

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DÜZENLİ BİR BETONARME BİNADA DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN
YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serik JAKAYEV

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

EYLÜL 2018

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DÜZENLİ BİR BETONARME BİNADA DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN
YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serik JAKAYEV

(Y1413.090006)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Müberra Eser AYDEMİR

EYLÜL 2018



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 Y1413.090006 numaralı öğrencisi Serik JAKAYEV' ın "DÜZENLİ BİR BETONARME BİNADA DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 10.08.2018 tarih ve 2018/15 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *başarılı* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 05/09/2018

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

2) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Cem AYDEMİR

3) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Güray ARSLAN

Müberra Eser
.....

Cem Aydemir
.....

Güray Arslan
.....

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

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Düzenli Bir Betonarme Binada Düşey Deprem Bileşeninin Yapısal Davranışa Etkisi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (05/09/2018)

Aday / İmza

Serik JAKAYEV

Sevgili Eşim ve kızım Tomiris'e

ÖNSÖZ

Her şeyden önce bu tez çalışmamı hazırlayıp sunarak, depremin yapılar üzerine olan etkisini incelemede az da olsa katkıda bulunmaktan gurur duyuyorum. Adı geçen tez çalışmamın konusu “Düzenli Bir Betonarme Binada Düşey Deprem Bileşeninin Yapısal Davranışa Etkisi”dir.

Tez araştırmasının başından sonuna kadar destekte bulunan, yön gösteren saygı değer hocalarım Doç. Dr. Müberra Eser AYDEMİR ve Dr. Cem AYDEMİR’e, İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü hocalarına ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerde bulunan aileme, sevgili eşim Yeliz JAKAYEVA’ya, metin düzenleme konusunda yardım eden kardeşim Yeşim ÇAKAR’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan “Seismostruct” programının akademik çalışmalar için lisansını sunan “Seissoft” ailesine ve deprem kayıtlarını tüm araştırmacılara karşılıksız sunan “Pacific Earthquake Engineering Center” ailesine sonsuz teşekkürler.

Eylül 2018

Serik JAKAYEV

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Literatür Araştırması	1
2. MODELİN TASARLANMASI.....	5
2.1 Amaç	5
2.2 Modelin Özellikleri	5
2.2.1 Malzeme bilgisi	8
2.2.2 Yapı elemanlarının donatı seçiminin Sta4Cad bilgisayar programı yardımıyla hesaplanması	9
2.2.2.1 Seçilmiş olan kolon donatı bilgileri ve kontrol edilmesi	10
2.2.2.2 Seçilmiş olan kiriş donatı bilgileri ve kontrol edilmesi	12
3. MODEL ANALİZİNDE KULLANILACAK HESAP YÖNTEMİ VE DEPREM KAYITLARI.....	15
3.1 DBYBHY-2007'ye göre Hesap Yönteminin Belirlenmesi	15
3.2 Seismostruct Analiz Programında Kullanılan Bazı Kabuller.....	16
3.3 Deprem Kayıtları Hakkında Bilgiler	19
4. YATAY VE DÜŞEY DEPREM BİLEŞENLERİNİN YAPIYA ETKİSİ.....	21
4.1 Yatay (X+Y) ve Yatay Artı Düşey (X+Y+Z) Deprem Bileşenleri Etkisi Analizinde Yapı Elemanlarının Davranışı. Eksenel, Kesme Kuvveti ve Deplasman Değişimi	21
4.1.1 Deprem kayıtlarının kolonlardaki etkisi.....	21
4.1.1.1 Kobe depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	22
4.1.1.2 Düzce depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	23
4.1.1.3 Northridge depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	24
4.1.1.4 Manjil-Rudbar depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	25
4.1.1.5 Loma Prieta depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki eksenel kuvvet değişimine etkisi	26
4.1.1.6 İmperial Valley (Agrarias) depreminin yatay ve düşey	

bileşenlerinin kolonlardaki aksenal kuvvet değişimine etkisi	27
4.1.1.7 İmperial Valley (El Centro #6) depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki aksenal kuvvet değişimine etkisi.....	28
4.1.1.8 Kobe depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki kesme kuvvet değişimine etkisi.....	30
4.1.1.9 Northridge depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki kesme kuvvet değişimine etkisi	31
4.1.2 Deprem kayıtlarının kirişlerdeki etkisi.....	32
4.1.2.1 Kobe depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kirişlerdeki kesme kuvvet değişimine etkisi.....	32
4.1.3 Kat ötelemeleri ve deplasman.....	33
4.1.4 Kolondaki kesme kuvvet kapasitesi.....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	41

KISALTMALAR

ACI : American Concrete Institute

KN : KiloNewton

MPa : MegaPascal

M.Ö. : Miladiden önce

PEER : Pacific Earthquake Engineering Research

PGA : Peak Ground Accelleration

TDY-DBYBHY : Türk Deprem Yönetmenliği-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmenlik

TS : Türk Standardı

ZTADOH : Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A _o)	2
Çizelge 2.2 : Bina Önem Katsayısı (I)	4
Çizelge 2.3 : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	11
Çizelge 2.4 : Beton Mekanik Özellikleri	14
Çizelge 2.5 : Donatı Çeliği Mekanik Özellikleri	16
Çizelge 2.6 : Kolon Boyutları ve Donatı Bilgileri	18
Çizelge 2.7: Kiriş Boyutu ve Donatı Bilgileri	25
Çizelge 3.1: Seçilmiş Deprem Kayıtları	25
Çizelge 4.1 : Düşey Deprem Etkisi Eklenmesi Sonrası Merkez Kolonlardaki Eksenel Kuvvet Değişimi	30

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Düzenli 5 Katlı Betonarme Yapı	2
Şekil 2.2 : Yapı Genel Bilgileri	3
Şekil 2.3 : Kolon Donatısı	5
Şekil 2.4 : Kiriş Sol Mesnet Donatısı	7
Şekil 3.1 : Kolon ve Kiriş İnelastisite Opsiyonu Seçimi	8
Şekil 3.2 : Düğüm Noktalarında Kütle Tanımlanması	9
Şekil 3.3 : Sisteme Sönüm Eklenmesi	16
Şekil 3.4 : Bilineer Çelik Modeli	16
Şekil 4.1 : Model Analizinde Kullanılacak Seçilmiş Kolonlar.....	18
Şekil 4.2 : Kobe Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi	25
Şekil 4.3 : Düzce Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.4 : Northridge Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.5 : Manjil-Rudbar Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.6 : Loma Prieta Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.7 : İmperial Valley (Agrarias) Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.8 : İmperial Valley (El Centro Array#6) Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.9 : Kobe Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Kesme Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.10 : Northridge Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Kesme Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.11 : Model Analizinde Kullanılacak Seçilmiş Kirişler.....	25
Şekil 4.12 : Kobe Depreminin Sırasıyla B101_1, B106_1 ve B111_1 Numaralı Kirişlere Gelen Kesme Kuvvet Etkisi.....	25
Şekil 4.13 : Northridge Depremi Sonrası C101_1 Numaralı Kolonun Kat Deplasmanı.....	25
Şekil 4.14 : Kobe Depreminin C113_1 Numaralı Kolona Gelen Kesme Kuvvet Etkisi ve Kapasitesi.....	25

DÜZENLİ BİR BETONARME BİNADA DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında depremin düşey bileşeninin yapısal davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla analitik bir çalışma yapılmıştır.

Tezin ilk bölümüne giriş bölümü olarak başlanmıştır. Bu bölümde genel olarak çalışmanın kapsamı ve literatür araştırması kısaca anlatılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise yapısal modelin tasarlanması üzerinde çalışılmıştır. Tez çalışmasında kullanılacak yapısal model, beş katlı, düzenli ve simetrik olacak şekilde betonarme okul binası olarak DBYBHY-2007'ye göre tasarlanmıştır. Ayrıca, yapısal modelde kullanılan malzeme hakkında da bilgi verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise analizde kullanılacak hesap yöntemi ve deprem kayıtları hakkında bilgiler verilmiştir. Tez çalışmasının amacı depremin düşey bileşeninin etkilerini, yatay bileşen etkileriyle kıyaslayarak yapısal parametreleri ne ölçüde değiştirdiğini görmektir. Tez çalışmasında, düşey deprem etkisi şiddetli olan yedi deprem kaydı kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan program Seismostruct yazılımı olup, üç boyutlu olarak modellenen beş katlı betonarme binayı depremin yatay bileşenleri (x+y) etkilemiştir. Daha sonra yatay bileşenlere ek olarak düşey bileşenler de eklenmiş olup, analizler tekrarlanmıştır (x+y+z). Analizlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile yürütülmüştür.

