

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇOK KATLI YAPILARDA DÜŞEY DEPREM ETKİSİNİN YAPISAL
DAVRANIŞ ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehran ALIZADEH

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Ocak 2019



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇOK KATLI YAPILARDA DÜŞEY DEPREM ETKİSİNİN YAPISAL
DAVRANIŞ ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehran ALIZADEH
(Y1513.090023)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR

Ocak 2019





T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1513.090023 numaralı öğrencisi **Mehran ALIZADEH'** nin **"ÇOK KATLI YAPILARDA DÜŞEY DEPREM ETKİSİNİN YAPISAL DAVRANIŞ ÜZERİNE ETKİSİ"** adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 20.02.2019 tarih ve 2019/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **ayrılığ** ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak **kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 04/03/2019

1) Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müberra Eser AYDEMİR

.....
Müberra Eser

2) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Cem AYDEMİR

.....
Cem Aydemir

3) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL

.....
Murat Serdar Kirçil

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Çok Katlı Yapılarda Düşey Deprem Etkisinin Yapısal Davranış Üzerine Etkisi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (30/01/2019)

Mehran ALIZADEH







Anneme ve Babama ve Eşime



ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, çalışmam süresince bana her zaman yardımcı olan ve ilgilerini paylaşan tez danışmanı hocam Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR'e, yine tez çalışmada bana yardımcı olan Doç. Dr. Cem AYDEMİR ve üzerimde emeği olan tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan "Seismostruct" programının akademik çalışmalar için lisanslı sunan "Seismosoft" ailesine ve deprem kayıtlarının tüm araştırmacılara karşılıksız sunan "Pacific Earthquake Engineering Center" ailesine sonsuz teşekkürler.

Ocak 2019

Mehran ALIZADEH
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
2. YATAY VE DÜŞEY DEPREM ETKİLERİ	1
2.1 Depremler.....	1
2.1.1 Deprem temel parametreleri.....	1
2.1.2 Deprem büyüklüğü ve şiddeti	3
2.2 Yapıların Üzerinde Deprem Hasarları.....	4
2.2.1 Düşey deprem hareketlerinin etkileri	5
2.3 Düşey Deprem Bileşeninin Dikkate Alındığı Deprem Yönetmelikleri	5
2.3.1 DBYBHY 2007 (Türkiye)	5
2.3.2 Is 1893 – 2000 (Hindistan).....	6
2.3.3 Eurocode 8 - 1998 (Avrupa)	6
2.3.4 UBC - 1997 (Amerika)	7
2.3.5 Nzs 1170 - 2004 (Yeni Zelanda).....	7
2.3.6 TBDY 2018 (Türkiye)	7
3. YÖNTEM.....	8
3.1 Deprem Analizi Yöntemleri	8
3.2 Çözümleme Platformu.....	8
3.3 Kullanılan Deprem Kayıtları	10
4. ÖRNEK BİNALARDA YATAY VE DÜŞEY DEPREM ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	12
4.1 Giriş.....	12
4.2 İncelenen Binaların Genel Özellikleri.....	12
4.2.1 İncelenen binaların mevcut kolonları ve kirişlerinin kesit detayları.....	12
4.3 İncelenen Binalar İçin Hesap Modelinin Oluşturması	14
4.4 Düşey Deprem Etkisinin İncelenmesi	16
4.4.1 Düşey deprem etkisinin kolon normal kuvvet seviyesine etkisi	16
4.4.2 Düşey deprem etkisinin kolon kesme kuvvetine etkisi.....	30
4.4.3 Kolonlardaki kesme kuvvet kapasitesi.....	33
4.4.4 Kat deplasmanı.....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR	41



KISALTMALAR

ACI 318	: American Concrete Institute 318
DBYBHY 2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
Ec	: Beton Elastisite Modülü
Es	: Donatı Çeliğinin Elastisite Modülü
Eurocode 8 – 1998	: Series Of European Standards Related To Construction, Design Of Structures For Earthquake Resistance.
f_{ck}	: Betonun Karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{yk}	: Donatı Çeliğinin karakteristik akma dayanımı
Is 1893 – 2000	: Indian Seismic Code 1893 – 2000
Nzs 1170 – 2004	: New Zealand Standard 2004, Structural Design Actions, Earthquake Actions
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research
PGA	: Peak Ground Acceleration
TBDY 2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
UBC – 1997	: Uniform Building Code Of America 1997.
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Doğal ve insan yapım depremler	1
Çizelge 2.2 : Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli, Zemin ivmesi ve Richter ölçüsü arasında ilişkileri.....	4
Çizelge 3.1 : Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Genel Sınıflandırılması.	8
Çizelge 3.2 : Kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri.	11
Çizelge 4.1 : incelenen binaların malzeme özellikleri.....	12
Çizelge 4.2 : 7 katlı bina için kat ve kolon bilgisi	14
Çizelge 4.3 : 3 katlı binada, birinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	25
Çizelge 4.4 : 3 katlı binada, ikinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	26
Çizelge 4.5 : 3 katlı binada, üçüncü katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	26
Çizelge 4.6 : 7 katlı binada, birinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	27
Çizelge 4.7 : 7 katlı binada, ikinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	27
Çizelge 4.8 : 7 katlı binada, üçüncü katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	28
Çizelge 4.9 : 7 katlı binada, dördüncü katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	28
Çizelge 4.10 : 7 katlı binada, beşinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	29
Çizelge 4.11 : 7 katlı binada, altıncı katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	29
Çizelge 4.12 : 7 katlı binada, yedinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	30



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünyanın en şiddetli depremleri neden olduğu can kayıpları	1
Şekil 1.2 : Türkiye'de 1900'dan 2011'a ait can ve mal kayıpları	2
Şekil 1.3 : Türkiye'nin bölgeleri'nde 1900'dan 2011'a ait can ve mal kayıplar	2
Şekil 2.1 : Deprem oluşum mekanizması.	2
Şekil 3.1 : Elemanın yerdeğiştirme ve dönmeleri.....	9
Şekil 3.2 : Tipik betonarme kesitin liflere ayrılması	10
Şekil 3.3 : Eleman boyunca tipik betonarme kesitin gösterimi	10
Şekil 4.1 : 3 katlı binanın kolonları ve kirişlerinin kesit detayları.....	13
Şekil 4.2 : 7 katlı binanın kolonları ve kirişlerinin kesit detayları.....	13
Şekil 4.3 : Üç katlı binanın hesap modeli.	15
Şekil 4.4 : Yedi katlı binanın hesap modeli.	15
Şekil 4.5 : Her iki modelde incelenecek köşe ve orta kolonlar.	16
Şekil 4.6 : 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	17
Şekil 4.7 : 3 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #5) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	17
Şekil 4.8 : 3 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #6) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	18
Şekil 4.9 : 3 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #7) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	18
Şekil 4.10: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	19
Şekil 4.11: 3 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	19
Şekil 4.12: 3 katlı binada Northridge depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	20
Şekil 4.13: 7 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	20
Şekil 4.14: 7 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #5) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	21
Şekil 4.15: 7 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #6) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	22
Şekil 4.16: 7 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #7) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	22
Şekil 4.17: 7 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	23
Şekil 4.18: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.....	23
Şekil 4.19: 7 katlı binada Northridge depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.	24

Şekil 4.20: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.	31
Şekil 4.21: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.	31
Şekil 4.22: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.	32
Şekil 4.23: 7 katlı binada Newhall – Fire Sta depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.	32
Şekil 4.24: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.	34
Şekil 4.25: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.	34
Şekil 4.26: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.	35
Şekil 4.27: 7 katlı binada Northridge depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.	35
Şekil 4.28: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.	36
Şekil 4.29: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.	36
Şekil 4.30: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.	37
Şekil 4.31: 7 katlı binada Northridge depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.	37

ÇOK KATLI YAPILARDA DÜŞEY DEPREM ETKİSİNİN YAPISAL DAVRANIŞ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda yapılan bazı incelemelerde, bazı depremlerin düşey bileşenlerinin yatay bileşenlerine yakın bir ivme büyüklüğüne sahip olduğu ve bazı yapıların hasar görmesinde yer hareketinin düşey bileşeninin de etkili olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma, yatay deprem bileşeni ile yatay ve düşey deprem bileşenlerinin birlikte etkilediği betonarme yapıların davranışı üzerine odaklanmaktadır. Bu amaçla, 3 ve 7 katlı iki betonarme yapıda düşey deprem etkisinin yapısal davranış üzerine etkisi araştırılmıştır. Analizlerde düşey ivme bileşeni/yatay ivme bileşeni yüksek olan yedi deprem kaydı kullanılmıştır. Seçilen yapısal davranış parametreleri ise yer değiştirme, kolon aksenal kuvveti ve kolon kesme kuvvetleridir. Analizlerde SeismoStruct programı kullanılmış olup, öncelikle deprem kaydının iki yatay bileşeni için analiz yapılmış, ardından iki yatay bileşene ek olarak düşey bileşeni de dikkate alarak analizler tekrarlanmıştır. Analizler sonucunda, düşey deprem bileşeninin yapısal sistemin düğüm noktası yerdeğiştirmeleri ve kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi gözlenmemiştir. Bununla birlikte, düşey deprem bileşeninin kolonlarda aksenal kuvvet üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: *Yer hareketleri, düşey deprem etkisi, betonarme elemanların davranışı.*



THE EFFECT OF VERTICAL EARTHQUAKE COMPONENT ON STRUCTURAL BEHAVIOR IN MULTI-STORY STRUCTURES

ABSTRACT

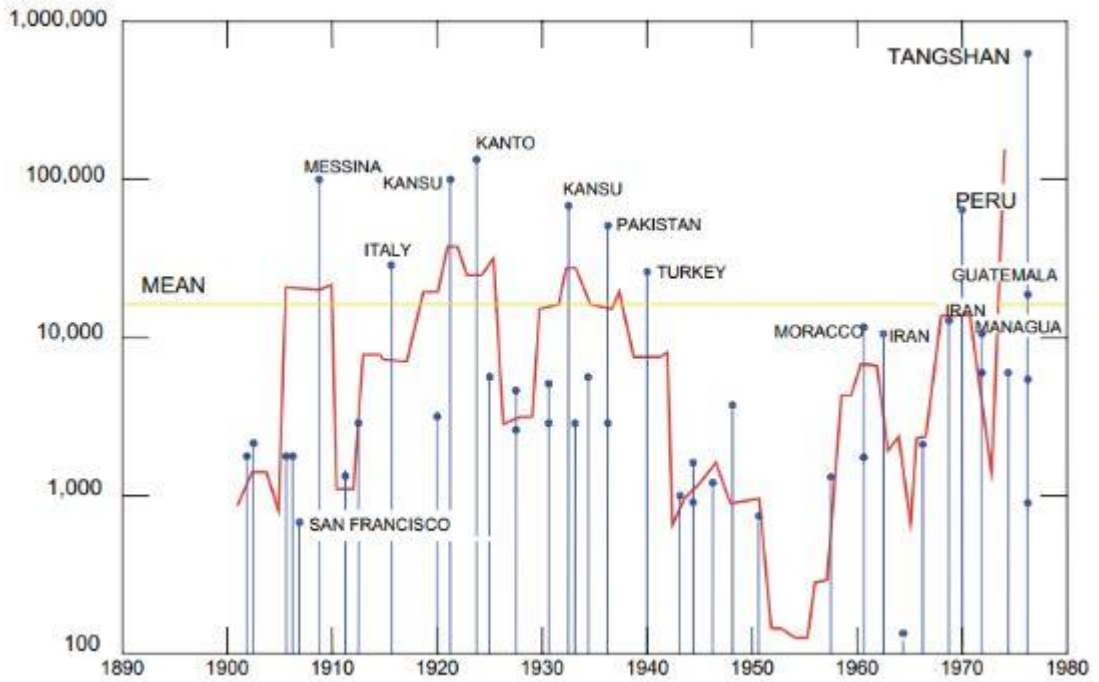
In recent earthquakes, there has been a significant field evidence that the collapse of existing structures is due to the effect of the vertical component of the seismic ground motions. Such field evidence has been not supported by comprehensive analytical and experimental testing yet. This study focuses on the preliminary analysis of the seismic response of reinforced concrete elements exposed to horizontal and vertical ground motions. In this research, the vertical earthquake effect was investigated on two reinforced concrete buildings with 3 stories and 7 stories. In this analysis, seven earthquake recordings were used to cover a wide vertical-horizontal spectral ratio. The selected structural parameters are nodal displacements, axial forces and shear forces. Using the SeismoStruct program, first the earthquake effect examined on two dimensions (x,y) and then three dimensional (x,y,z) and the results were controled comparatively. The results show that although the structure does not significantly affect the displacement and shear forces response, the multicomponent effect of earthquakes has a significant effect on the forces of building columns.

Keywords: *Seismic ground motions, vertical earthquake effect, seismic response of reinforced concrete elements.*



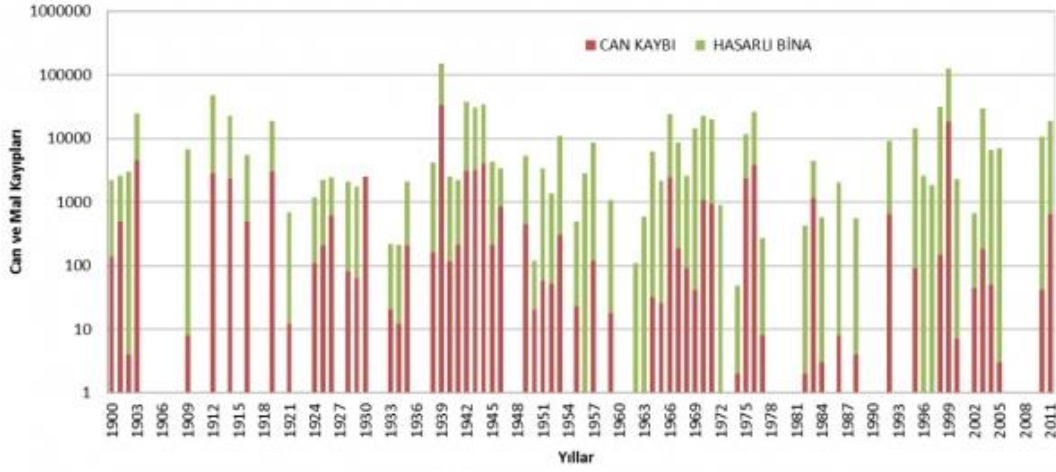
1. GİRİŞ

Deprem, yer sarsıntısı veya eski adıyla zelzele, yer kabuğunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan enerji sonucunda meydana gelen sismik dalgalanmalar ve bu dalgaların yeryüzünü sarsması olayıdır. Dünyadaki en büyük afetlerden biri olan depremler, hem büyük çapta ekonomik kayıplara, hem de binlerce insanın ölümüne neden olmaktadır (Şekil 1.1). Araştırmalara göre, deprem yükü, yapılara etkileyen en tehlikeli yükleridir. UNESCO tarafından hazırlanan rapora göre, 1926'dan 1988'e kadar yaklaşık 10,000,000 dolarlık bir ekonomik kayıp meydana gelmiştir [1].



Şekil 1.1: Dünyanın en şiddetli depremleri neden olduğu can kayıpları [1].

Dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde de bugüne kadar oldukça yıkıcı nitelikte çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Türkiye'de 1900 – 2011 yılları arasında kaydedilen can ve mal kayıpları Şekil 1.2'de kısaca gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Türkiye'de 1900'dan 2011'a ait can ve mal kayıpları [2].

1900-2014 yılları arasında meydana gelen 180 depremde ele alındığında, can kaybı ve hasarlı bina sayısı bakımından bölgelere göre dağılım Şekil 1.3'te sunulmuştur. Buna göre en fazla hasarın gözlemlendiği ilk beş bölge, Doğu Anadolu, Marmara, Karadeniz, Ege, Akdeniz bölgeleri olarak sıralanmaktadır [2].



