksimum ivme oranlarına sahip gerçek deprem kayıtları altında zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapılmıştır. Farklı zemin gruplarında, sadece yatay ile yatay + düşey deprem hareketleri altında yapının taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, taban eksenel kuvveti, en üst kat yatay ve düşey yer değiştirme değerleri incelenmiş ve aşağıdaki önemli sonuçlara ulaşılmıştır:

- Zemin türünden bağımsız olarak, düşey deprem hareketinin taban kesme kuvveti üzerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, her iki modelleme durumu için de geçerlidir. Fakat SSI ile FS modelleri değersel olarak karşılaştırıldığında SSI modelinin daha kritik sonuçlar verdiği görüldüğünden analizlerin SSI modeli üzerinden yapılmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir.
- Her iki modele göre aynı zemin türü ve deprem kaydı için elde edilen devrilme momenti değerleri birbirine yakındır, ancak aynı model türünde düşey deprem hareketinin devrilme momentini önemli derecelerde artırdığı görülmüştür. Bu durum her iki modelleme durumu için geçerli olmasına rağmen, gelecekte SSI modelinin dikkate alınmasının daha doğru olduğu belirtilmelidir.
- Beklenildiği gibi, düşey deprem etkisiyle her iki model durumu için taban eksenel kuvvetinde büyük artışlar elde edilmiştir. Ama bu artışın FS modelinde SSI modelinden daha büyük olduğu görülmüştür. SSI modeli, zemin ortamının

yer deęiřtirmesine izin vermektedir. Bu sebeple, dūřey hareketin sebep olduęu eksenel kuvvetler, SSI modellerinde zemin ortamı tarafından belli ölçüde sönümlenmektedir. Bu sönümleme, dūřey deprem hareketinin etkisini azaltmakta ve SSI modellerinde daha sınırlı bir artış ortaya çıkmaktadır.

- Tepe kat yatay yer değiştirme ile taban kesme kuvveti arasındaki doğrudan ilişkiye dayalı olarak, tepe kat yatay yer değiştirme değerlerine dūřey deprem hareketinin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
- Aynı şekilde tepe kat dūřey yer deęiřtirme ile taban eksenel kuvveti arasındaki doğrudan ilişkiye baęlı olarak, tepe kat dūřey yer deęiřtirme deęerlerinde dūřey deprem hareketinin etkisiyle büyük artışlar gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Elnashai, AS. and Papazoglou, AJ. Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25 (10), 1109-1137, 1996.
- [2] Ilhan, C. An Assessment Of The Relationship Between The Local Site Effects and The Distribution Of Damage In The City Of Yalova (Turkey) During 17 August 1999 İzmit Earthquake. Yüksek Lisans Tezi. Middle East Technical Universtiy, Ankara, 2015.
- [3] Eren, G. Yönetmelik Tanımlı Deprem Yüklerinin Tipik Bir Binada Gözlenen Performansların Deprem Düşey Bileşen Etkisi Dâhil Edildiğinde Çıkan Sonuçların Tartışılması. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2014.
- [4] Uçar, T. Betonarme Binaların Hasar Görebilme Olasılıklarının Artımsal İtme Analizi Esaslı Yöntemle Belirlenmesi. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2011.
- [5] Ghobarah, A. Aly, NM. ve El-Attar, M. Seismic reliability assessment of existing reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 2, 569-592, 1998.
- [6] Raheem, S.E.A. and Hayashikawa, T. Soil – Structure Interaction Modeling Effects On Seismic Response Of Cable – Stayed Bridge Tower. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 5, 8, 2013.
- [7] Ekinci, N. Çok Katlı Yapıların 1997 Deprem Yönetmeliğinde Belirtilen Yöntemlere Göre Hesabı ve Yöntemlerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2002.

- [8] Baş , S., Sevinç M., Kalkan İ., Aykaç, S. T. Düşey Deprem Etkisi Altındaki Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının İncelenmesi. *3.Türkiye Deprem Mühendisliğı ve Sismoloji Konferansı*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2015.
- [9] Korkmaz, A. K., Demir, F. Yapı – Zemin Etkileşiminin Yapıların Deprem Davranışlarına Etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3, 12-17, 2012.
- [10] Çetin, K. Ö., Bilge, H. T., Yuntacı, A. A., Ünsal Oral, S., Siyahi, B. Yüksek Katlı Yapı Sistemlerinde Sismik Zemin – Kazık – Radye – Yapı Etkileşimi Üzerine Bir Değerlendirme. *Prof. İsmet Özdemir Anma Sempozyumu*, 2013.
- [11] Ansal, A., Adapazarı ve Gölçük için mikrobölgeleme çalışmaları. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliğı Konferansı*, İstanbul, 2003.
- [12] Ansal, A., Tönük G., Zeminin Doğrusal Olmayan Davranışına Vaka Analizleri ile Bakış. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliğı Konferansı*, İstanbul, 2007.
- [13] Kramer, S. L., Geoteknik Deprem Mühendisliğı. Gazi Kitabevi, Ankara, 2003.
- [14] Türker, K., İrtem, E., Binaların Çok Modlu Uyarmalı Doğrusal Olmayan Analizi İçin Bir Yük Artımı Yöntemi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliğı Konferansı*, İstanbul, 2007.
- [15] Gürel, M. A., Kısa, M., Deprem Hareketinin Düşey Bileşeninin Çeşitli Yapı Elemanları Üzerindeki Etkileri ve Hasar Potansiyeli. *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliğı Sempozyumu*, Ankara, 2002.
- [16] Seed, H.B., Ugas, C., Lysmer, J. Site- Deppendent Spectra For Eartquake-Resistant Desing. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66 (1),221-243, 1976.