Dördüncü bölümde hazırlanmış model çözümlemesi yapılmıştır. Yatay ve yatay+düşey deprem etkilerinin yapısal davranışa etkilerini belirleyebilmek için referans kolonlar ve kirişler seçilmiştir. Seçilmiş kolonlar ve kirişlerin eksenel kuvvet, kesme kuvvetleri, katlararası ötelemeleri ve toplam deplasman değerler sonuçları incelenmiştir. Dördüncü bölümde herbir deprem kaydı için bulunan sonuçlar grafik ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

Beşinci ve son bölümde ise sonuçlar kısaca özetlenmiştir. Analiz sonrasında elde edilmiş veriler ışığında, depremin düşey bileşeninin özellikle kolonlardaki eksenel kuvvetlerin artışına ciddi bir miktarda etki ettiği gözlemlenmiştir. Kolon kesme kuvvetlerinde depremin düşey bileşeninin eklenmesiyle önemli miktarda artışlar gözlenirse de yaklaşık yüzde on beş oranında artış kaydedilmiştir. Kat ötelemelerinde ve toplam yapısal deplasmanda ise belirgin değişiklikler kayıt edilmemiştir.

Anahtar Kelimeler : *Deprem, Depremin düşey bileşeni, , Normal kuvvet, Kesme kuvvet, Kat ötelemesi.*

EFFECT OF THE VERTICAL EARTHQUAKE COMPONENT ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF A REGULAR REINFORCED CONCRETE BUILDING

ABSTRACT

Since human existence, mankind began to create a healthy habitat and on this way faced with many obstacles. First of all, most serious obstacle is an earthquake. As time passes, the world evolves, people had to create different structures that could serve not only for life, but also for time. After the number of people multiplied, and began to live together, cities and megacities were built. For this purpose, were built new types of buildings. The rise of prices on land in large cities contributed to the construction of skyscrapers, and for this reason, civil engineers had to investigate even more about earthquakes.

In the world it is considered that the vertical component of the earthquake is not particularly dangerous, therefore in the whole world in an engineering calculations attention is allocated to the horizontal force of earthquake. However, in some last earthquake results noted that the vertical component plays an important role in the destruction of structures. Therefore, this analytical study also has been carried out in the direction of vertical component of earthquake.

This thesis consists of five parts. First part is introduction. In introduction were explained shortly about a scope of work and literature search.

Second part of thesis is model design. In this part were explained about a model which will use in this work. The virtual model which designed as educational building was created with the help of computer programs. The model consists of five floors and has a symmetrical shape. The height of floors is 3 meters and distance between the columns is the same everywhere six meters. The static calculations of the building were calculated by the computer program Sta4-Cad and static design standard is TS-500, earthquake standard is TDY DBYBHY-2007. In this part of thesis were noted also about materials and characteristics of materials which used in this study. As the program of static design is not randomly chosen by Sta4-Cad, when choosing this program, it allowed to use Turkish standards. More on this part are given tables of reinforcement columns and beams.

Third part of thesis dedicated to calculation method and earthquake records used in model analysis. In this section was selected "Dynamic time-history method" as calculation method. In an earthquake standard (TDY DBYBHY-2007) there are some requirements to the calculation method. In this study, for the analysis were first used only the horizontal (x+y) forces of the earthquake, and then the vertical (x+y+z) force was added.

In this study were selected seven earthquake records from PEER database and these earthquakes like: Duzce, Imperial Valley, Kobe, Manjil-Rudbar, Northridge. About selected earthquakes are informed in the third part of this study. These earthquake records were not accidentally chosen because they have not only powerful horizontal component but the vertical component has destructive power too.

In the fourth part of this study noted about the effect of horizontal and vertical earthquake components on the structure. This part of the work is considered to be the most important because here analyzes were carried out using the "Seismostruct" computer program. The purpose of the study is to analyze the behavior of the structure during the influence of the horizontal plus the vertical component of the earthquake. To determine the difference were

chosen the axial and shear forces, story drifts and total displacement of the column and beams. Each earthquake record was applied to the structure one by one with horizontally and horizontally plus vertically component. Results were shown in table form.

Last fifth part of the thesis is conclusion part. As a result, when the horizontal plus vertical components influence the building, the axial forces in the columns, especially in the middle columns, have a big difference. Although the shear forces did not show a significant increase in the columns, the difference in one of the seven earthquake records was fifteen percent. No changes were recorded in the shear forces in the structural beams. No significant changes have been found in displacement and story drifts too.

It is difficult to make any proposals because the volume of analytical work carried out in this thesis are not large. But the axial forces of the column has changed with the appearance of vertical components. Therefore, in engineering calculations should to give a proper place to the vertical forces of the earthquake.

Keywords : *Earthquake, Vertical component, Horizontal Component, Axial force, Shear force, Story drift, Displacement.*

1. GİRİŞ

Insanoğlu varlığından itibaren kendine sağlam yaşam ortamı dzenlemeye başlamakla birlikte birçok engellerle karşı karşıya gelmiştir. Bu engellerin yapılar için en şiddetlisi olarak deprem ilk sırada yer almıştır. ağlar geçtikçe, dnya geliştikçe, insanlar sadece yaşam için değil, zamana uygun şartlarda hizmet edebilecek çeşitli yapılar inşaa etmek zorunda kalmıştır. İnsanların sayısı çoğalıp toplu yaşama geçildikten sonra kentler, megakentler meydana gelmiştir. Bundan mtevellit farklı amaçlarda hizmet gosteren yapılar inşaa edildi. Megakentlerde arsa değerlerinin yukselmesi ile birlikte başarının simgesi olarak gokdelenler devri başlamış olup, bu nedenle inşaat mhendisleri deprem davranışlarını daha fazla incelemek zorunda kalmışlardır.

Dnya genelinde depremin etkisi olarak yatay deprem etkisinin daha çok etkili olduğu gızlemlenerek kabul olunduğu için depremin dışey etkisine çok fazla değer verilmemiştir. Ama bazı deprem sonuçlarında yapıların yıkılmasında depremin dışey etkisinin önemli rol oynadığı gızlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasının konusu depremin dışey bileşenleri hakkında olup, analitik çalışma o doğrultuda gelişecektir.

1.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Yukarıda bahsedildiği gibi bazı deprem sonuçlarında depremlerin dışey bileşenleri yatay bileşenleri kadar belki de daha şiddetli davranabilirler. Bu yzden son 30 yılda depremin dışey bileşen davranışları daha fazla araştırılmıştır.

Tezin amacı deprem davranışlarını, tam olarak depremin dışey bileşenlerini araştırıp daha iyi anlamak yolunda az da olsa katkıda bulunarak daha sonraki oğrencilere, araştırmacılara ve deprem konusunda bilgiler arayan herkese yararlı olabilmektir.

1.2 Literatür Araştırması

Literatür araştırması konusunda deprem hakkında ilk araştırmaları eski yunan bilim adamlarından gorebiliriz. M.Ö. 5. yzyılda yaşayan Yunan filozofu Anaxagoras'ın

zamanından 14. yüzyıla kadar depremler genel olarak dünya boşluklarındaki “hava (buhar)” olarak anlatıldı. Ancak M.Ö. 625-547 yıllarında yaşayan Miletus’lu Thales’in kayıtlarında deprem, yeryüzü ve su arasındaki gerilmelerden meydana geldiği inancı hakkında bilgiler var. Yunan filozof Anaxamines’in (585–526 M.Ö.) kuruluk ve ıslaklığın kısa eğilimli sismik aktiviteye neden olduğu inancı da dahil olmak üzere başka teoriler de vardı. Democritus ise (460–371 M.Ö.), genel olarak deprem için suyu suçladı. Yaşlı Pliny depremleri "yeraltı gök gürültülü fırtınalar" olarak adlandırdı.[1]

Son zamanlardaki araştırmalara göre jeologlar küresel ısınmanın artan sismik aktivitenin nedenlerinden biri olduğunu iddia ediyorlar. Bu çalışmalara göre buzulların erimesi ve yükselen deniz seviyeleri, Dünya'nın tektonik levhaları üzerindeki basınç dengesini bozarak depremlerin sıklığını artırmaktadır. [2]

Yukarıdaki bilgiler genel deprem hakkında geçmişteki ve günümüzdeki anlayışımızı izah etmek için verilmiştir.

1958 senesinde amerikan sismologu Richter: “Çalışılan hipotezden ziyade, sabitlenmiş, gerçek olarak daha az kabul edilmesi gereken kanıtlar vardır; herhangi başka yerlerden merkez üssü çevresinde, depremin dikey hareket bileşeni, yatay bileşenlere göre daha büyüktür” – ifadesinde bulunmuştur.