Şekil 1.3: Türkiye'nin bölgeleri'nde 1900'dan 2011'a ait can ve mal kayıpları [2].

Ülkemizdeki yapı stokunun büyük bir kısmını betonarme binaların oluşturması sebebiyle, geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerde çok sayıda betonarme bina yıkılmış ve farklı seviyelerde hasar görmüşlerdir. Depremler sebebiyle hasar gören veya yıkılan binalarda birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalara göre betonarme yapılarda meydana gelen hasarların ana sebeplerinin düşük kaliteli beton, yapı elamanlarındaki detayların yetersiz oluşu, zayıf kolon güçlü kiriş davranışı, kısa kolon davranışı ve yetersiz bindirme boyu gibi unsurlar olduğu belirlenmiştir [3].

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışması kapsamında; yatay deprem bileşeni ile yatay ve düşey deprem bileşenlerinin birlikte etkidiği betonarme yapıların davranışı üzerine odaklanmaktadır. Bu amaçla, 3 ve 7 katlı iki betonarme yapıda düşey deprem etkisinin düğüm noktası yer değiştirmeleri, kolon aksenal kuvveti ve kolon kesme kuvvetleri üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Betonarme yapılarda düşey deprem etkisi konusunda sınırlı sayıda çalışma yapılmış olup, bu çalışmalardan en önemlileri aşağıda özetlenmiştir:

Papazoglou ve Elnashai (1996) tarafından yapılan çalışmada, öncelikle düşey deprem etkisinin önemine örnek olarak gösterilebilecek üç tarihi depremden elde edilen gözlemsel kanıtlar açıklanmış ve ardından aynı yapısal sistemler için analitik bir çalışma yürütülerek, düşey deprem etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır [4].

Vasfioğlu (2001) tarafından yapılan çalışmada, Adana-Ceyhan depreminde orta derecede hasar görmüş bir yapının farklı modelleri incelenmiştir. Bu modeller depremden önceki, hasarlı ve güçlendirilmiş durumu ve bu durumların çeşitli varyasyonlarıdır. Çalışmanın sonucunda düşey serbestliklerin ve depremin düşey bileşeninin yapıyı dikkate alınacak ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır [5].

Soydan (2001) tarafından yapılan çalışmada, düşey deprem etkisinin orta hasarlı bir binaya uygulanması durumunda ortaya çıkacak iç kuvvet dağılımının gözlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın birinci kısmında, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının sürekli olmadığı bir çerçevede yatay ve düşey deprem etkisi birlikte incelenmiştir. İncelenecek sistem olarak kat yükseklikleri 3 m ve plandaki boyutları 15m olan, her iki doğrultuda üç açıklığa sahip yapının bir iç çerçevesi alınmıştır. Çalışmanın sonucunda yapı düşey yükleri göz önüne alınıp deprem etkileri karşılaştırıldığında değişimlerin % 35'i aşmadığı görülmüştür [6].

Doğan (2004) tarafından yapılan çalışmada, depremin düşey bileşeninin etkin olabileceği düşünülen, taşıyıcı sistem düşey elemanları süreksizlik gösteren veya büyük konsolları olan bir dizi örnek betonarme bina üzerinde 17 Ağustos 1999

Marmara Depremi ivme kayıtları kullanılarak Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile düşey deprem etkisi incelenmiştir [7].

Di Sarno, Elnashai ve Manfredi (2011) tarafından yapılan çalışmada, 2009 L'Aquila (İtalya) depreminde kaydedilen yatay ve düşey yer hareketlerine maruz kalan betonarme elemanların sismik davranışı üzerine odaklanılmıştır. Çalışma sonunda, özellikler kolonlardaki eksenel kuvvetin büyük ölçüde etkilendiği vurgulanmaktadır [8].

Eren ve Beyan (2017) tarafından yapılan çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği-2007'de (TDY-2007) can güvenliği performans seviyesi için yatay etkitilen elastik tasarım ivme spektrumu ve göz önüne alınmayan düşey deprem yer hareketinin tipik bir betonarme yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir [9].

2. YATAY VE DÜŞEY DEPREM ETKİLERİ

2.1 Depremler

Yer kabuğunun hareketi ile oluşan deprem, farklı deprem dalgalarına neden olur ve bu dalgalar her yöne yayılarak, mevcut yapılarda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Bu kuvvetleri yapı elemanlarının güvenli bir şekilde önce yapının temeline ve daha sonra zemine aktarabilmesi için yapı elemanlarının yeterli rijitliğe, dayanıma ve süneklığe sahip olması gerekmektedir. Yakın fay etkisi sebebiyle, kaynağa yakın depremlerde düşey yer ivmesi/yatay yer ivmesi oranı, kaynağa uzak depremlere kıyasla daha büyük olabileceği gözlenmiştir. Bu sebeple, düşey deprem bileşeninin yapılarda hasara sebep olabileceği ile ilgili birçok bilgi ve belge mevcuttur.

2.1.1 Deprem temel parametreleri

Deprem ve yer hareketleri hakkında bilgi sahibi olması, yatay ve düşey deprem etkilerinin daha iyi anlaşılması için gereklidir. Depremler oluş sebeplerine göre iki şekilde oluşabilir. Biri doğal kaynaklı depremler ve diğeri ise insan yapımı depremleridir.

Çizelge 2.1: Doğal ve insan yapım depremler [10].

Deprem Oluş Sebepleri	
Doğal Depremler	İnsan Yapımı Depremler
<ul style="list-style-type: none">• Tektonik depremler• Volkanik depremler• Kaya Düşmesi/Çöküntü depremleri• Mikro sismik depremler	<ul style="list-style-type: none">• Patlayıcı depremleri• Madencilik depremleri--

Günümüzde meydana gelen depremlerin yaklaşık %90'ı tektonik olaylardan kaynaklanmaktadır. Yeryüzü plakaları birbirlerine göre hareket ederken gerilme birikimi oluşur ve bu gerilme belirli bir büyüklüğe ulaştığında dış kabuğu yırtar.

Bu yırtılma fay olarak adlandırılan zayıf düzlem boyunca devam eder. Biriken gerilmeler enerji ortaya çıkarır ve yerkürede titreşim dalgaları oluşturur. Bu dalgaların yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem adı verilmektedir [11]. Şekil 2.1’de deprem oluşum mekanizmasını gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Deprem oluşum mekanizması.

Depremi tanımlayan temel unsurlar;

- Odak noktası; yerkürenin derinliklerinde deprem enerjisini ortaya çıktığı nokta,
- Merkez üssü: yeryüzünde odak noktasına en yakın olan yer,
- Odak derinliği: odak noktası ile merkez üssü arasındaki uzaklık olarak tanımlanabilir.

Depremler odak derinliğine göre 3 kategoriye ayrılmaktadır:

- Sığ depremler, odak derinliği 70 km’den daha az olan depremlerdir. Meydana gelen depremlerin yaklaşık %80’i sığ depremlerdir. Sığ depremler dar bir alanda hissedilir ve bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.
- Orta derinlikteki depremler, derinliği 70 km ila 300 km arasında olan depremlerdir.
- Derin depremler, derinliği 300 km’den büyük olan depremlerdir. Derin depremler çok geniş alanda hissedilirler, buna karşılık yaptıkları hasar azdır.

2.1.2 Depremi n byklg ve Şiddeti

Depremi n nicelik olarak ifade edilmesi için depremin byklg ve depremin Şiddeti, lm yöntemi olarak kullanılmaktadır.

i. Depremi n Byklg:

Bir depremin byklg aıga çıkan toplam enerjinin bir lsdr. Depremi n byklgn farklı yöntemlerle ölçmek mmkndr. İlk kez Richter yerel byklg (ML) leği 1930 yılında Prof. Dr. Richter tarafından tanımlanmıŐtır. Bilimin geliŐimi ve Richter teorisinin yardımıyla cisim dalgası byklg (Mb) ve yzey dalgası byklg (Ms) tanımlanmıŐtır. Bu  byklk leği (ML, Mb ve Ms) kk ve yerel depremler için kullanılmaktadır. Bu nedenle, yeni leği moment byklg (Mw) sunulmuştur. Mw diğer tm ölçeklerinden daha doğru ve byk byklg olan depremlerini llebilmektedir[12].

Farklı deprem byklgnn leklerinin uygulama alanları Őunlardır[1]:

- ML ve Mb: 3 ila 7 arasındaki byklkleri olan depremler için.
- Ms: 5 ila 7.5 arasındaki byklkleri olan depremler için.
- Mw: tm byklkler için.

ii. Depremi n Şiddeti:

Depremi n Şiddeti yeryznde hissedildiği yerdeki hasar ile birlikte yapılar, doğa ve insanlar zerindeki etkilerinin lsdr[11]. Depremi n Őiddetini ölçebilmek için farklı Şiddet lekleri bulunmaktadır. Bunlardan biri Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli'dir. Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli I-XII arasında deđiŐen Şiddet değerlerini içerir. Çizelge 2.2'de Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli, zemin ivmesi ve depremin byklg ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.2: Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli, Zemin ivmesi ve Richter ölçüsü arasında ilişkileri[11][12].

Şiddet	Tanım	Yaklaşık Zemin İvmesi (m/s ²)	Deprem Bütüklüğü (Richter)
I	Hemen hiç hissedilmez.	0.01	-
II	Özellikle üst katlardaki bazı insanlar tarafından hissedilebilir.	0.02-0.03	-
III	Bina içinde hissedilir fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran araçların yanından kamyon geçmiş hissi uyandırır.	0.03-0.07	-
IV	Bina içindekilerin çoğu hisseder. Kapı, pencere, kapacak sallanır	0.07-0.15	4
V	Hemen herkes hisseder. Bazı tabakalar, sıvalar, pencereler kırılır.	0.15-0.3	4.5
VI	Herkes hisseder. Birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar, sıvalar, düşer. Hafif hasar oluşur.	0.3-0.7	5.1
VII	Herkes dışarı kaçar yapıda çeşitli hasarlar oluşur.	0.7-1.5	5.6
VIII	Duvarlar çerçevelerden ayrılıp devrilir. Anıtlar, bacalar, duvarlar yıkılır	1.5-3.00	6.2
IX	Yapılar temelinden ayrılır, hasar görür. Zemin ve yeraltı boruları çatlar.	3.00-7.00	6.6
X	Kargır ve çerçeve yapıların çoğu yıkılır. Demiryolları eğilir.	7.00-15.00	7.3
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir. Köprüler hasar görür. Yeraltı boruları kırılır. Torak kaymaları oluşur.	15.00-30.00	7.8
XII	Hemen her şey yerlerle bir olur. Toprak yüzeyindedalgalanma görülür. Nesnelere havada uçar	30.0-70.0	8.4

2.2 Yapıların Üzerinde Deprem Hasarları

Depremler sırasında binalar çeşitli nedenlerden dolayı hasar görebilmektedir. Bu hasarların sınıflandırılması ve sayısal olarak ifade edilmesi oldukça zordur. Betonarme yapılar genellikle yumuşak/zayıf kat, plan ve düşey düzensizlikler, düşük malzeme dayanımları, donatıların korozyonu, bitişik yapıların çarpışması, tasarım ve uygulama hataları, zemin ve temel etkisi, kullanım amacının değiştirilmesi ve yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması ve yapı elamanlarında yetersiz imalat detayları nedenleriyle hasar görebilmektedir [10].

Depremler, yapılara aşağıdaki şekiller ve mekanizmalarda zarar verebilmektedir[10]:

- Şiddetli yer hareketleri tarafından oluşan atalet kuvvetleriyle,
- Depremlerin sebep olduğu yangınlarla,

- Temel zemin özelliklerindeki değişiklikler sebebiyle, (ör; sıvılaşma, oturma, pekiştirme)
- Toprak kaymasıyla,
- Tsunami ile,
- Zeminde büyük ölçekli tektonik değişikler nedeni ile.

2.2.1 Düşey deprem hareketlerinin etkileri

Düşey deprem bileşeninin yapılardaki etkisine ilişkin yapılan önceki çalışmalar, genellikle aşağıdaki etkilerin gözlemlendiğini göstermiştir [13]:

- Kolonlardaki eksenel kuvvetlerin değişimi;
- Yapısal bileşenler ve bağlantılarda eğilme momenti ve kesme kuvveti taleplerinin artması;
- Artan plastik şekil değiştirmeler;
- Yapısal elemanlarda sünekliliğin azalması.

2.3 Düşey Deprem Bileşeninin Dikkate Alındığı Deprem Yönetmelikleri

2.3.1 DBYBHY 2007 (Türkiye)

Türkiye’de 2007 yılında yürürlüğe giren bu yönetmelikte, düşey deprem etkisi dikkate alınmamaktadır. Ancak, yapısal tasarımda bazı kısıtlamalar getirilerek bu etkinin azaltılması amaçlanmaktadır. Yönetmelikte tanımlanan düzensizlik türlerinden B3 türü düzensizlik durumunun yeni yapılacak yapılarda bulunmaması istenmektedir. Bu düzensizliği açıklayacak 4 madde verilmiştir [14]:

a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan

güselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.

c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

2.3.2 Is 1893 – 2000 (Hindistan)

Hindistan yönetmeliği, düşey deprem etkisini dikkate almaktadır. Yük kombinasyonlarında her üç doğrultudaki deprem etkisi için (2.1):

$$\begin{aligned} &\pm EL_x \pm 0,3EL_y \pm 0,3EL_z \\ &\pm EL_y \pm 0,3EL_x \pm 0,3EL_z \\ &\pm EL_z \pm 0,3EL_x \pm 0,3EL_y \end{aligned} \quad (2.1)$$

kombinasyonlarının kullanılması gerekmektedir. Burada EL_x , EL_y ve EL_z sırasıyla x, y ve düşey doğrultudaki deprem etkilerini tarif etmektedir. Ayrıca düşey tasarım spektrumunun tarifinde yatay tasarım spektrumunu 2/3 oranıyla çarpılmasını istemektedir [15].

2.3.3 Eurocode 8 - 1998 (Avrupa)

Eurocode, düşey deprem etkisinin kabulü için belli şartlar getirmiştir. Düşey ivmenin 0.25g'den büyük olduğu bölgelerde ve bazı yapı türlerinde uygulanmasını istemiştir. Bu yapılar:

- Açıklığı 20 m ve üzeri olan yatay veya yataya yakın elemanlar,
- 5 m. den daha uzun yatay veya yataya konsol elemanlar,
- Yatay veya yataya yakın öngerilmeli elemanlar,
- Kolon taşıyan kirişler,
- Deprem yalıtım sistemli yapılarıdır.

Yük kombinasyonlarında depremin üç yönü için (2.2):

$$\begin{aligned} &Ed_x + 0,3Ed_y + 0,3Ed_z \\ &Ed_y + 0,3Ed_x + 0,3Ed_z \\ &Ed_z + 0,3Ed_x + 0,3Ed_y \end{aligned} \quad (2.2)$$

kombinasyonlarını kullanmaktadır. Burada E_d^x , E_d^y ve E_d^z sırasıyla x, y ve düşey doğrultudaki deprem etkilerini tarif etmektedir [16].

2.3.4 UBC - 1997 (Amerika)

Bu yönetmelikte düşey deprem etkisi yapıdaki düşey yüke bağlı bir katsayı olarak verilmiştir. Depremlili durumda yük kombinasyonları: $1,2D + 0,5L \pm 1,0E$ ve $0,9D \pm 1,0E$ dir. Bu yük kombinasyonları betonarme yapılar için 1,1 katsayısıyla çarpılarak artırılmaktadır. D düşey yükü, L hareketli yükü, E ise deprem yükünü tarif etmektedir. Deprem yükü; $E = \rho \times E_h + E_v$ olmak üzere yatay ve düşey bileşenden gelen kuvvetleri içerecek şekilde tariflenmektedir. Burada ρ fazlalık katsayısı, E_h yatay bileşeni, E_v ise düşey bileşeni göstermektedir [17].