- [17] Idriss, I. M. ve Seed, H. B., Seismic Response of Horizontal soil layers. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 94, 1003-1031, 1968.
- [18] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY 2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [19] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY 2019. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [20] IS 1893, Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India, 2000
- [21] Eurocode-8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures - Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, CEN European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium, 1998.
- [22] UBC-97, Uniform Building Code, International Council of Building Officials, USA, 1997.
- [23] Kalkan, E. ve Vladimir, G., Multi- Component Ground Motion Response Spectra For Coupled Horizontal, Vertical, Angular Accelerations and Tilt. *ISET Journal of Eartquake Teknology*, 259-284, ABD, 2007.
- [24] Aydınöğlu, M. N., Zayıf Zeminlerde Yapılan Binalarda Dinamik Yapı – Kazık – Zemin Etkileşimi için Uygulamaya Yönelik Hesap Yöntemi. *Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü*, İstanbul, 2011/1.
- [25] Kausel, E., Local Transmitting Boundaries. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 114, 1011-1027, 1988.

- [26] Mengi, Y. ve Tanrikulu A. K., Absorbing Boundary Conditions in Soil – Structure Analyses. *Kluwer Academic*, 111-146, 1993.
- [27] Karabörk, T., Doğuş, S., Bilgehan, R. P., Çok Katlı Çelik Yapı Sistemlerinin Yapı- Zemin Etkileşimi Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi, *Teori ve Uygulamada Zemin – Yapı Etkileşimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 8-9, 2007.
- [28] Eren, G. ve Beyen K., Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansın Tartışılması. *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 2015.
- [29] Ghaffarzadeh, H. and Nazeri, A., The effect of the vertical excitation on horizontal response of structures. *Earthquakes and Structures*, 9 (3), 625-637, 2015.
- [30] Çağlar, N., Garip, Z. Ş, Atasoy, S., Yumuşak Zeminlerde Yapılan Binaların Deprem Davranışına Bodrum Kat Etkisi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 2005.
- [31] Day, W. R., Çevirenler: Mollamahmutoğlu, M. ve Kabadayı K., Geoteknik Deprem Mühendisliği Elkitabı, Gazi Yayınevi, Ankara, 2004.
- [32] Ulusal, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 38, Ankara, 2001.
- [33] Chopra, A. K., Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [34] Kasapoğlu, K. E., Depremler ve Türkiye Hakkında Bilmediklerimiz, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 99, Ankara, 2007.
- [35] Ersoy, U. ve Atımtay E., Betonarme Temel İlkeler ve Hesap Yöntemleri, TİSA Matbaası, Ankara, 1975.

- [36] Celep, Z., Kumbasar, N., Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1992.
- [37] Elmas, M., Karabörk, T. ve Mercan, D., Deprem Etkisindeki Yapıların Davranışlarına Zemin Taşıma Gücünün Etkisi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 2005.
- [38] Yılmaz, I., Mühendislik Jeolojisi, Teknik Yayınevi, Ankara, 2007.
- [39] Wolf, J. P., Dynamic Soil-Structure Interaction, New Jersey, ABD, 1985.
- [40] Seed, H. B., Memorial Symposium Proceedings, Bitech Publishers, 1990.
- [41] Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- [42] Zorbozan, M., Betonarme Yapı Tasarımı – Deprem Hesabı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [43] Ünsal, N., İnşaat Mühendisleri için Jeoloji, Alp Yayınevi, İstanbul, 2006
- [44] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY 2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [45] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBY 2019. 30364 Sayılı Resmi Gazete, 18 Mart 2018.
- [46] Çakıroğlu, A., Özer, E., Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1980.
- [47] Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, 2008.

- [48] TS-498, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [49] SAP2000 v17, Integrated structural finite element analysis and design of structures. *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, CA, USA, 2015.
- [50] Bayülke, N., Zemin ve Betonarme Yapı Deprem Davranışı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2012.
- [51] Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [52] PEER, The Pacific Earthquake Engineering Research Center ground motion database, Berkeley CA, US, 2015.
- [53] Villaverde, R., Fundamental Concepts of Earthquake Engineering, CRC Press, ABD, 2009.
- [54] Krinitzsky, E. L., Gould, J. P. and Edinger P. H., Çeviren: Kabadayı K., Depreme Dayanıklı İnşaat için Temel İlkeler, Gazi Kitabevi, Ankara, 2006.