Depremi araştırmak denildiği zaman ilk akla gelen depremin yatay etkilerini incelemektir. Bunun sebebi de çoğu zaman depremin yatay etkisi düşey etkisine kıyasen daha güçlü olduğu herkes tarafından bilinir. Ama bazı durumlarda depremlerin düşey etkileri daha şiddetli olup, yapı tasarımında dikkate alınması gerektiği durumlar da ortaya konulmuştur.

Depremin düşey bileşenini daha iyi anlamak için son zamanlarda da çalışmalar devam etmektedir. Bu araştırmaların başlangıcı Abrahamson ve Litehiser 1989 [3], Bozorgnia, Niazi ve Campbell 1995 [4], Papazoglou ve Elnashai 1996 [5], Ambraseys ve Douglas 2003 [6] senelerinde başlamaktadır. Adı geçmiş araştırmacılar kendi çalışmalarında düşey etkisi şiddetli Northridge, Kobe, Kocaeli ve daha başka deprem kayıtları üzerinde çalışmışlardır. Örnek olarak düşey deprem ivmesi yatay deprem ivmesinin 2/3’ü kadar değer olduğu varsayılıyor ve bu değeri “Düşey Deprem Hasar Etkisinin Analitik ve Saha Gözleminin Kanıtları” adlı çalışmalarında Papazoglou ve Elnashai (1996) dikkate alarak araştırmalar yapmıştır. Deprem merkezine yakın mesafelerde bu değer birden fazla değere sahip olabilecek durumları sunmuşlardır.

Literatür araştırması sırasında deprem konusunda uzmanlaşmış Japonya ve Amerika Birleşik devlet standartlarını, Rusya ve Avrupa, Hindistan, İnan standartları da gözden geçirilmiştir.

Sonuç olarak dünya devletleri standartlarında depremin düşey etkisini deprem hesaplarında zorunlu olarak katmamıştır, ancak belirli şartlar altında standartlarda ek olarak yer almıştır. Örnek olarak Avrupa Birliği ülkelerinde kiriş açıklığı 20 metre ve üzerinde olan yatay ve yataya yakın binalarda depremin düşey bileşenini hesaba katma zorunluluğu vardır.

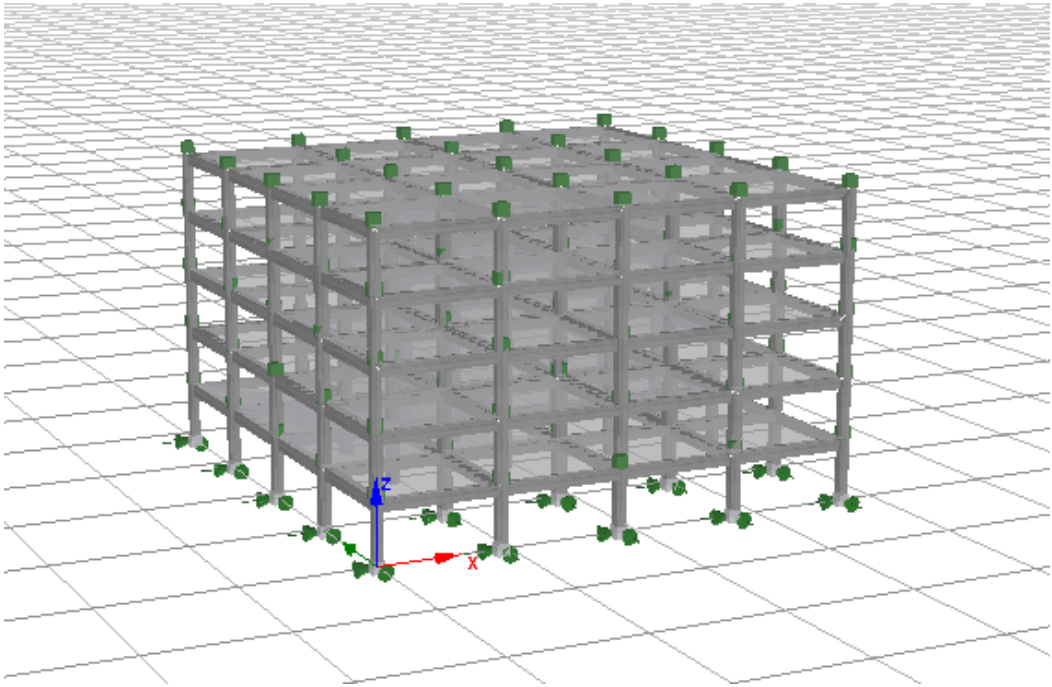
2. MODELİN TASARLANMASI

2.1 Amaç

Bu bölümün amacı; depremin yatay ve düşey etkilerine maruz kalacak ve deprem süreci sırasında analiz edilecek şekilde deprem standartlarına uygun olarak yapı tasarlanmasıdır. Bilgisayar ortamında tasarlandıktan sonra model, yatay ve düşey deprem kayıtları kullanılarak “Seismostruct” bilgisayar programı aracılığıyla analiz edilecektir. Çalışmada ele alınan 7 deprem kaydı tasarlanan modele ayrı ayrı uygulayıp verileri elde edilecektir.

2.2 Modelin Özellikleri

Model, betonarme kare ve dikdörtgen kesitli kolon ve kirişlerden oluşan çerçevesel simetrik yapıya sahip her yönde 6 metre aralıkta 4 açıklıklı, kat yüksekliği 3 metre olarak tasarlanan 5 katlı bir okul binasıdır (Şekil 2.1). Temeli radye temel olarak tasarlanan modelimizde bilgisayar ortamında ankastre mesnet olarak alınmıştır.



Şekil 2.1 : Düzenli 5 Katlı Betonarme Yapı

Çalışma yapılacak yapı bilgileri ve eleman boyutlandırmaları yapıldıktan sonra yapı çözümü Sta4Cad [7] bilgisayar programıyla yapılmıştır.

Yapı genel bilgileri şekil 2.5'te verilmiştir. Ve tüm veriler deprem standartlarına uygun olarak alınmıştır.

GENERAL BUILDING DATA

New project Name	THESIS	
Story Number	5	
Seismic Zone Coefficient	Ao	0.4
Structural Behavior Factor	Rx/Ry	8
Seismic Importance Factor	I	1.4
Spectrum Characteristic Period	Ta/Tb	.15/.4
Live Load Seismic Reduction Factor	n	0.6
Effective Seismic Load Level	Hx/Hy (m)	12
Modulus of Subgrade Reaction	Ko (t/m ³)	1500
Allowable Soil Pressure	(t/m ²)	20
Live Load Reduction Factor	Cz	1
Seismic Load Eccentricity		0.05
Seismic analysis min. force ratio	β	0.8
Top story no (TDY code)		5
Application Relative Level	(m)	0
Bearing capacity seismic increasing		0

UserKey

PERFORMANCE ANALYSIS OPTIONS

New building project SEISMIC CODE : TDY2007 DESIGN CODE : TS500t

Şekil 2.2 : Yapı Genel Bilgileri

Şekil 2.2 verileri böylece kısaca açıklanmıştır: Çalışmada ele alınan yapı I. deprem bölgesinde tasarlanmıştır. **Etkin yer ivmesi katsayısı** A_0 değeri DBYBHY-2007 Çizelge-2.1'den 0.4 olarak alınmıştır.

Çizelge 2.1 : Etkin Yer ivmesi Katsayısı (A_0) (DBYBHY-2007'den alınmıştır)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Bina önem katsayısı $I=1.4$ olarak DBYBHY-2007 Çizelge-2.2 Madde 2-a: Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri bölümünden seçilmiştir.

Çizelge 2.2 : Bina Önem Katsayısı (I) (DBYBHY-2007'den alınmıştır)

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Spektrum karakteristik periotları T_A/T_B değerleri zemin sınıfı Z3 olduğundan deprem yönetmenliğinden 0.15/0.6 olarak alınmıştır.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R deprem yönetmenliğinden süneklik düzeyi yüksek deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar verilerine bağlı olarak iki yönde de $R=8$ alınmıştır.

Çizelge 2.3 : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) (DBYBHY-2007'den kısmi alınmıştır).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi	Süneklik Düzeyi
	Normal Sistemler	Yüksek Sistemler
(1) Yerinde Dökme Betonarme Binalar		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	4	7

Hareketli yük katılım katsayısı n deprem yönetmeliğinden **n=0.6** olarak alınmıştır.

2.2.1 Malzeme bilgisi

Tez çalışmasında kullanılacak bina betonarme malzemeleri TS500 [8] ve DBYBHY-2007'ye [9] göre seçilmişlerdir.