2.3.5 Nzs 1170 - 2004 (Yeni Zelanda)

Bu yönetmelikte mevcut yatay spektrumu 0.7 katsayısıyla çarpılması sonucu elde edilen spektrum, düşey tasarım spektrumu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, faya 10 km den daha yakın bölgeler için yapı periyodunun 0,3 sn den daha az olduğu durumlarda, bu katsayının yataya eşdeğer değer olan 1 katsayısı olarak kullanılmasını önermektedir [18].

2.3.6 TBDY 2018 (Türkiye)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre, aşağıdaki binalarda hesap düşey tasarım ivme spektrumuna göre yapılacaktır (2.3) [19]:

$$(R/I=1 \text{ ve } D=1) \quad (2.3)$$

- a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,
- b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
- c) Kirişlere oturan kolonları içeren binalar,
- d) Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

Diğer binalarda (2.4):

$$E_d^{(z)} \approx (2/3) S_{DS} G \quad (2.4)$$

3. YÖNTEM

3.1 Deprem Analizi Yöntemleri

Deprem analizi yöntemlerinin ana amacı, verilen bir deprem için yapılarda oluşan taban kesme kuvvetleri, iç kuvvetleri, yer değiştirmeler gibi yapısal parametrelerin belirlenmesidir. Lineer (doğrusal) ve nonlinear (doğrusal olmayan) hesap yöntemleri, yapıların deprem performansının belirlenmesi için bulunmaktadır. Çizelge 3.1’de nonlinear hesap yönteminin genel sınıflandırılması gösterilmiştir:

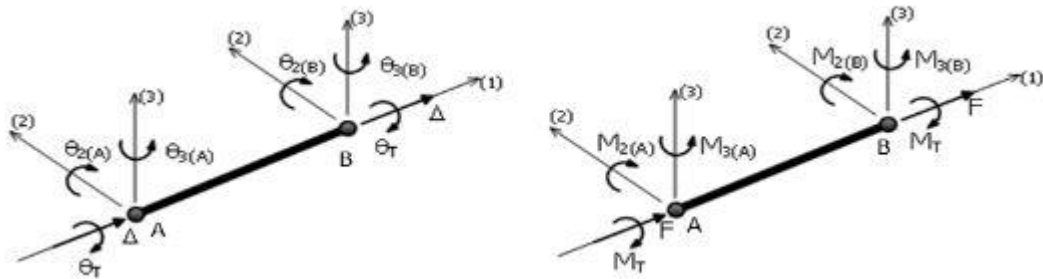
Çizelge 3.1: Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Genel Sınıflandırılması.

Nonlinear Hesap Yöntemi	
Doğrusal Olmayan Statik Analiz	Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz
İtme Analizi Yöntemi	Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi ve Artımsal Dinamik Analiz

3.2 Çözümleme Platformu

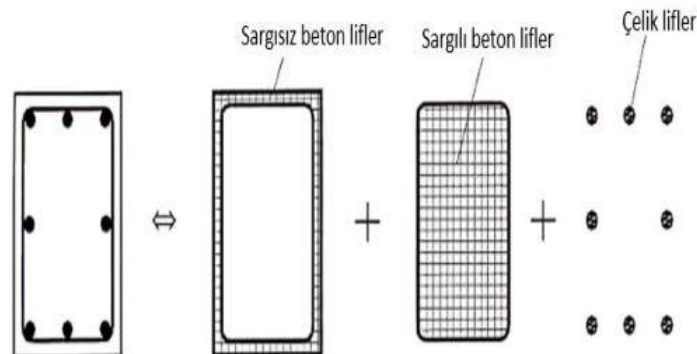
Bu çalışmada; çok serbestlik dereceli sistemlerin zaman tanım alanında dinamik çözümlenmeleri için SEISMOSTRUCT yazılımı kullanılmıştır [20]. Seismostruct, iki ve üç boyutlu, çelik, betonarme ve kompozit sistemlerin, hem geometri hem de malzeme bakımından doğrusal olmama durumunu göz önüne alarak statik ve dinamik yükler altında analiz yapabilen bir sonlu eleman programıdır. Seismostruct programında, on bir farklı malzeme modeli ve on beş farklı enkesit tanımı mevcuttur. SeismoStruct programında, doğrusal olmayan malzeme davranışı, hem plastik mafsallık kabulüyle, hem de lif eleman yaklaşımı kullanılarak yayılı plastiklik kabulüyle ele alınabilmektedir. Lif eleman modelleri, eğilme davranışı ile eksenel kuvvet arasındaki etkileşimi tanımlamaya elverişli olması

sebebiyle literatürde geniş kullanım alanına sahiptir. Kesite ait gerilme-şekil değiştirme durumu ise, kesiti oluşturan her bir lif için elastik ötesi malzeme davranışının integrasyonundan hareketle bulunmaktadır. Bunun yanısıra program, geometrik olarak doğrusal olmayan davranışı, hem yerel (kiriş-kolon elemanlarda, P- δ), hem de genel (sisteme ait büyük yerdeğiştirme / dönme etkileri, P- Δ) olarak dikkate almaktadır. Programın büyük şekil değiştirme seviyelerindeki yakınsaklığı ve sayısal stabilitesi sebebiyle, elastik ötesi tepkinin ve göçme yükünün bulunması kolaydır. Kiriş ve kolonlar kübik üç boyutlu elastoplastik kiriş kolon elemanları kullanılarak modellenmiştir. Elemanın yerdeğiştirme ve dönmeleri Şekil 3.1’de görülen şekilde tanımlanır.

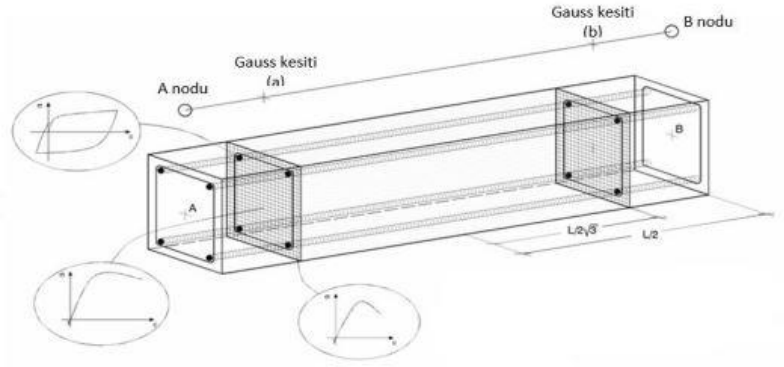


Şekil 3.1: Elemanın yerdeğiştirme ve dönmeleri[20].

Bu eleman tipinde nümerik integrasyonlar iki Gauss kesitinde yapılmaktadır. Her bir Gauss kesitinde gerilmeler ve şekil değiştirmeler malzeme ilişkilerine dayanan lif (fiber) yaklaşımıyla eleman uzunluğu ve kesit yüksekliği boyunca değişken olarak elde edilir. Bu nedenle mafsal oluşması beklenen bölgelerde ayrıca bir mafsal tanımlaması yapmaya gerek yoktur. Bu yaklaşım Şekil 3.2 ve 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Tipik betonarme kesitin liflere ayrılması [18].



Şekil 3.3: Eleman boyunca tipik betonarme kesitin gösterimi [20].

3.3 Kullanılan Deprem Kayıtları

Bu çalışmada düşey deprem etkisi analizlerinde, 7 ayrı deprem kaydının iki yatay ve bir düşey bileşenleri kullanılmış olup, bu kayıtlar PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) veri tabanından alınmıştır. Kullanılan deprem kayıtlarına ait özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri.

Deprem	İstasyon Adı	Büyük lük	Mesaf e (km)	Bileşen 1	PG A (G)	Bileşen 2	PG A (G)	Bileşen 3	PG A (G)
Imperial Valley	Agrarias	6.6	10.3	AGR003	0.29	AGR273	0.19	AGRDWN	0.47
Imperial Valley	El Centro Array #5	6.6	3.95	E05140	0.52	E05230	0.37	E05-UP	0.59
Imperial Valley	El Centro Array #6	6.6	1.35	E06140	0.43	E06230	0.44	E06-UP	1.86
Imperial Valley	El Centro Array #7	6.6	0.56	E07140	0.34	E07230	0.46	E07-UP	0.57
Loma Prieta	Gilroy Array #3	6.9	12.82	G03000	0.55	G03090	0.37	G03-UP	0.34
Loma Prieta	LGPC	6.9	3.88	LGP000	0.56	LGP090	0.60	LGP-UP	0.88
Northridge	Newhall - Fire Sta	6.7	5.92	NWH090	0.58	NWH360	0.58	NWH-UP	0.54

4. ÖRNEK BİNALARDA YATAY VE DÜŞEY DEPREM ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Giriş

Bu bölümde düzenli bir plana ve geometriye sahip, 3 ve 7 katlı iki betonarme bina ele alınmış olup, SEİSMOSTRUCT yazılımı ile modellenmiştir. Analizlerde deprem etkilerinin önce yatay bileşenleri (x,y) ve daha sonra hem yatay hem de düşey bileşenler dikkate (x,y,z) alınmıştır ve sonuçların karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Sonuçların incelenmesi sırasında incelenen yapısal parametreler,

- Düğüm noktası yer değiştirmesi,
- Kolon aksenal kuvveti,
- Kolon kesme kuvvetidir.

4.2 İncelenen Binaların Genel Özellikleri

Bu çalışmada biri 3 katlı ve diğeri 7 katlı olan 2 betonarme yapının üzerinde yatay ve düşey deprem etkilerinin değerlendirmesi yapılmıştır.

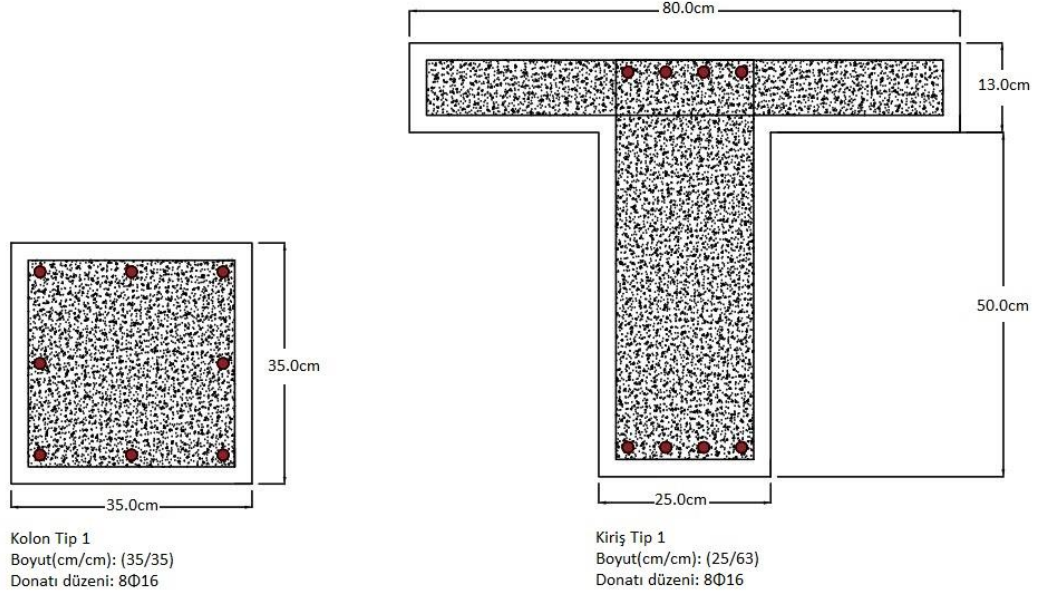
Ele alınan ilk bina, bir zemin ve iki normal kat olmak üzere toplam üç kattan, ikinci bina ise bir zemin ve altı normal kat olmak üzere toplam yedi kattan oluşmaktadır. Her iki binada da normal kat yükseklikleri 3'er m. olarak alınmıştır. Çizelge 4.1'de incelenen binaların malzeme özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1: incelenen binaların malzeme özellikleri.

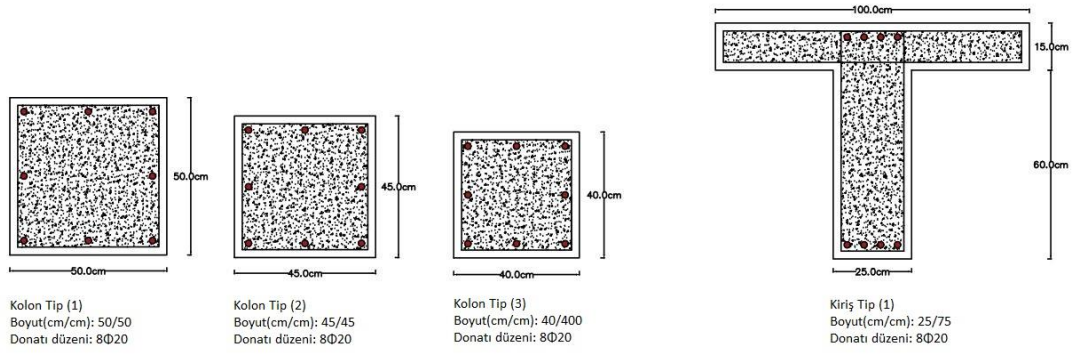
Beton		Çelik	
Basınç Dayanımı f_{ck} (MPa)	Elastisite Modülü E_c (MPa)	Akma Dayanımı f_{yk} (MPa)	Elastisite Modülü E_s (MPa)
30	25743	500	200000

4.2.1 İncelenen binaların mevcut kolonları ve kirişlerinin kesit detayları

3 katlı binanın kolonları ve kirişlerinin kesit detayları şekil 4.1'de, 7 katlı binanın kolonları ve kirişlerinin kesit detayları ise şekil 4.2'de gösterilmiştir.



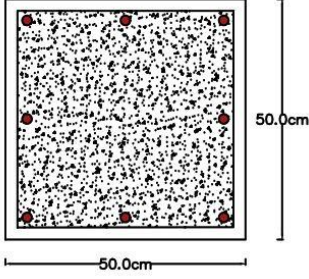
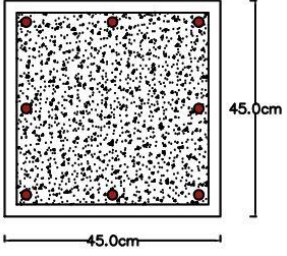
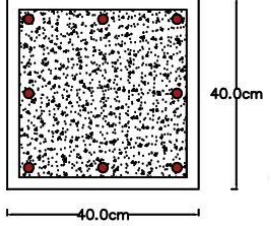
Şekil 4.1: 3 katlı binanın kolonları ve kirişlerinin kesit detayları.



Şekil 4.2: 7 katlı binanın kolonları ve kirişlerinin kesit detayları.

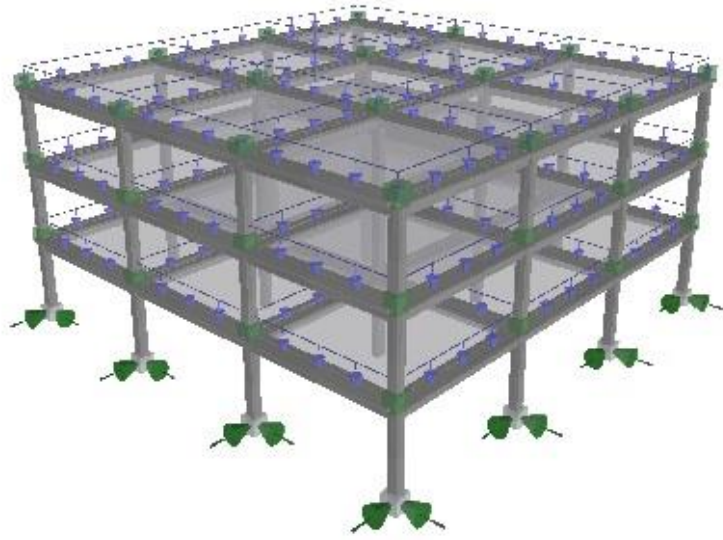
7 katlı bina için kat ve kolon bilgisi Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: 7 katlı bina için kat ve kolon bilgisi

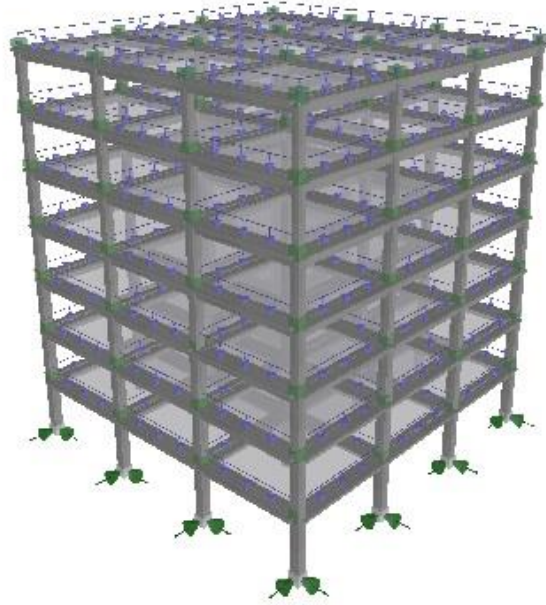
Kat	Kolon	Boyut(cm/cm)	Donatı düzeni	Şekli
1.kat 2.kat 3.kat	Tip 1	50/50	8Φ20	
4.kat 5.kat	Tip 2	45/45	8Φ20	
6.kat 7.kat	Tip 3	40/40	8Φ20	

4.3 İncelenen Binalar İçin Hesap Modelinin Oluşturması

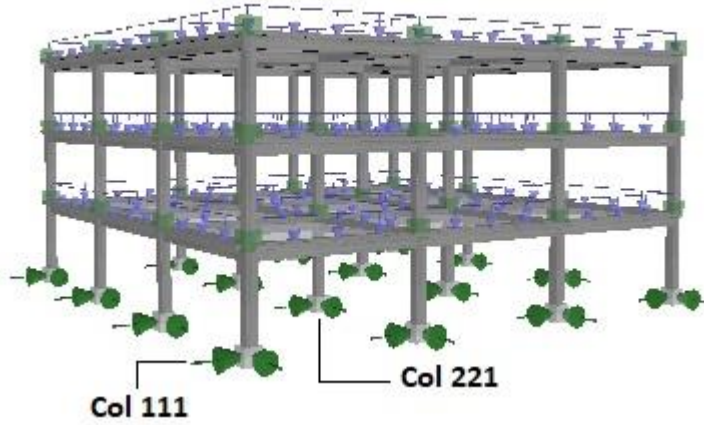
Bu çalışmada incelenen betonarme binalar, Seismostruct programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Üç katlı binanın üç boyutlu modeli şekil 4.3'te ve yedi katlı binanın üç boyutlu modeli şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'te ise her iki modelin analiz sonuçlarında kullanılacak kolonlar, köşe ve orta kolonlar olacak şekilde seçilip gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Üç katlı binanın hesap modeli.



Şekil 4.4: Yedi katlı binanın hesap modeli.

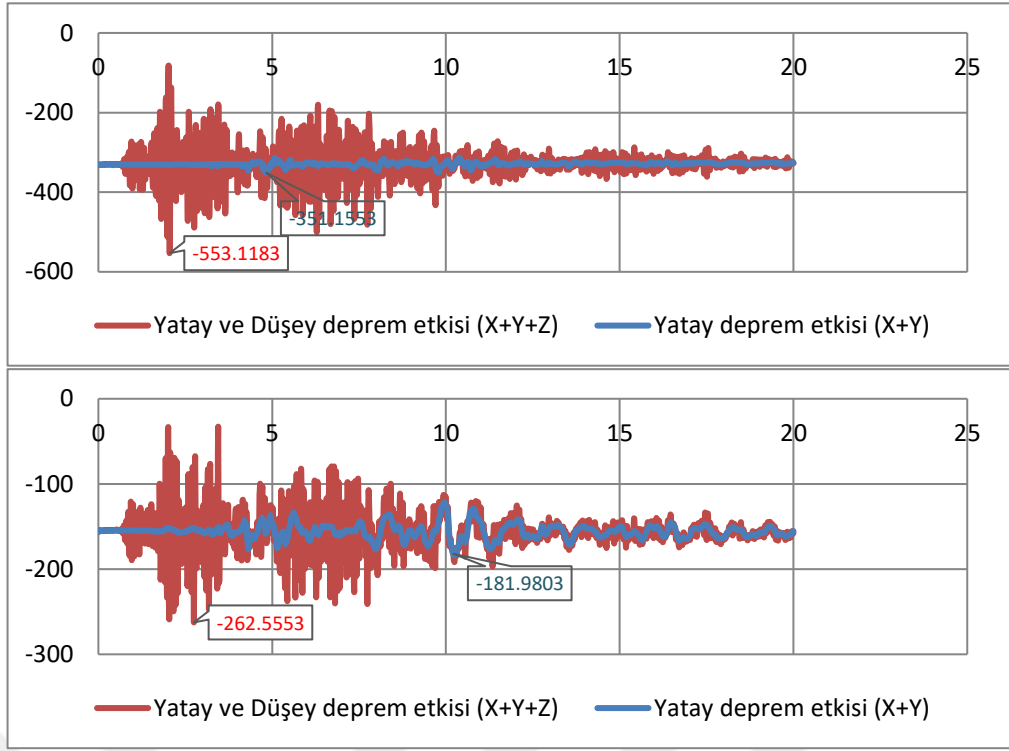


Şekil 4.5: Her iki modelde incelenecek köşe ve orta kolonlar.

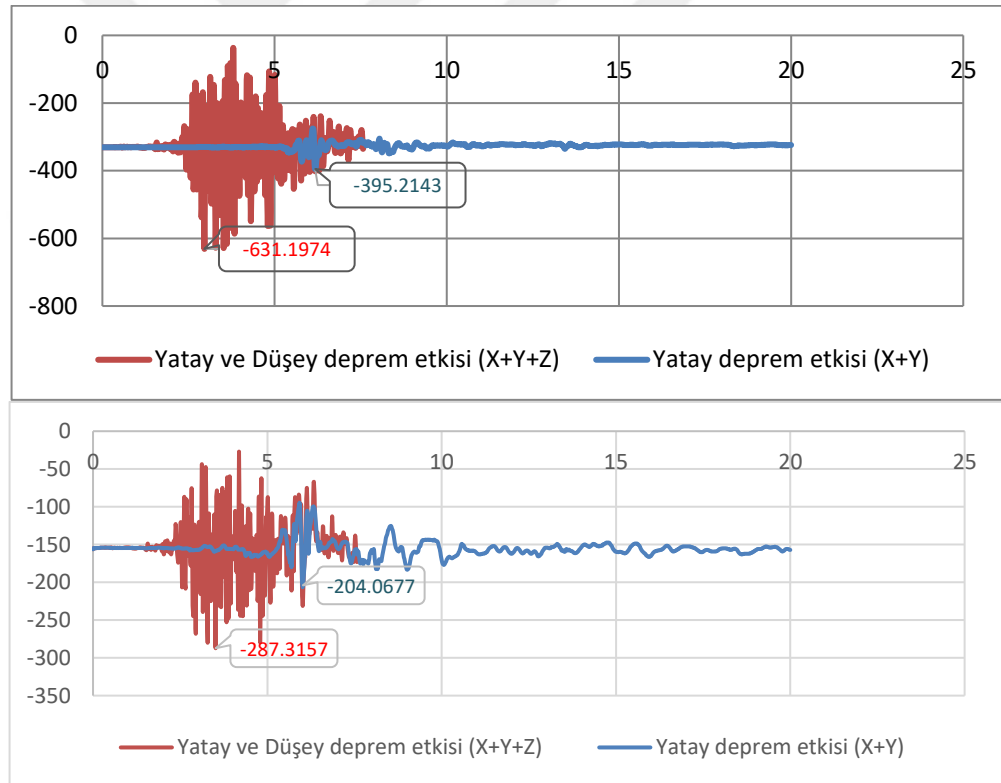
4.4 Düşey Deprem Etkisinin İncelenmesi

4.4.1 Düşey deprem etkisinin kolon normal kuvvet seviyesine etkisi

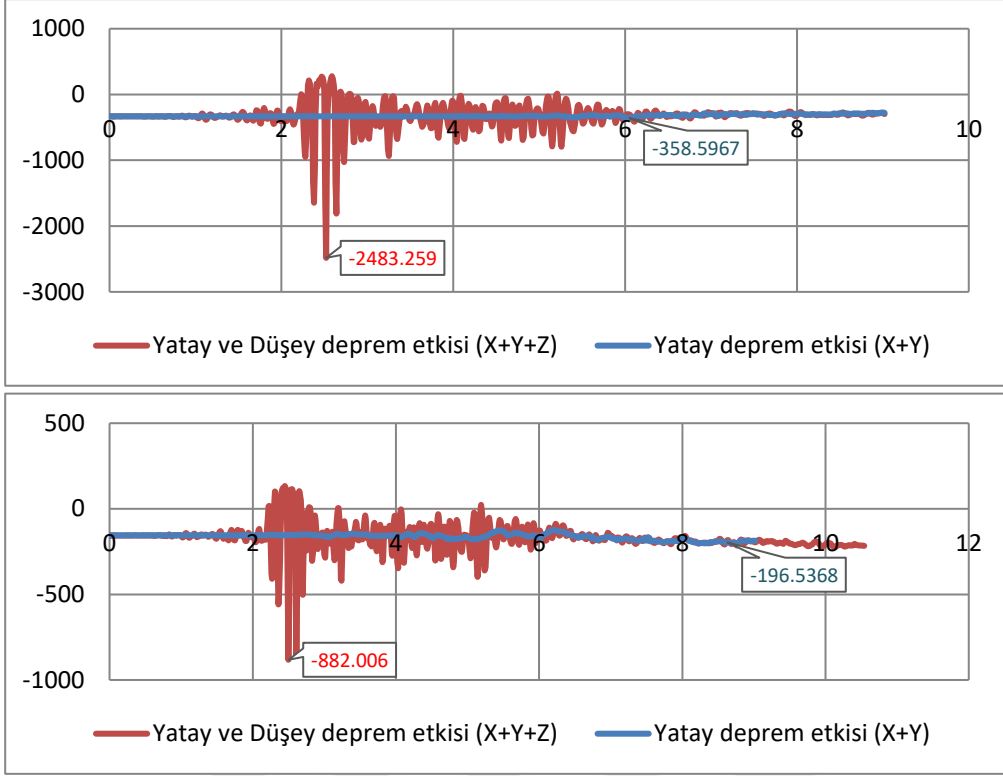
Tüm deprem kayıtları için analizler tamamlanmış olup, analizler sonucunda üç ve yedi katlı binada yatay ve düşey deprem bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkileri incelenmiştir. Ele alınan deprem kayıtları için, üç katlı binada köşe ve orta kolonlardaki normal kuvvet değişimleri Şekil 4.6 – 4.12’de, yedi katlı binalarda köşe ve orta kolonlardaki normal kuvvet değişimleri ise Şekil 4.13 – 4.19’te gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere, hem orta hem de köşe kolonlardaki normal kuvvet değerlerinde büyük bir değişim gözlenmektedir. Hatta, deprem bileşeninin bazı anlarında kolonlardaki normal kuvvet basınçtan çekmeye dönebilmektedir. Ele alınan tüm deprem kayıtları için üç katlı binada ve yedi katlı binada düşey deprem etkisi sebebiyle kolonlardaki aksenal kuvvet değişimi sırasıyla Çizelge 4.3 ve 4.4’de gösterilmiştir.



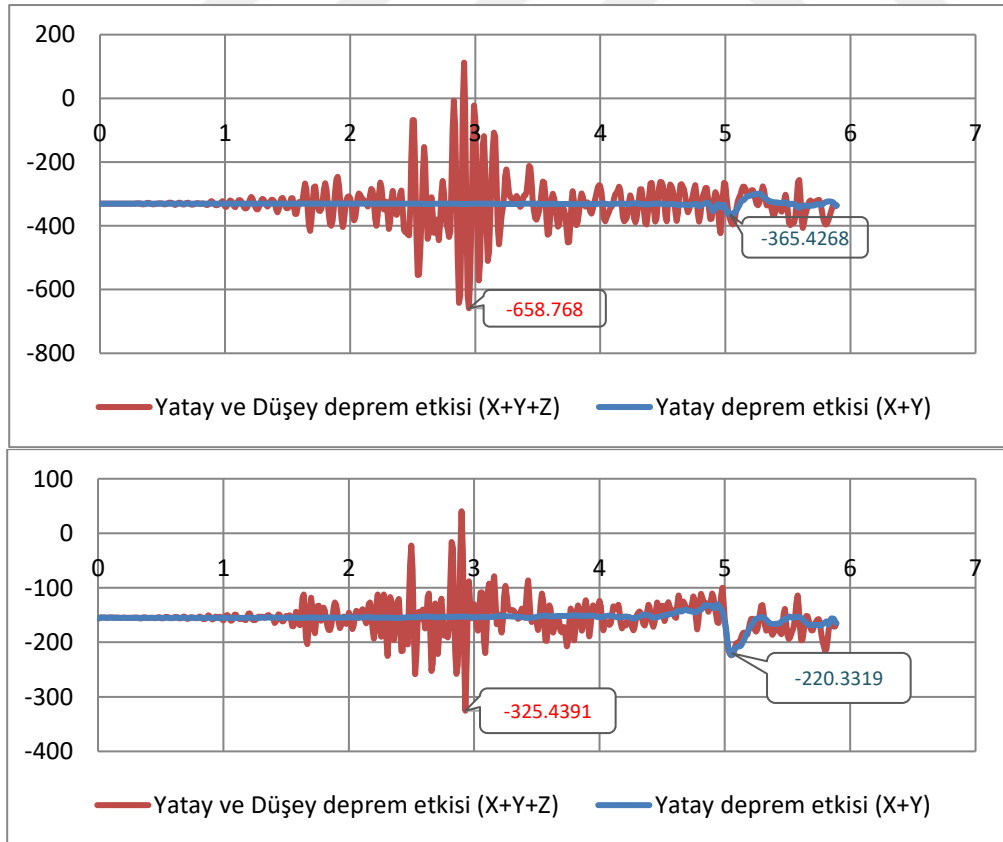
Şekil 4.6: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depremin sırasında ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