Deprem bölgelerinde yapılacak binaların yönetmeliğine (DBYBHY-2007) göre betonarme yapılarda beton sınıfı C20'den küçük kullanılamaz. Bu kurala uyarak binada kullanılan beton malzemesinin sınıfı C30 olarak seçilmiştir.

Çizelge 2.4 : Beton Mekanik Özellikleri

Beton sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı f_{ck} , MPa	Karakteristik çekme dayanımı f_{ctk} , MPa	150x150 mm küp 28 günlük basınç dayanımı, MPa
C 30	30	1.9	37

Deprem bölgelerinde yapılacak binaların çelik malzemesine de konulacak özel şartlar mevcuttur:

- Etriye ve çiroz donatısı ile döşeme donatısı dışında, nervürlü donatı çeliği kullanılamaz;

- Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420'den daha yüksek dayanıklı donatı çeliği kullanılmayacaktır;
- Kullanılan donatının kopma birim uzaması %10'dan az olmayacaktır.

Yukarıda bahsedilen şartları gözönünde bulundurarak yapıda kullanılacak çelik malzemesi sınıfı S420 olarak seçilmiştir.

Çizelge 2.5 : Donatı Çeliği Mekanik Özellikleri

Donatı çeliği sınıfı	Minimum akma dayanımı f_{yk} , MPa	Minimum kopma dayanımı f_{su} , MPa	Minimum kopma uzaması ϵ_{su} , %
S420	420	500	12

2.2.2 Yapı elemanlarının donatı seçiminin Sta4Cad bilgisayar programı yardımıyla hesaplanması

Analiz yapmak için hazırlanmış olan yapı – dizayn standartı TS 500'e göre, deprem standartı ise TDY DBYBHY-2007'ye göre tasarlanmıştır.

Tasarlanmış yapı kullanımda olan yapılara benzer olarak tasarlanmıştır. Bunun sebebi, yatay ve düşey deprem etkilerinden mevcut standartlarla tasarlanmış yapıların deprem sırasındaki davranışlarını tahmin etmektir.

Tez araştırmasında kullanacağımız modelin ön boyutlandırması Sta4Cad bilgisayar programıyla gerçekleştirildi. Bu programı kullanarak yapıyı Türk standartlarına göre tasarlama imkanına sahip olunmuştur.

Sta4Cad tasarım programının yapıyı analiz ederek sonuçları verebilmek için gerekli olan verileri girdikten sonra yapı elemanlarında kullanılacak donatı miktarlarını hesaplayarak vermiştir. Analiz sonrasında verilmiş olan donatı miktarlarını kullanarak yapıyı deprem etkileriyle etkilemek için Seismostruct[11] bilgisayar programında yeniden tasarlanmıştır.

2.2.2.1 Seçilmiş olan kolon donatı bilgileri ve kontrol edilmesi

Çizelge 2.6'da verildiği gibi yapıdaki kolonlar kesit özelliklerine bağlı olarak köşe, kenar ve orta kolonlar olarak 3 tipe ayrılmıştır. Kullanılmış boyuna donatılarına göre de 2 tip kolon bulunmaktadır.

TDY-2007'ye göre kolonlarda kullanılan donatıların enkesit alanı kolonun tam enkesit alanının en az yüzde 1'i en çok yüzde 4'ü olması gerekmektedir.

$$0.01 \leq \frac{A_s}{A_c} \leq 0.04 \quad (2.4)$$

Bu koşulun sağlanmasını kontrol etmek için en az ve en çok donatıya sahip enkesit kolonları seçilmiştir:

a) en az donatıya sahip kolon alanı $A_s=16\emptyset 18=40.69\text{cm}^2$. Kolon enkesit boyutu $A_c=45\text{X}45 \text{ cm}=2025\text{cm}^2$.

$$\frac{A_s}{A_c}=40,69/2025=0,02$$

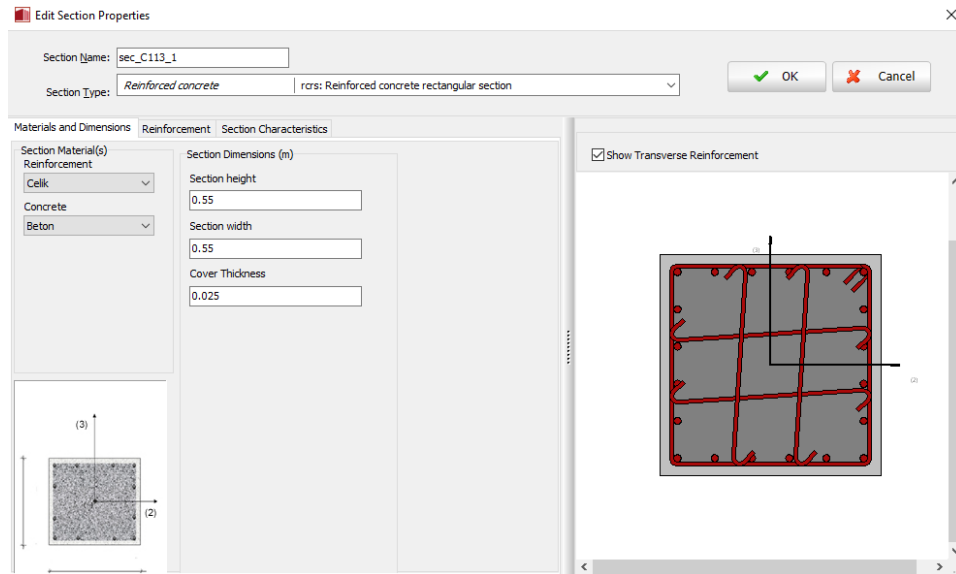
b) en çok donatıya sahip kolon alanı $A_s=20\emptyset 18 \text{ mm}$. Kolon enkesit boyutu $55\text{X}55 \text{ cm}=3025\text{cm}^2$.

Donatı alanı $A_s=20\emptyset 18=50,89\text{cm}^2$

$$\frac{A_s}{A_c}=50,89/3025=0.016$$






Yukarıdaki hesaplardan izlendiği gibi kullanılan donatı enkesit alanı ile kolon enkesit alanı yüzdesi koşulu sağlanmıştır.

Kolon donatısı hakkında bilgi Şekil 2.3 ve Çizelge 2.6'de verilmiştir.



Şekil 2.3: Kolon Donatısı

Çizelge 2.6: Kolon Boyutları ve Donatı Bilgileri

Kat	Yapıdaki kolon yerleşimi	Kolon ebatları, cm	Kolon Kesitindeki Donatı Bilgileri				
			Köşe	Sol ve Sağ	Alt ve Üst	Etriye, Çiroz Çapı ve Aralığı	Toplam
I, II, III, IV, V	Köşe	45x45					
	İç	45x45	4 Ø18 mm	6 Ø18 mm	6 Ø18 mm	Ø10 - 100mm	16 Ø18 mm
		55x55	4 Ø18 mm	8 Ø18 mm	8 Ø18 mm	Ø10 - 100mm	20 Ø18 mm
Kenar	50x50	4 Ø18 mm	8 Ø18 mm	8 Ø18 mm	Ø10 - 100mm	20 Ø18 mm	

2.2.2.2 Seçilmiş olan kiriş donatı bilgileri ve kontrol edilmesi

TS500 ve TDY-2007'ye göre kiriş mesnetlerinde çekme donatısı oranı ρ , aşağıdaki değerden az olamaz.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \geq \rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (2.5)$$

Çizelge 2.7 kiriş donatısı bilgilerine dayanarak en az çekme donatı bilgileri aşağıda kontrol edilmiştir.