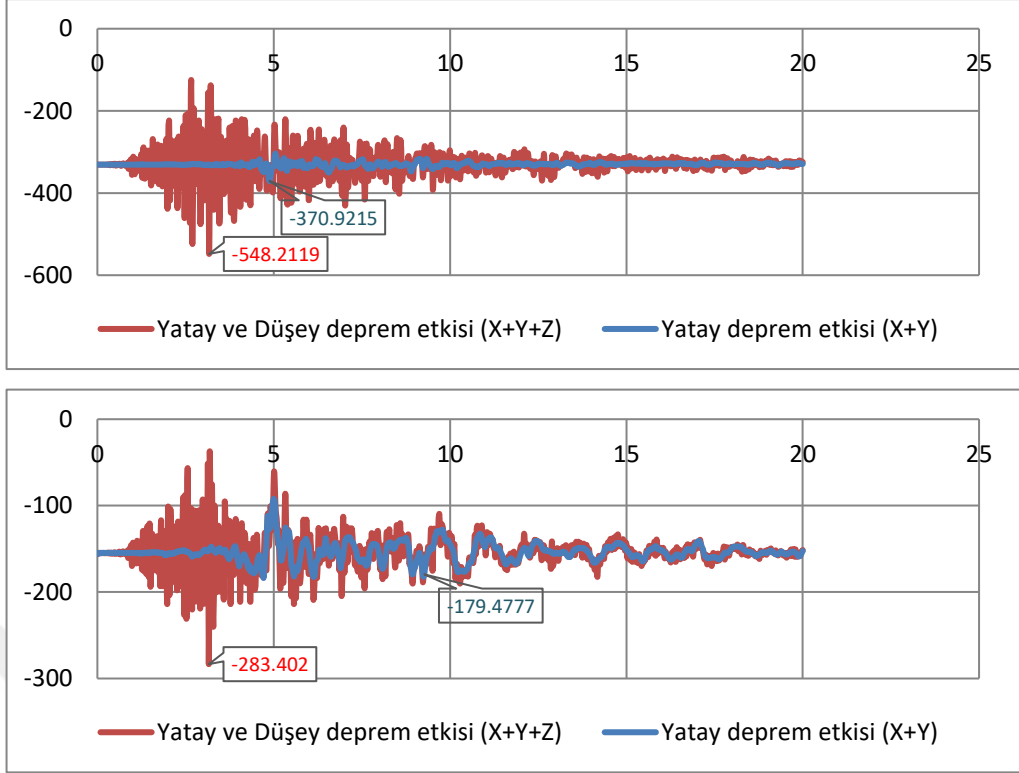
Şekil 4.7: 3 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #5) depremin sırasında ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



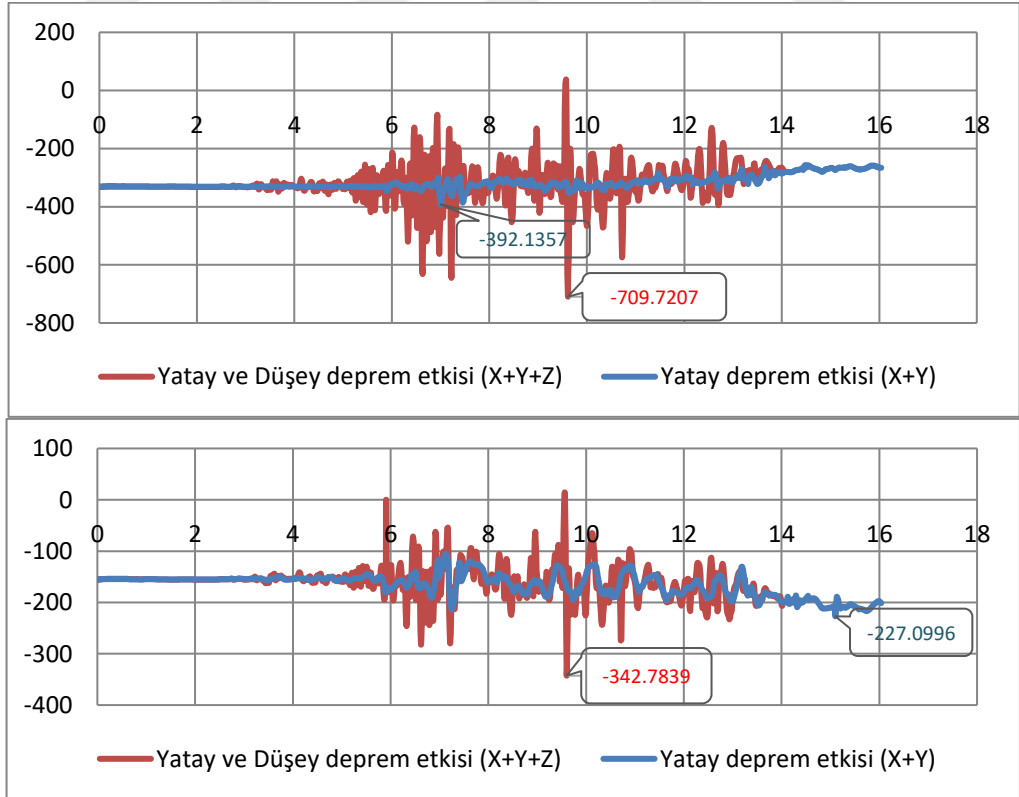
Şekil 4.8: 3 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #6) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



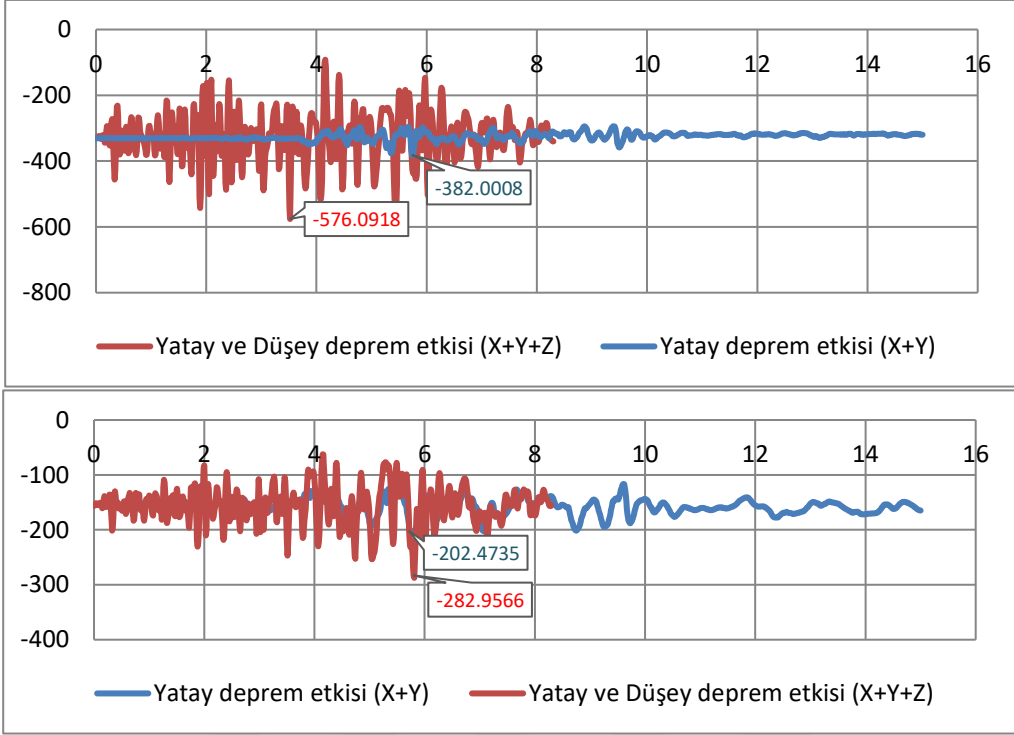
Şekil 4.9: 3 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #7) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



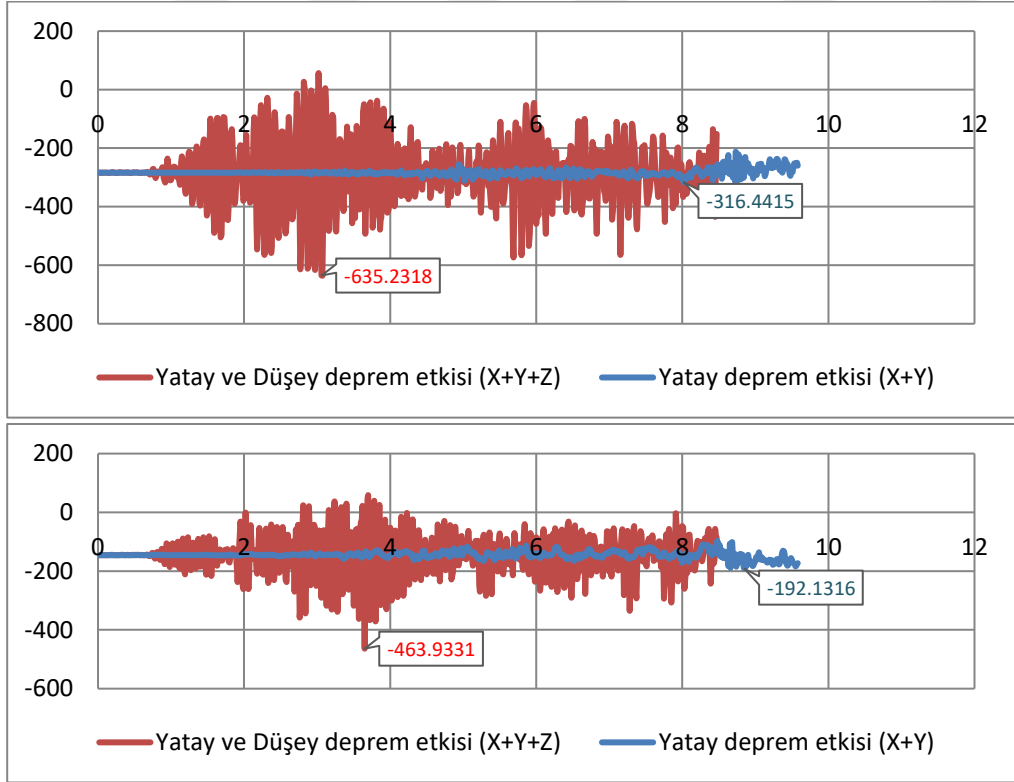
Şekil 4.10: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremin sırasında ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



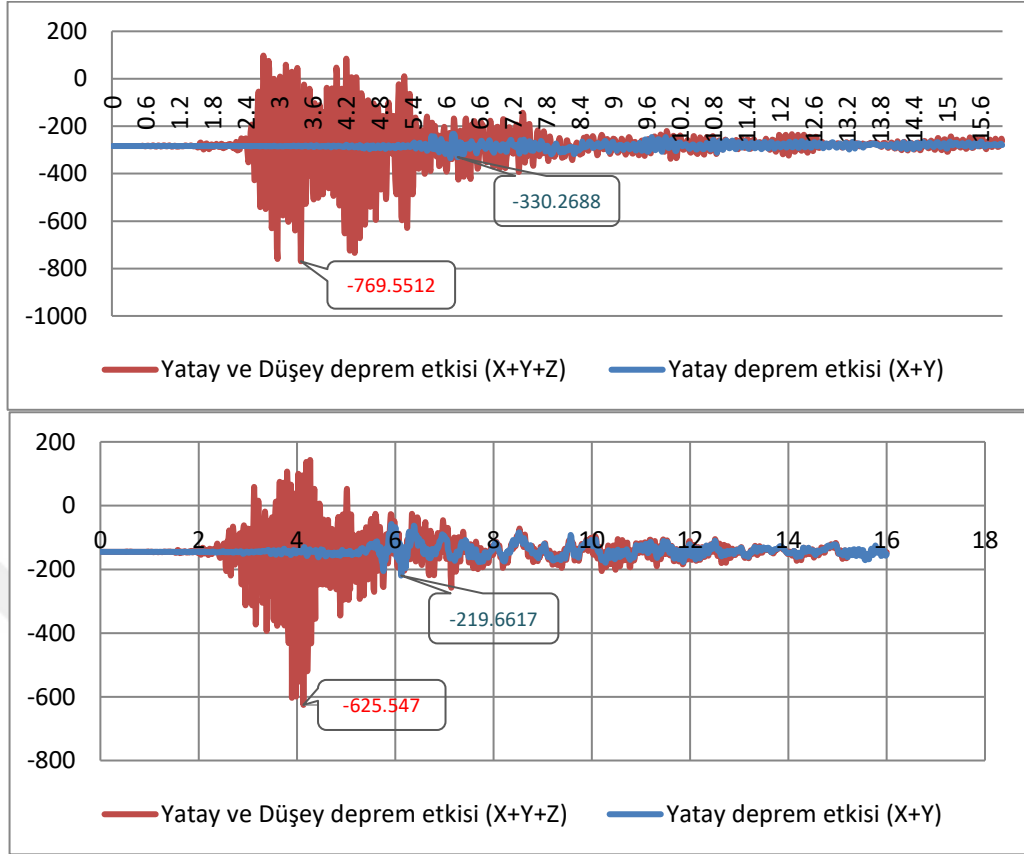
Şekil 4.11: 3 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depremin sırasında ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



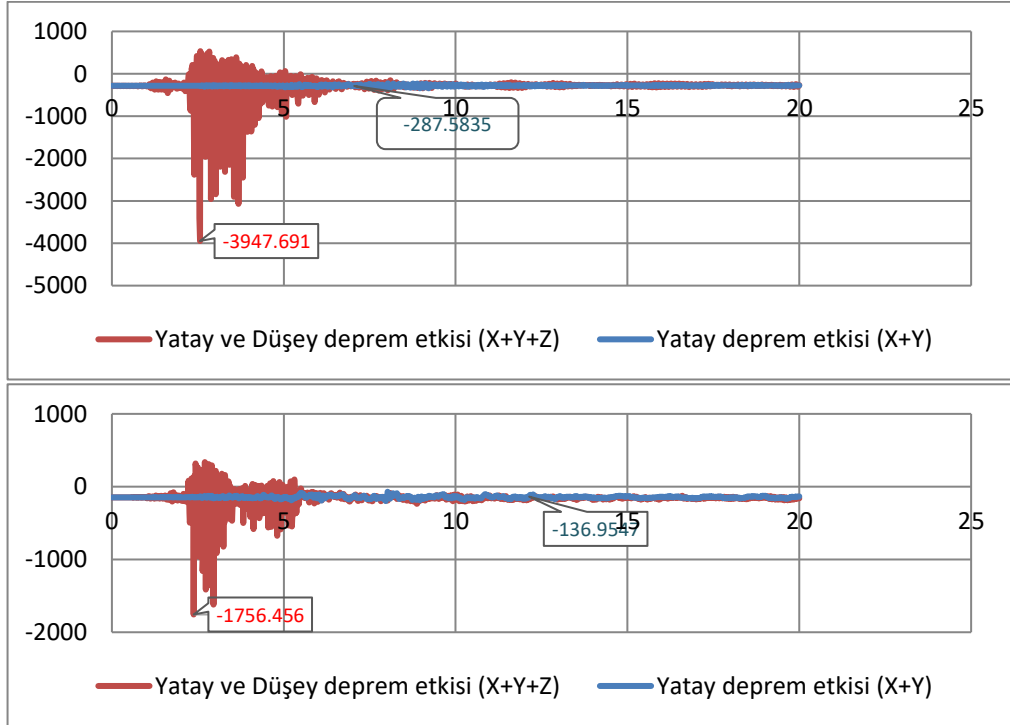
Şekil 4.12: 3 katlı binada Northridge depreminin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



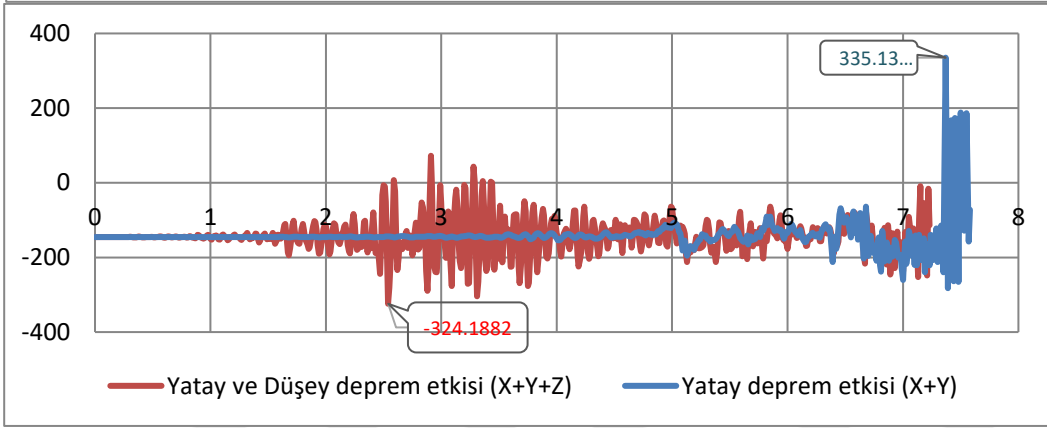
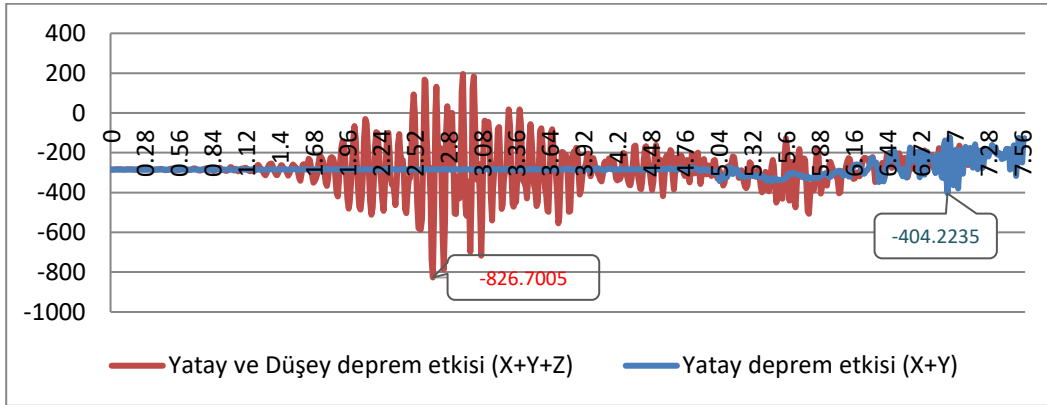
Şekil 4.13: 7 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depreminin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



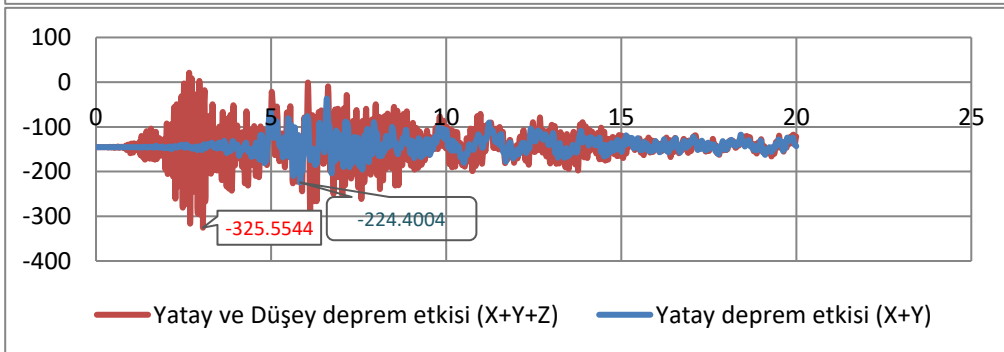
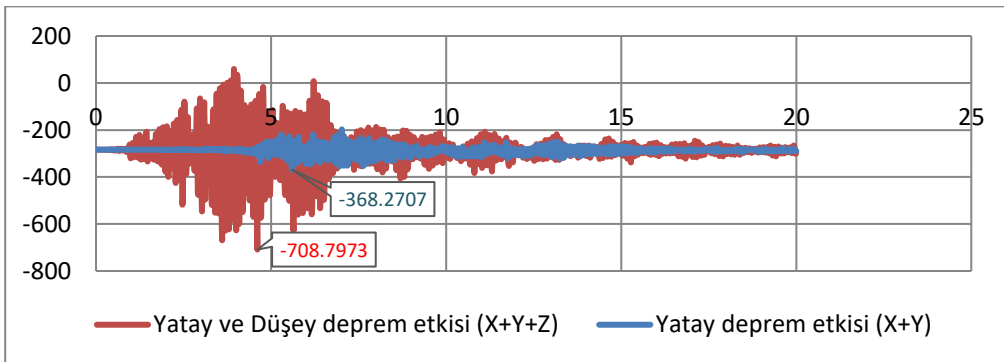
Şekil 4.14: 7 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #5) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



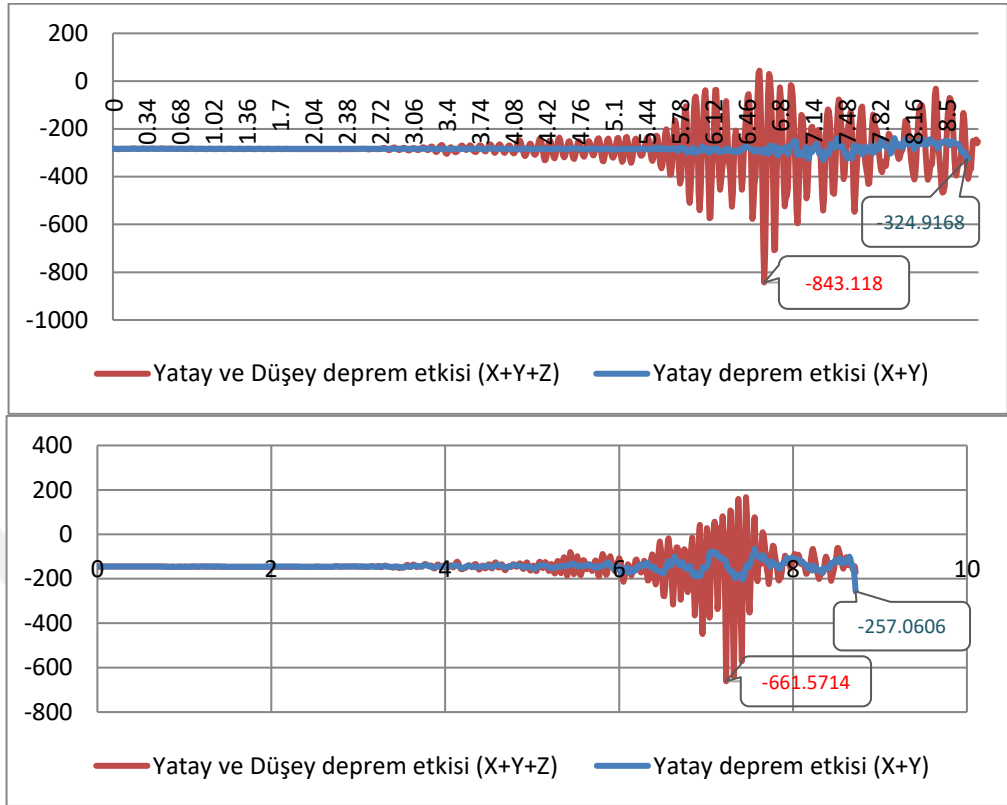
Şekil 4.15: 7 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #6) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



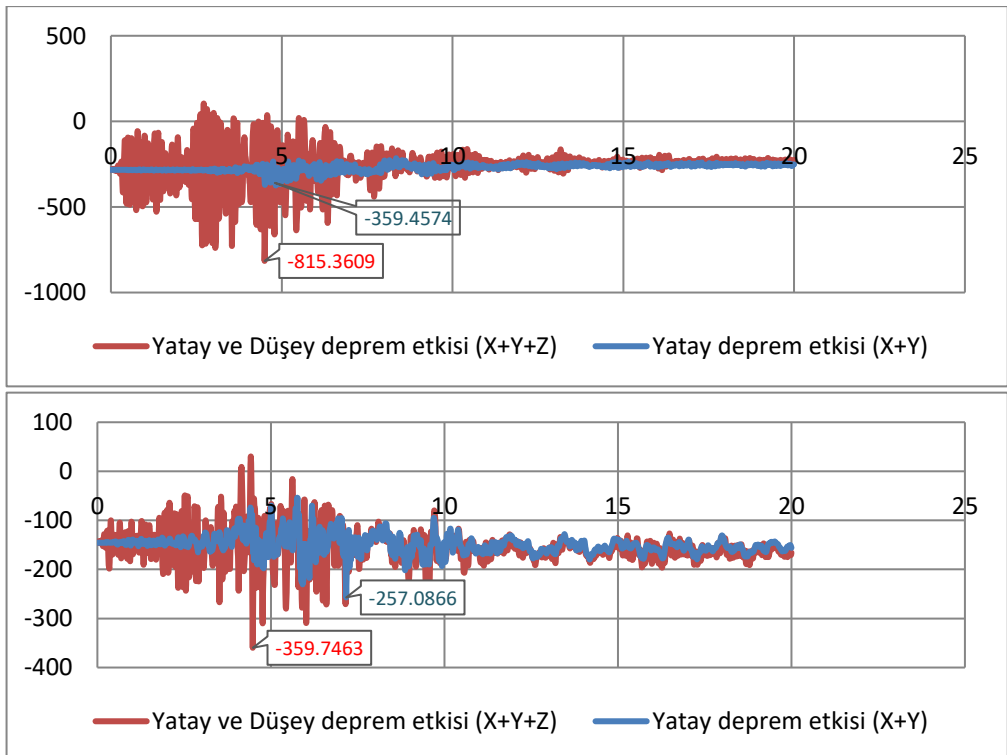
Şekil 4.16: 7 katlı binada Imperial Valley (El Centro Array #7) depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



Şekil 4.17: 7 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremin sırasında ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



Şekil 4.18: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depremin sırasında ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



Şekil 4.19: 7 katlı binada Northridge depremin sırasıyla ortadaki ve köşedeki kolonlara gelen normal kuvvet etkileri.



Çizelge 4.3 – 4.12’te 3 ve 7 katlı binada düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisini gösterilmiştir. Modeller ilk önce yatay bileşenlerine maruz kalmıştır ve sonrada depremin düşey bileşeni de hesaba katılmıştır. Dinamik analiz (Dynamic time-history analysis) sonrasında elde edilen değerler, örnek olarak Imperial Valley (Agrarias) deprem kayıtlardan 3 katlı bina üzerinde, orta kolonlarında eksenel kuvvet değeri deprem öncesi -330.6 kN gösterirken, deprem yatay etkisi sonrasında bu değeri -351.2 kN göstererek yüzde 6.3 artış, yatay artı düşey etkisi sonrasında -553.1 kN değerile yaklaşık yüzde 67.6 artışı göstererek düşey deprem etkisi eklenmesile kolonlardaki eksenel kuvvet değeri yaklaşık yüzde 61.3 artışa sahip olmuştur.

Çizelge 4.3: 3 katlı binada, birinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	4,95	52,5	47,55	
2	Imperial Valley (El Centro Array#5)	11,9	73,3	61,4	
3	Imperial Valley (El Centro Array#6)	6,69	349,2	342,51	
4	Imperial Valley (El Centro Array#7)	5,59	88,38	82,79	100,58
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	13,39	45,75	32,36	
6	Loma Prieta (LGPC)	9,37	93,04	83,67	
7	Northridge	9,95	63,72	53,77	

Çizelge 4.4: 3 katlı binada, ikinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	4,9	61,7	56,8	
2	Imperial Valley (El Centro Array#5)	12,5	84,5	72	
3	Imperial Valley (El Centro Array#6)	4.78	480.68	475.9	
4	Imperial Valley (El Centro Array#7)	8.71	91.7	82.99	127.07
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	9.05	57.76	48.71	
6	Loma Prieta (LGPC)	8.96	99.54	90.58	
7	Northridge	12.7	75.22	62.52	

Çizelge 4.5: 3 katlı binada, üçüncü katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	6.3	67.6	61.3	
2	Imperial Valley (El Centro Array#5)	19.5	90.9	71.4	
3	Imperial Valley (El Centro Array#6)	8.94	651.23	642.29	
4	Imperial Valley (El Centro Array#7)	10.55	99.29	88.74	153.16
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	12.21	65.85	53.64	
6	Loma Prieta (LGPC)	18.63	114.71	96.08	
7	Northridge	15.61	74.28	58.67	

Çizelge 4.6: 7 katlı binada, birinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	6.87	74.49	67.62	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	10.07	89.04	78.97	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	13.56	278.7	265.14	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	23.21	96.45	73.24	106.28
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	17.43	78.49	61.06	
6	Loma Prieta (LGPC)	11.46	120.57	109.11	
7	Northridge	14.55	103.35	88.8	

Çizelge 4.7: 7 katlı binada, ikinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	6.51	84.9	78.39	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	11.14	99.29	88.15	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	15.55	330.1	314.55	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	24.18	108.14	83.96	122.14
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	18.7	88.2	69.5	
6	Loma Prieta (LGPC)	12.74	133.01	120.27	
7	Northridge	14.07	114.19	100.12	

Çizelge 4.8: 7 katlı binada, üçüncü katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	7.74	93.83	86.09	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	12.59	111.32	98.73	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	17.35	436.44	419.1	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	24.8	120.16	95.36	145.01
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	21.23	97.34	76.11	
6	Loma Prieta (LGPC)	13.98	144.07	130.09	
7	Northridge	17.2	126.74	109.54	

Çizelge 4.9: 7 katlı binada, dördüncü katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	9.17	102.05	92.88	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	15.04	126.01	110.97	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	19.06	449.91	430.85	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	23.74	131.07	107.33	155.04
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	23.84	104.43	80.59	
6	Loma Prieta (LGPC)	15.97	156.63	140.66	
7	Northridge	20.94	142.91	121.97	

Çizelge 4.10: 7 katlı binada, beşinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	10.25	111.82	101.57	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	17.06	142.59	125.53	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	19.47	683.4	663.93	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	21.24	150.93	129.69	199.08
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	26.37	114.95	88.58	
6	Loma Prieta (LGPC)	18.33	168.66	150.33	
7	Northridge	25.29	159.22	133.93	

Çizelge 4.11: 7 katlı binada, altıncı katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

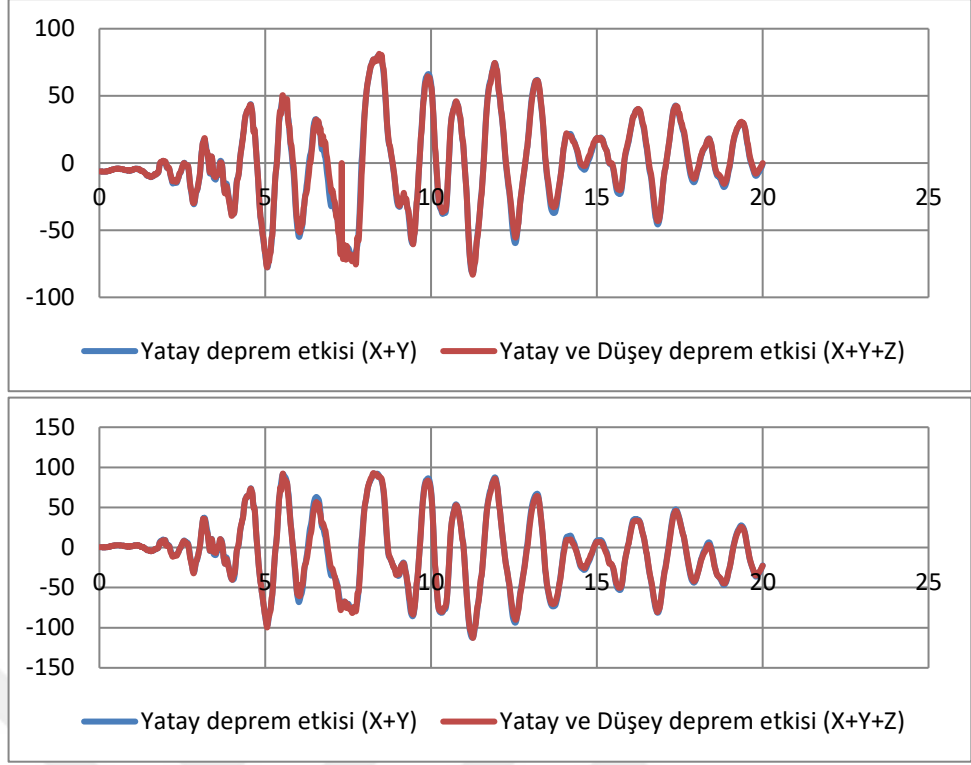
S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	11.84	119.98	108.14	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	16.48	160.69	144.21	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	21	985.25	964.25	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	23.14	176.64	153.5	253.44
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	27.29	126.38	99.09	
6	Loma Prieta (LGPC)	17.36	183.66	166.3	
7	Northridge	27.88	166.43	138.55	