$$A_s = 3\emptyset 18\text{mm} = 7.63 \text{ cm}^2$$

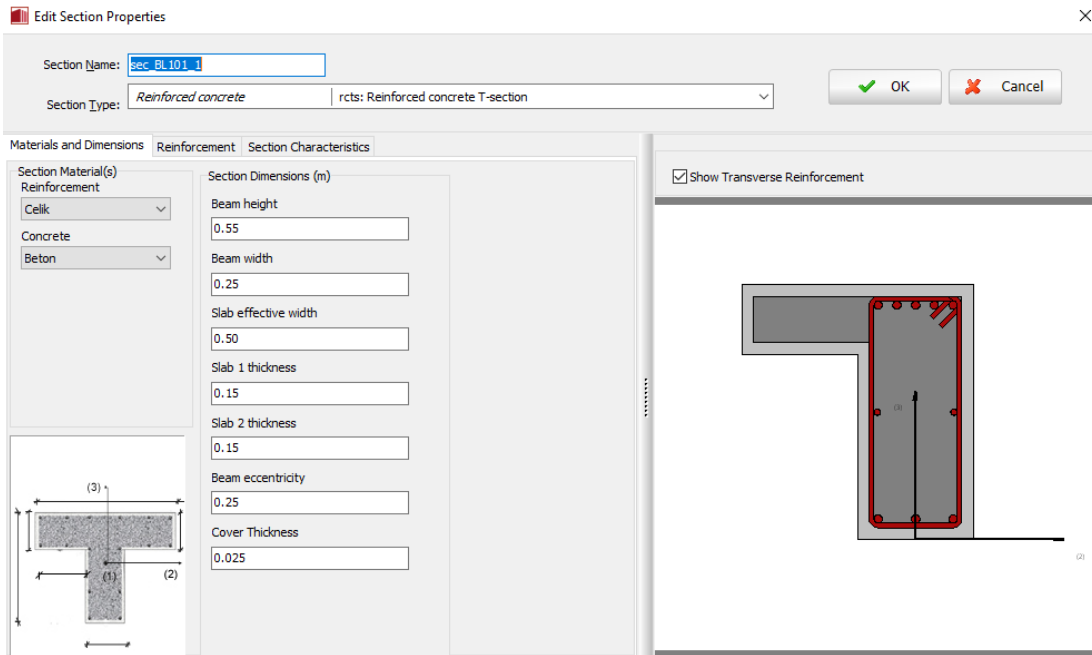
$$b_w = 25\text{cm}$$

$$d = 52.5\text{cm}$$

$$f_{ctd} = 1.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 420 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{7.63}{25 \cdot 52.5} = 0.005 \geq \rho_{\min} = 0.8 \frac{1.9}{420} \quad - \quad \text{koşul sağlanmıştır.}$$



Şekil 2.4 : Kiriş Sol Mesnet Donatısı

Çizelge 2.7: Kiriş Boyutu ve Donatı Bilgileri

Kiriş Ebatı, cm	Kiriş Donatı Bilgisi				Etriye Kalınlığı ve Ara Mesafesi
	Sol Mesnet Bölgesi		Yan Donatı		
55x25	Üst Donatı	Alt Donatı	Yan Donatı		Ø8 - 100 mm
	5 Ø18	3 Ø18	2 Ø14		
	Açıklık Bölgesi				Ø8 - 200 mm
	Üst Donatı	Alt Donatı	Yan Donatı		
	5 Ø18	3 Ø18	2 Ø14		
	Sağ Mesnet Bölgesi				Ø8 - 100 mm
Üst Donatı	Alt Donatı	Yan Donatı			
	5 Ø18	3 Ø18	2 Ø14		

3. MODEL ANALİZİNDE KULLANILACAK HESAP YÖNTEMİ VE DEPREM KAYITLARI

3.1 DBYBHY-2007'ye göre Hesap Yönteminin Belirlenmesi

DBYBHY-2007'ye göre bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir.

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç depremin yer hareketi üretilecek ve bunlar aşağıda verilen tüm koşulları sağlayacaktır.

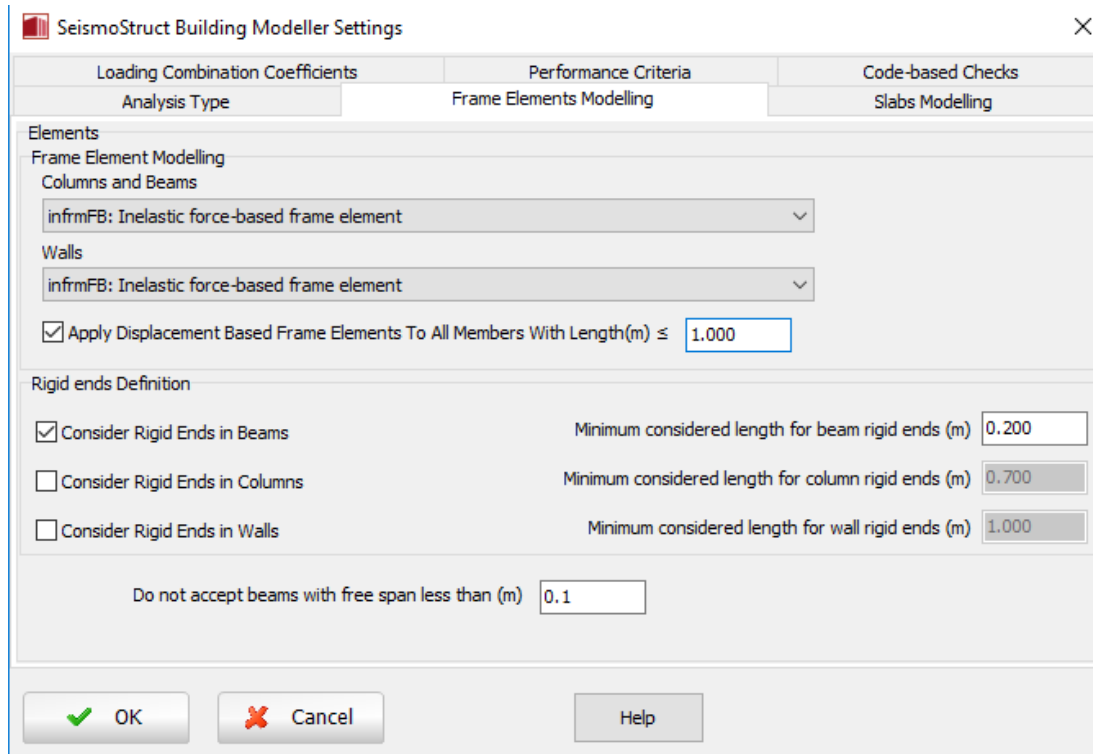
- a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- (b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} 'den daha küçük olmayacaktır.
- (c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, 2.4'te tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Çalışmada “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem” kullanılmıştır. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin seçilme nedeni, mevcut kaydedilmiş deprem kayıtlarını kullanarak, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

3.2 Seismostruct Analiz Programında Kullanılan Bazı Kabuller

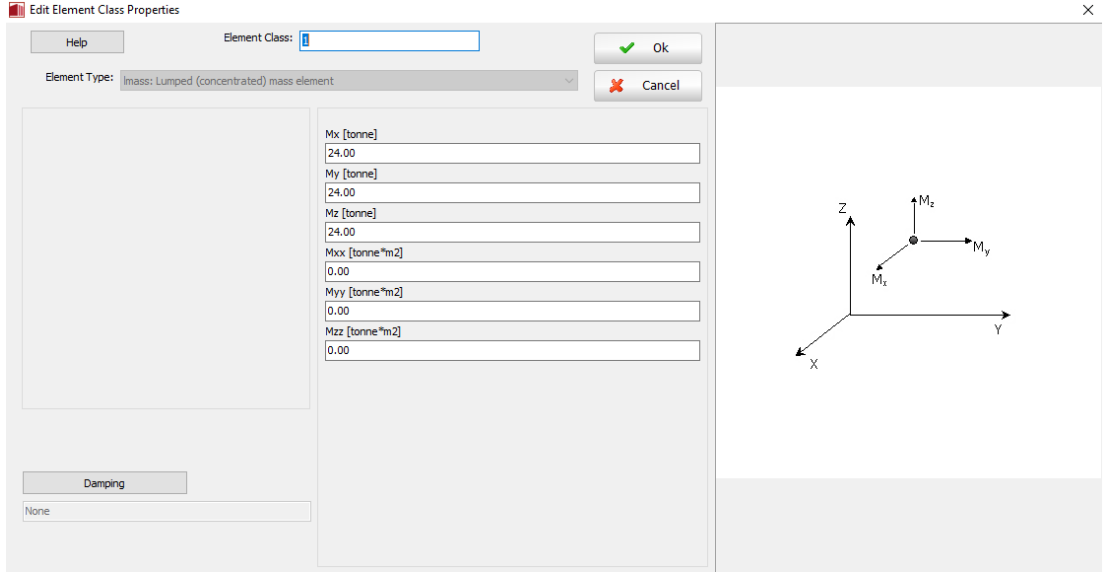
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (ZTADOH) için Seismostruct programı kullanılmıştır. ZTADOH esnasında numerik modeli adım adım tekrardan çözülecek olduğu için numerik modeli mümkünse basit, programın hata yapmasını engelleyecek şekilde bazı verileri girmek gerekmektedir. Örneğin, kolon, kiriş, döşeme ve duvarlardan oluşan yapıyı Seismostruct programında sadece kolon ve kiriş çerçevesi olarak tasarlayıp, döşeme ve duvar yüklerini direkt kolona ek kütle olarak tanımlayıp düğüm noktalarının azalması sağlanmıştır. Seismostruct programında ZTADOH yapmadan önce bazı kabuller yapılmıştır:

- Seismostruct programında Building Modeller menüsünde "Frame Elements Modelling" kısmında kolonlar ve kirişler için "inelastic force-based frame element (infrmFB)" opsiyonu seçilmiştir. Bu opsiyonu seçerek plastic mafsal yerine yayılı inelastisiteyi sağlamasına yardımcı olunmuştur. (Şekil 3.1)



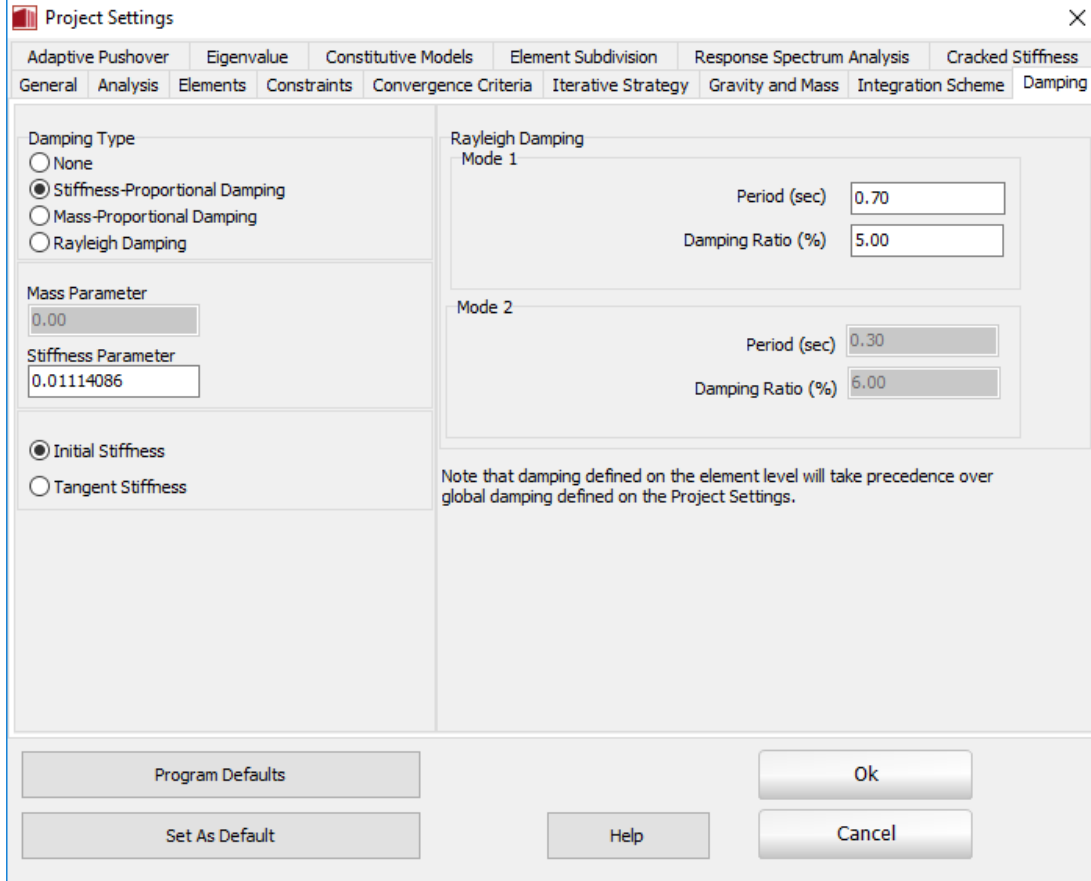
Şekil 3.1 : Kolon ve Kiriş İnelastisite Opsiyonu Seçim

- Her düğüm noktasında orta kolonlarda 24 ton, kenar kolonlarda 12 ton ve köşe kolonlarda ise 6 tonluk kütleler tanımlanmıştır. Bu kütleleri tanımlayarak Seismostruct programında girişi yapılmamış duvar ve döşeme ağırlıklarını hesaba katma imkanına sahip olunmuştur. Programda “Element Classes” menü içeriğindeki “Mass and Damping Element Types” bölümünde “Imass” (concentrated mass) seçeneğine belli miktarda kütleleri tanımlayarak yapılmıştır. (Şekil 3.2)



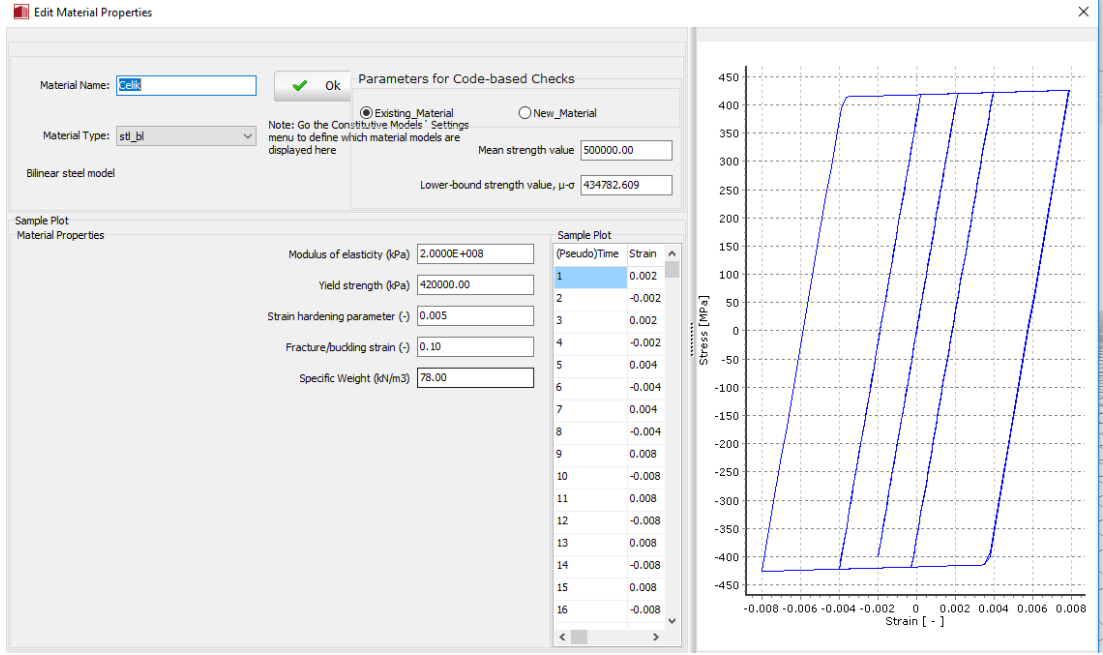
Şekil 3.2 : Düğüm noktalarında kütle tanımlanması

- Ayrıca “Project Settings” menüsünde “Damping” kısmında “Stiffness proportional damping” seçeneğini seçerek ve 1.mod periyodunu yazarak sisteme sönüm eklenmiştir. Sönüm oranı yüzde 5 olarak alınmıştır (Şekil 3.3)



Şekil 3.3: Sisteme sönüm eklenmesi

- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap esnasında ele alınan numerik model çözümü adım adım yapılacaktır. Yapı davranışında genel olarak malzemenin katkısı çok büyük ve malzemenin doğrusal olmayan özelliğinin yapı elemanları kesitlerine, sonra da taşıyıcı sisteme etkisi her bir zaman tanımında tekrar yüklenme yapılarak yeniden hesaplanacaktır. Yani binaya yükler eklendiği zaman gerçek yapı etkilerine yakın etkiler oluşturarak yapı davranışını öğrenmeye yol açar. Bu sebeple, malzemelerin doğrusal ve doğrusal olmayan özelliklerinin ilk olarak belirlenmesi lazımdır. Özellikleri doğrusal olmayan malzemeleri kullanmış olduğu zaman yapı elemanlarına dış yüklemeler tekrar tekrar verildiğinden malzeme iç kuvvetleri de artarak doğrusal-elastik durumunu geçerek doğrusal olmayan plastik davranışı gösterebilmektedir. Yapı elemanının böyle bir davranış gösterdiği bölgede plastik mafsalsal bölge ismi verilmektedir.



Şekil 3.4 : Bilinear Çelik Modeli

3.3 Deprem Kayıtları Hakkında Bilgiler

Deprem kayıtlarını seçme sırasında geçmiş deprem kayıtlarını inceleyerek, hangisinin davranışları araştırmamızda doğru sonuç vereceğini tespit ederek seçmek önemlidir.

Tez çalışmasında 7 tane deprem kaydı kullanılmıştır. Bu seçilen kayıtların düşey bileşenlerinin, yatay bileşenlerinin ile benzer büyüklükte olmaları amaçlanmıştır, bir başka deyişle V/H oranı 1'e yakın ve üzerindedir. Genellikle kabul edilen oran $V/H=2/3$ değerindedir.