Çizelge 4.12: 7 katlı binada, yedinci katta düşey deprem etkisinin orta kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi

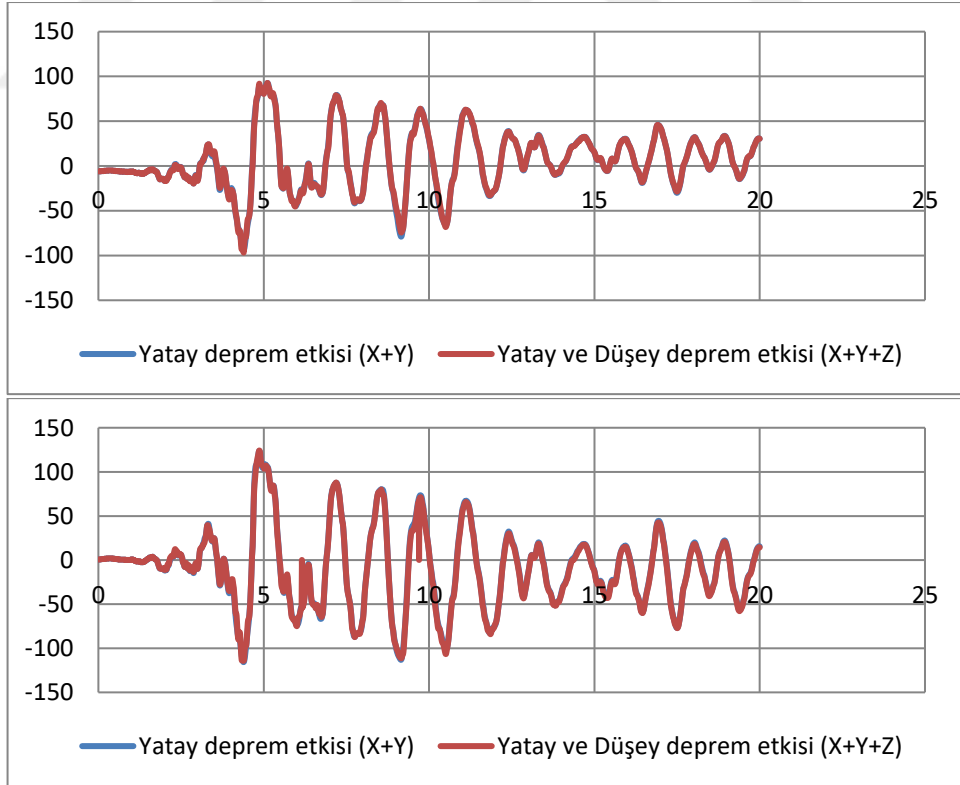
S/N	Deprem adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Imperial Valley (Agrarias)	11.51	124.14	112.63	
2	Imperial Valley (El Centro Array #5)	18.14	171.17	153.03	
3	Imperial Valley (El Centro Array #6)	22.98	1291.02	1268.04	
4	Imperial Valley (El Centro Array #7)	42.44	191.3	148.86	305.52
5	Loma Prieta (Gilroy Array #3)	29.77	149.76	119.99	
6	Loma Prieta (LGPC)	16.34	197.09	180.75	
7	Northridge	31.99	187.3	155.31	

4.4.2 Düşey deprem etkisinin kolon kesme kuvvetine etkisi

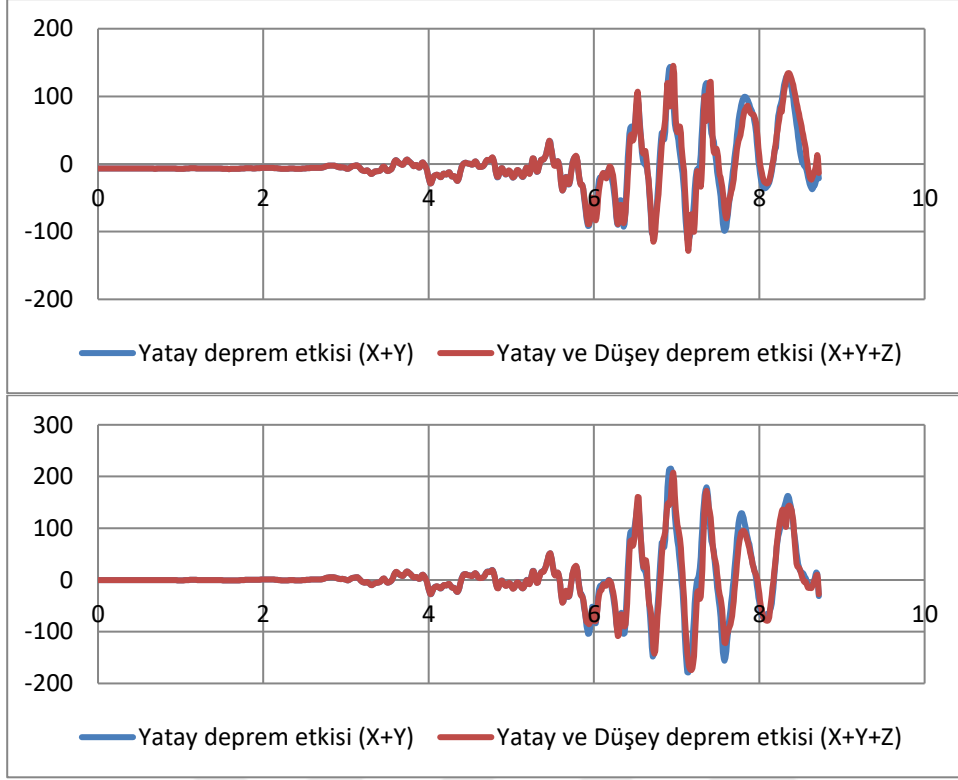
Analizler sonucunda ele alınan deprem kayıtları için, kolon kesme kuvveti değerlerinde büyük bir değişiklik meydana gelmemiştir. Bu husus ile ilgili iki grafik Şekil 4.20 ve 4.21’de 3 katlı bina kolonları için Imperial Valley (Agrarias) ve Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremlerinin yatay ve düşey bileşenleri için ve Şekil 4.22 ve 4.23’te 7 katlı bina kolonları için Loma Prieta (LGPC) ve Northridge depremlerinin yatay ve düşey bileşenleri için gösterilmiştir.



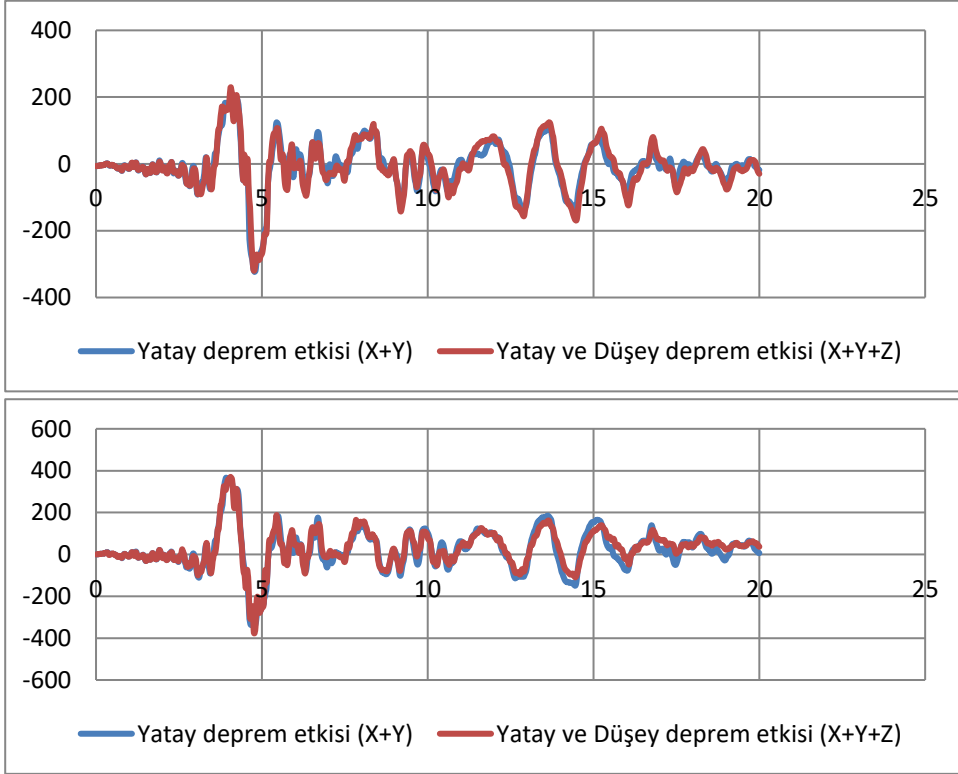
Şekil 4.20: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.



Şekil 4.21: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.



Şekil 4.22: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.



Şekil 4.23: 7 katlı binada Newhall – Fire Sta depreminin sırasıyla köşedeki ve ortadaki kolonlara gelen kesme kuvvet etkileri.

4.4.3 Kolonlardaki kesme kuvvet kapasitesi

Kolonların kesme kuvveti kapasitesi, ACI 318 Yönetmeliği esas alınarak ve eksenel yük değişimine bağlı olacak şekilde hesaplanmıştır [21]. Kolonların kesme kuvveti kapasitesi, ACI 318 Yönetmeliği'nde:

$$V_n = V_c + V_s \quad (4.1)$$

olarak verilmiştir. Burada; V_c , beton tarafından sağlanan kesme kuvveti ve V_s , kayma donatısı tarafından sağlanan kesme kuvveti göstermektedir. Beton tarafından sağlanan kesme kuvveti, V_c , (4.2) bağıntısı ile verilmiştir.

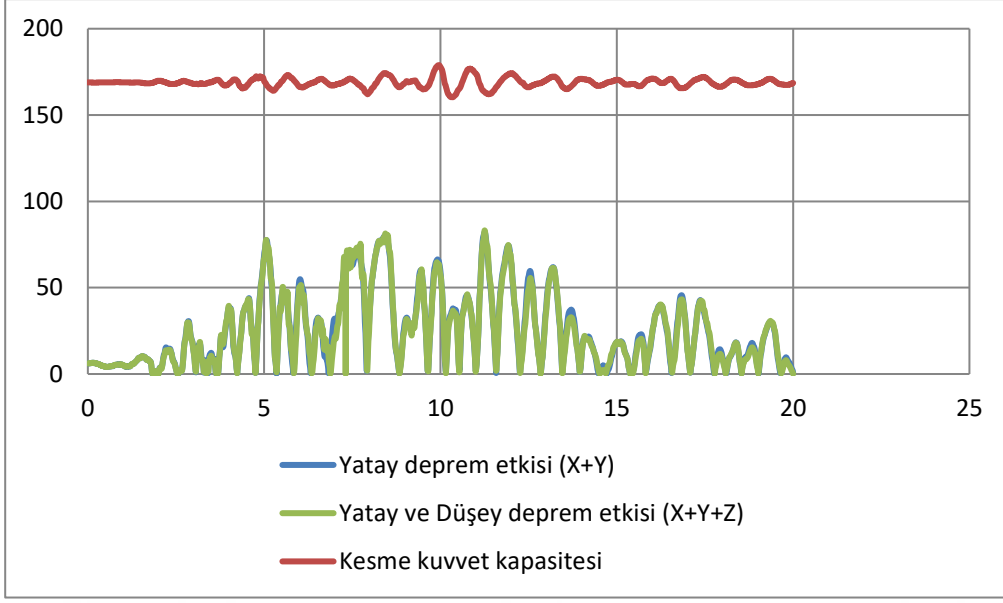
$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{13.8 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \quad (4.2)$$

Burada, N_u , kolondaki eksenel basınç kuvvetini, A_g , kolon enkesit alanını, f'_c , beton basınç dayanımını, b_w kolon genişliğini ve d etkili derinliği göstermektedir. Kayma donatısı tarafından sağlanan kesme kuvveti, V_s ise (4.3) bağıntısı ile verilmiştir.

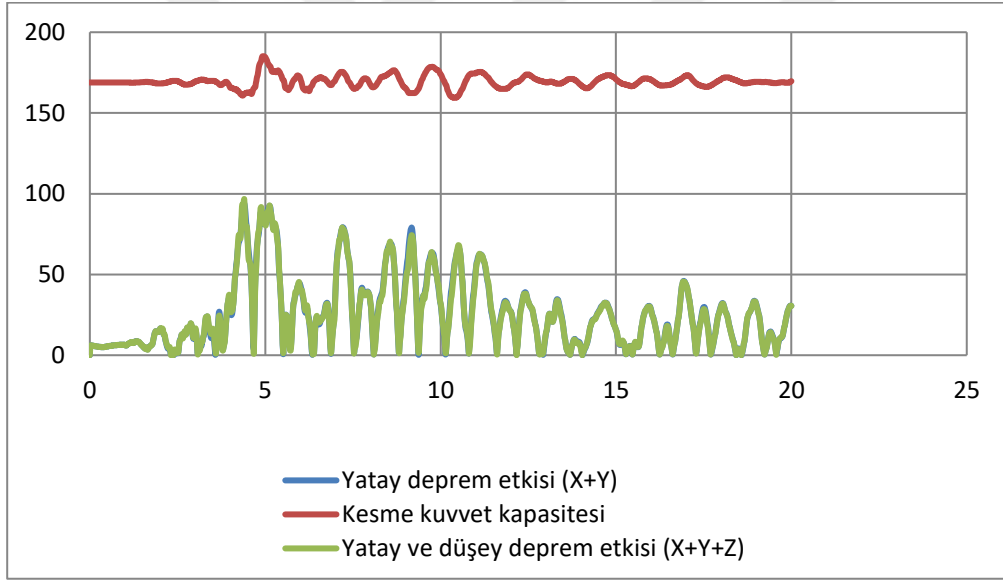
$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4.3)$$

A_v , toplam enine donatı alanını, f_y , çelik akma dayanımını ve s , etriye aralığını göstermektedir.

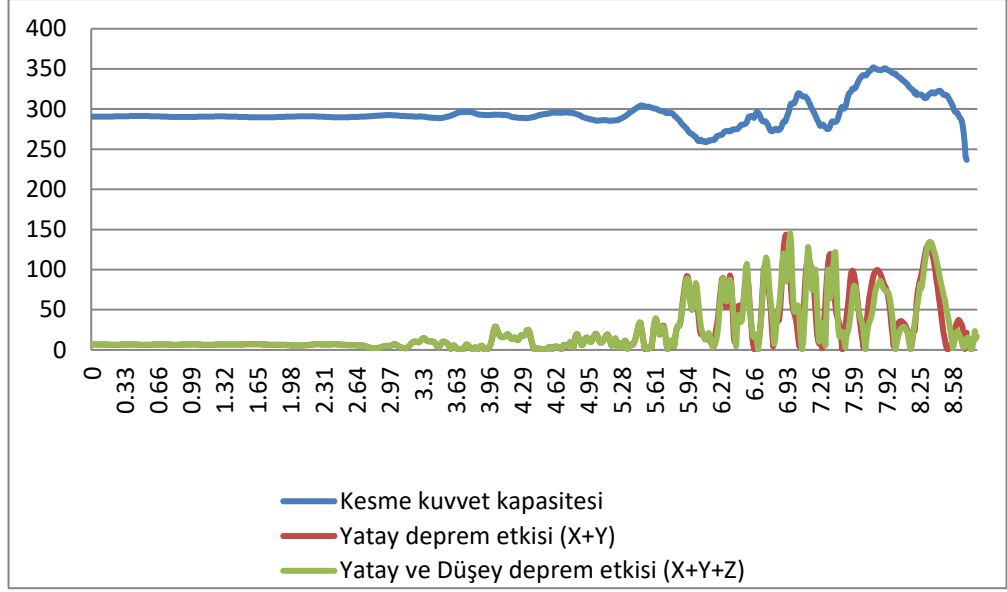
Şekil 4.24 ve 4.25'te 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) ve Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremlerinin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki kesme kuvvet etkisi ve (4.1) bağıntısı ile hesaplanan kolon kesme kuvveti kapasitesi ve Şekil 4.26 ve 4.27'de 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) ve Northridge depremlerinin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki kesme kuvvet etkisi ve (4.1) bağıntısı ile hesaplanan kolon kapasitesi gösterilmiştir.