Çizelge 3.1'de deprem kayıtları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Veriler "PEER Ground Motion Database, NGA-West2"[12] internet sitesinden alınmıştır. Çizelge'de H1 ve H2 – yatay deprem bileşeni en büyük yer ivmesini (PGA); V – düşey deprem bileşeni en büyük yer ivmesini (PGA) tanımlamaktadır.

Çizelge 3.1: Seçilen Deprem Kayıtları ve özellikleri

S/N	Deprem Adı	Tarih	Kayıt Alınan İstasyon	Büyüklük	En büyük yer ivmesi			V/H-SR
					H1 (g)	H2 (g)	V (g)	
1	Kobe, Japonya	01.16.1995	Takarazuka	6.9	0.69	0.61	0.42	0.65
2	Düzce, Türkiye	11.12.1999	Düzce	7.14	0.4	0.5	0.34	0.73
3	1084_Northridge, ABD	01.17.1994	Sylmar-Converter Sta	6.7	0.62	0.92	0.6	0.77
4	Manjil-Rudbar, İran	06.20.1990	Abbar	7.37	0.51	0.49	0.53	1.07
5	Loma Prieta, ABD	10.18.1989	LGPC	6.93	0.57	0.6	0.89	1.51
6	İmperial Valley, ABD	10.15.1979	Agrarias	6.53	0.28	0.19	0.47	2
7	İmperial Valley, ABD	10.15.1979	E1 Centro Array #6	6.53	0.44	0.44	1.89	4.3

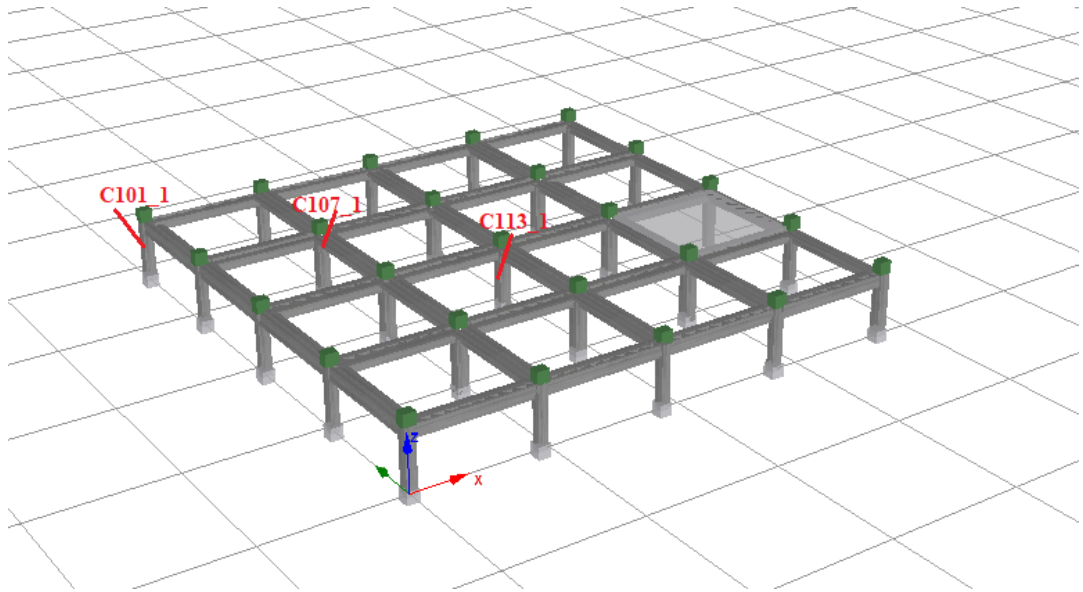
4. YATAY VE DÜŞEY DEPREM BİLEŞENLERİNİN YAPIYA ETKİSİ

4.1 Yatay (X+Y) ve Yatay Artı Düşey (X+Y+Z) Deprem Bileşenleri Etkisi Analizinde Yapı Elemanlarının Davranışı. Normal, Kesme Kuvvet ve Deplasman Değişimi

Tasarlanmış olan 5 katlı betonarme bina modeline öncelikle depremin yalnızca yatay bileşenleri etkitilmiş olup, daha sonra aynı modele yatay bileşenlerle birlikte düşey bileşenler de etkitilmiştir. Analiz sonuçlarında, 7 deprem kaydının yatay ve düşey bileşenlerinin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

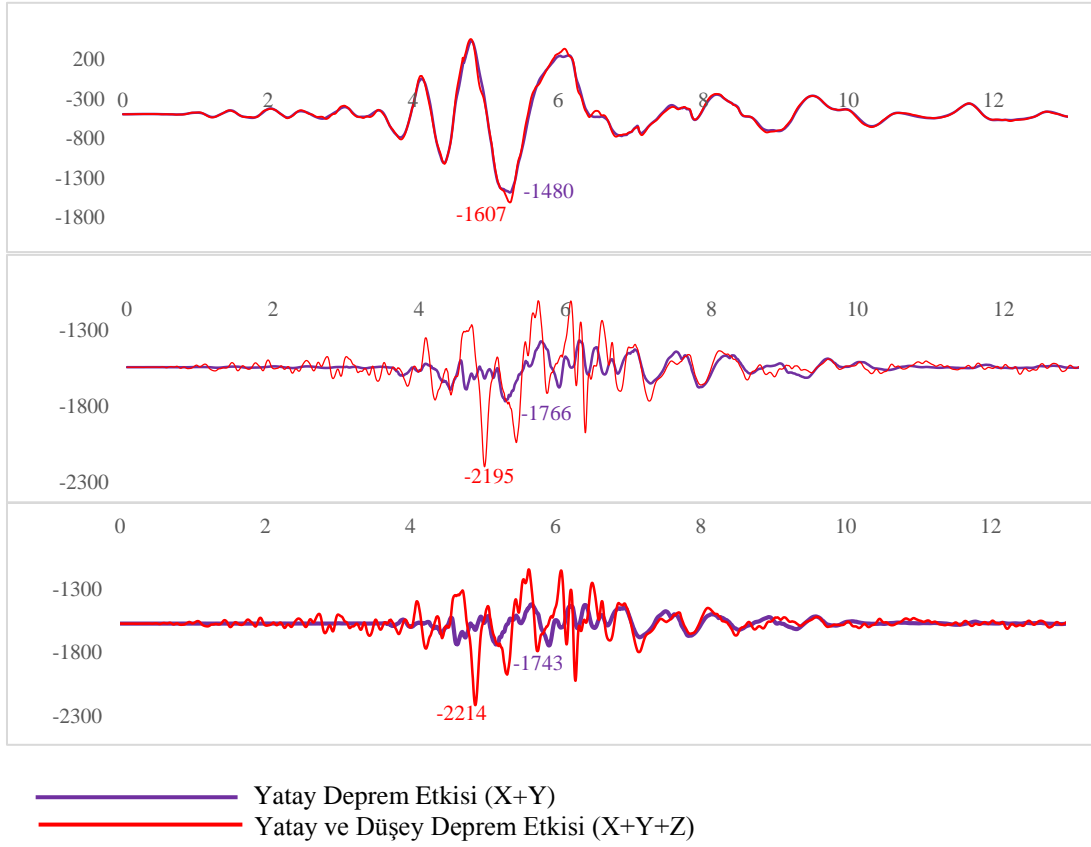
4.1.1 Deprem kayıtlarının kolonlardaki etkisi

Sonuçları incelenecek kolonlar, 5 katlı binanın en alt katından köşe, orta ve merkez kolonlar olacak şekilde seçilmiştir (Şekil 4.1). Bu şekilde farklı kolonların seçilme nedeni, yapının farklı bölgelerindeki düşey kuvvetin katılmasıyla eksenel kuvvetin değişimini incelemektir. Analiz sonrasında değerleri incelenecek elemanların yapının birinci katından seçilme sebebi de özel durumlar dışında her zaman birinci kat kolonlarının diğer katlardan daha fazla zorlanmsıdır.