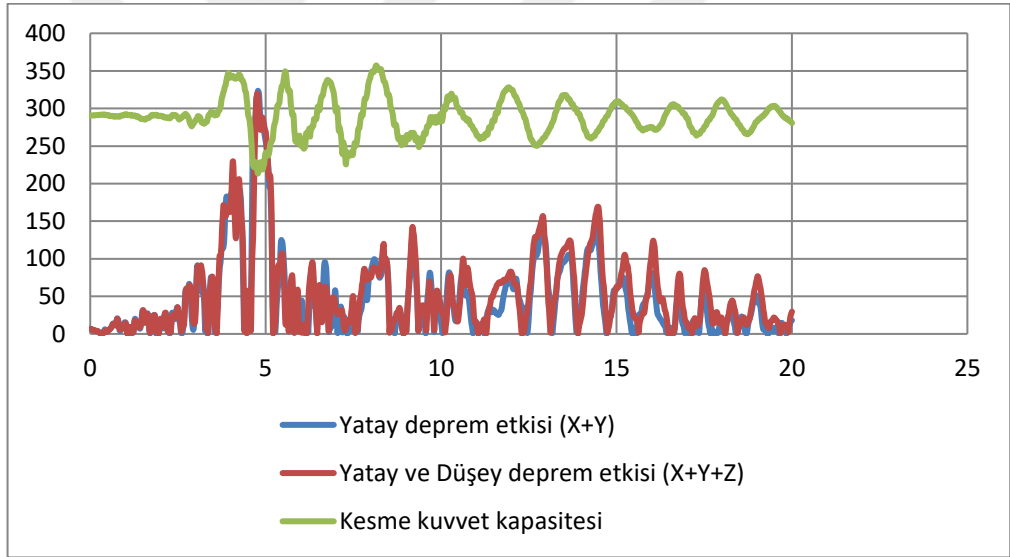
Şekil 4.24: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.



Şekil 4.25: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.



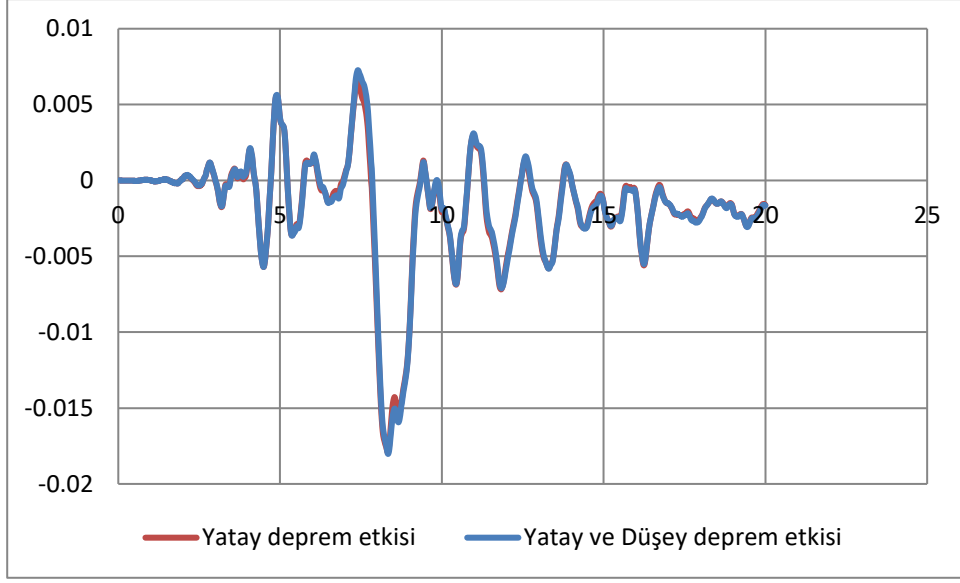
Şekil 4.26: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.



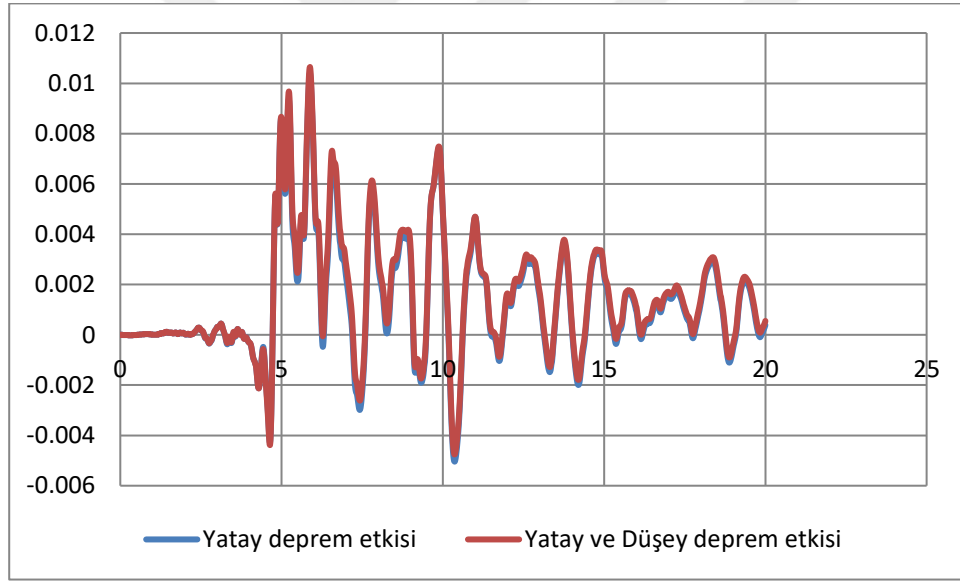
Şekil 4.27: 7 katlı binada Northridge depreminin köşedeki kolonlara gelen kesme kuvvet etkisi ve kapasitesi.

4.4.4 Kat deplasmanı

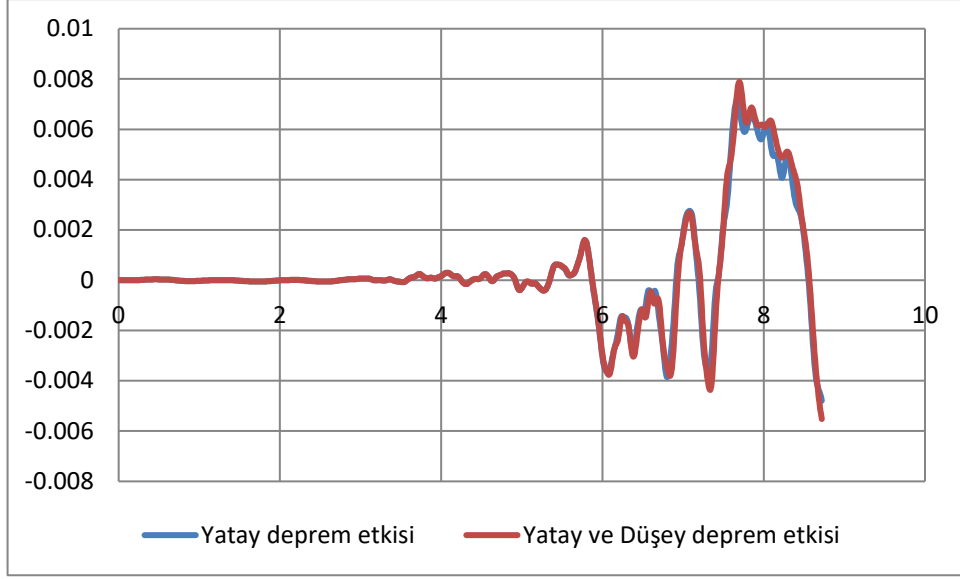
Analizler sonucunda, düşey deprem etkisinin, kat ötelemelerinde ve düğüm noktası yer değiştirmelerinde önemli bir değişime sebep olmadığı gözlenmiştir. 3 ve 7 katlı binalar için, düğüm noktası yer değiştirmelerinin deprem kaydının yatay ve düşey bileşenlerine göre değişimi Şekil 4.28 ila 4.31’de sunulmuştur. Şekillerden de görüleceği üzere, depremin düşey bileşeninin de dikkate alınması durumunda önemli bir fark gözlenmemektedir.



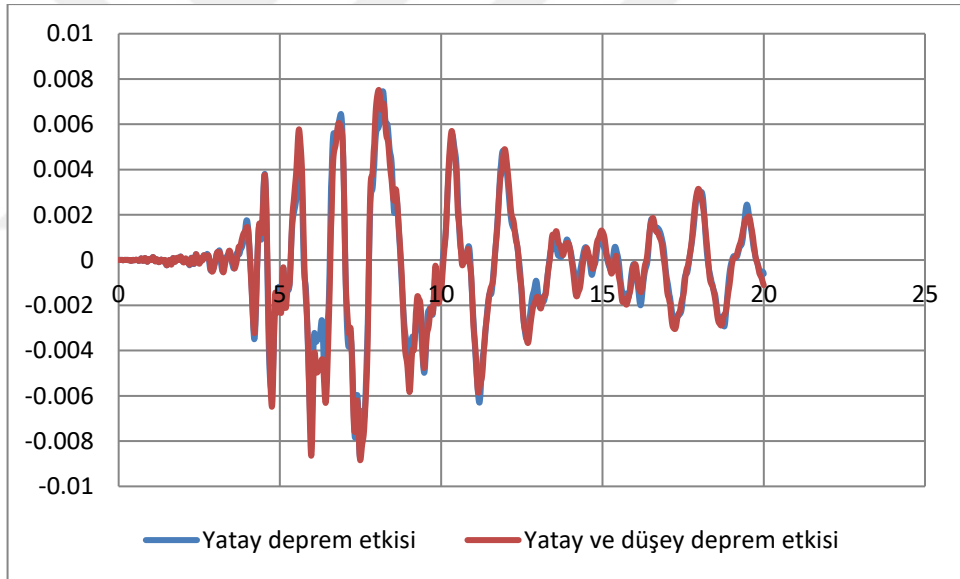
Şekil 4.28: 3 katlı binada Imperial Valley (Agrarias) depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.



Şekil 4.29: 3 katlı binada Loma Prieta (Gilroy Array #3) depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.



Şekil 4.30: 7 katlı binada Loma Prieta (LGPC) depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.



Şekil 4.31: 7 katlı binada Northridge depremi sonrası köşedeki kolonunu gelen kat deplasman etkisi.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çok katlı yapılarda düşey deprem etkisinin yapısal davranış üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla, simetrik ve düzenli bir plana ve farklı kat adedine sahip iki betonarme binanın zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Bu amaçla önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, ele alınan yapılar SeismoStruct programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Düşey deprem etkisinin daha iyi irdelenebilmesi amacıyla düşey ivme / yatay ivme oranı yüksek olan yedi deprem kaydı kullanılarak, zaman tanım alanında analizler tamamlanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 3 ve 7 katlı binaların analizlerin sonucunda ve şekil 4.6 ila 4.19'de gösterildiği gibi, yatay ve düşey deprem bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkileri incelenmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere, hem orta hem de köşe kolonlardaki normal kuvvet değerlerinde büyük bir değişim gözlenmektedir. Hatta, deprem bileşeninin bazı anlarında kolonlardaki normal kuvvet basınçtan çekmeye dönebilmektedir.
- Şekil 4.20 ila 4.23'te gösterildiği gibi, analizler sonucunda ele alınan deprem kayıtları için, kolon kesme kuvveti değerlerinde büyük bir değişiklik meydana gelmemiştir.
- Hem üç hem de yedi katlı yapının analizlerinin sonucunda, düşey deprem etkisinin, kat ötelemelerinde ve düğüm noktası yer değiştirmelerinde önemli bir değişime sebep olmadığı gözlenmiştir. Hatta düşey deprem etkisinin bazı durumlarda, yatay kat ötemelerini sınırladığı görülmüştür.
- Bu tez çalışması, betonarme binaların üzerinde düşey deprem etkisinin göstermesi ve düzenli iki örnek bina için yapılmış olup, gelecekteki çalışmalarda, farklı kat sayısı ile ve farklı düzensizliklere sahip binalarda, düşey deprem bileşeninin yapısal davranışa etkisinin araştırılması önemlidir.



KAYNAKLAR

- [1] **Bolt, A.B.**, (2003). Earthquakes, 5th edition, W.H. freeman & company press, Berkeley California.
- [2] **Url-1**< <http://www.iste.edu.tr/haber-merkezi/2017/07/17/415>>, 17.07.2017.
- [3] **Kaplan, H., Yılmaz, S., Cetinkaya N., Atımtay E.**, (2009). “Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls”.
- [4] **Papazoglou, A. J., Elnashai, A. S.**, (1996). “Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion”
- [5] **Vasifoğlu, C.**, (2001). “Hasarlı binalarda düşey deprem etkisi ve bir güçlendirme örneği”.
- [6] **Soydan, C.**, (2001). “Binalarda düşey deprem etkisi orta hasarlı bir binaya uygulanması”.
- [7] **Doğan, E.**, (2004). “Binalarda Düşey Deprem Etkisinin Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile incelenmesi”.
- [8] **Di Sarno, L., Elnashai, A. S., Manfredi, G.**, (2011). Assesment of RC columns subjected to horizontal and vertical ground motions recorded during the 2009 L’Aquila (italy) earthquak”.
- [9] **Eren, G., Beyan, K.**, (2017). “Düşey deprem etkisinde tipik bir binada gözlenen performansın tartışılması”.
- [10] **Agarwall, P., Shrikhande, M.**, (2014). “Earthquake Resistant Design of Structures, 13th Printing, Rajkamal Electronic Press, New Delhi”.
- [11] **Darılmaz, K.**, (2014). “Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş”
- [12] **Url-2**<<https://www.usgs.gov/faqs/moment-magnitude-richter-scale-what-are-different-magnitude-scales-and-why-are-there-so-many>>, 15.12.2018
- [13] **Alaghebandian R, Shiohara H, Otani S.**, (1998). “Non-linear response of RC framed buildings subjected to horizontal and vertical seismic motion”. In: Annual meeting of AIJ. p.11–12.
- [14] **TDY-2007**, Türk Deprem Yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [15] **IS:** (1893), (2000), ‘Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures’, New Delhi.
- [16] **EUROCODE 8**, Yapıların Depreme Göre Tasarım Yönetmeliği.
- [17] **UBC**, Uniform Building Code, 1997, USA.
- [18] **NZS1170.5**, (2004), Structural Design Actions Part 5: Earthquake Actions - New Zealand Standards.
- [19] **TBDY-2018**, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [20] **SeismoSoft** (2007) SeismoStruct - A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures [online]. Available from URL-5< <http://www.seismosoft.com>>
- [21] **ACI 318-89**, “American Concrete Institute 318-89”



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad :

Mehran ALIZADEH

Doğum yeri ve Tarihi :

Herat Afganistan / 1992

E-posta :

mehran.alizadeh2010@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU :

Lisans :

2014, Jami Herat University / İnşaat Müh.