Şekil 4.1 : Model Analizinde Kullanılacak Seçilmiş Kolonlar

4.1.1.1 Kobe depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi



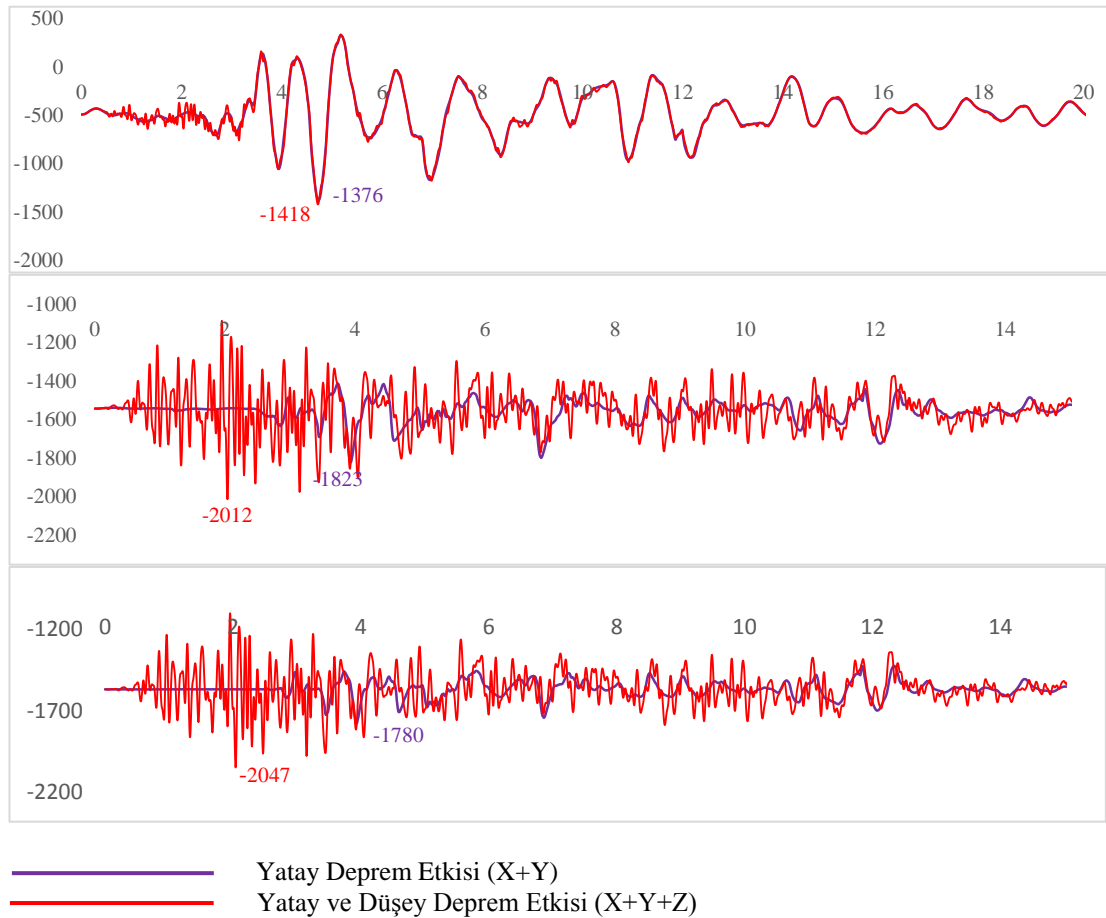
Şekil 4.2 : Kobe Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

Çizelge 4.2’de en köşe, orta ve merkez kolonlara gelen normal kuvvet değerleri verilmiştir. Model ilk önce depremin yatay (X+Y) bileşenlerine maruz kalmıştır ve sonrada depremin düşey bileşeni de hesaba katılmıştır. Dinamik analiz (Dynamic time-history analysis) sonrasında elde edilen değerler örneğin -1480 kN yatay etkiden gelen değer mor renkle ve -1607 kN yatay artı düşey etkisinden gelen kuvvet kırmızı renkle gösterilmiştir. C101_1 köşe kolon analiz sonrasında ilk önce depremin sıfır saniyesinde kolona gelen eksenel kuvvet -490 kN olarak görülmüştür ve yatay etki sonucunda -1480 kN değeriyle yüzde 202 artmıştır, sonra da düşey deprem etkisinin katılmasıyla bu sayı -1607 kN değeriyle yüzde 227 artışı göstererek düşey deprem etkisi eklenme sonucunda köşe kolondaki eksenel kuvvette yüzde 25 artış gözlemlenmiştir.

C107_1 orta kolonda ise deprem başlamadan önce kolondaki maksimum aksenal kuvvet değeri -1542 kN iken yatay deprem etkisinden sonra maksimum aksenal kuvvet değeri -1766 KN değerle yüzde 14,5 artış ve yatay artı düşey etki sonrası aksenal kuvvet değeri -2195 KN değeriyle yüzde 42 artış kaydedilerek deprem düşey etkisi eklenmesiyle kolondaki aksenal kuvvet değeri yaklaşık yüzde 27 artış göstermiştir.

C113_1 bina merkez kolonunda aksenal kuvvet değeri deprem öncesi -1570 kN gösterirken, deprem yatay etkisi sonrasında bu değeri -1743 kN göstererek yüzde 11 artış, yatay artı düşey etkisi sonrasında -2214 kN değeriyle yaklaşık yüzde 41 artışı göstererek düşey deprem etkisi eklenmesiyle kolondaki aksenal kuvvet değeri yaklaşık yüzde 30 artışa sahip olmuştur.

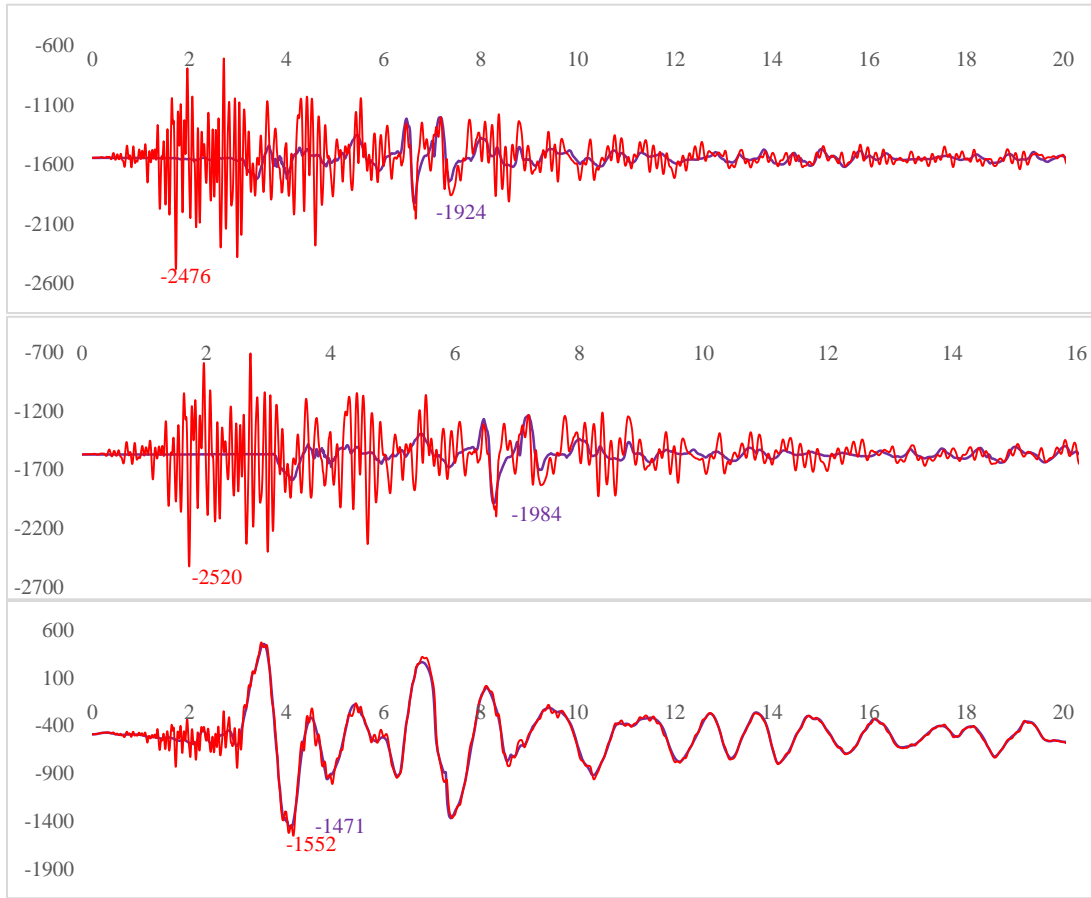
4.1.1.2 Düzce depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi



Şekil 4.3 : Düzce Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

Şekil 4.3’de gösterildiği gibi köşe kolonda (C101_1) aksenal kuvvet değişimi düşey deprem etkisi katılmasıyla yüzde 10 civarında artmıştır. Orta ve merkez kolonlarda (C107_1 ve C113_1) düşey deprem bileşeni katılımıyla hem çarpıcı sıçramalar var hem aksenal kuvvette yaklaşık yüzde 15 artış kaydedilmiştir.

4.1.1.3 Northridge depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi

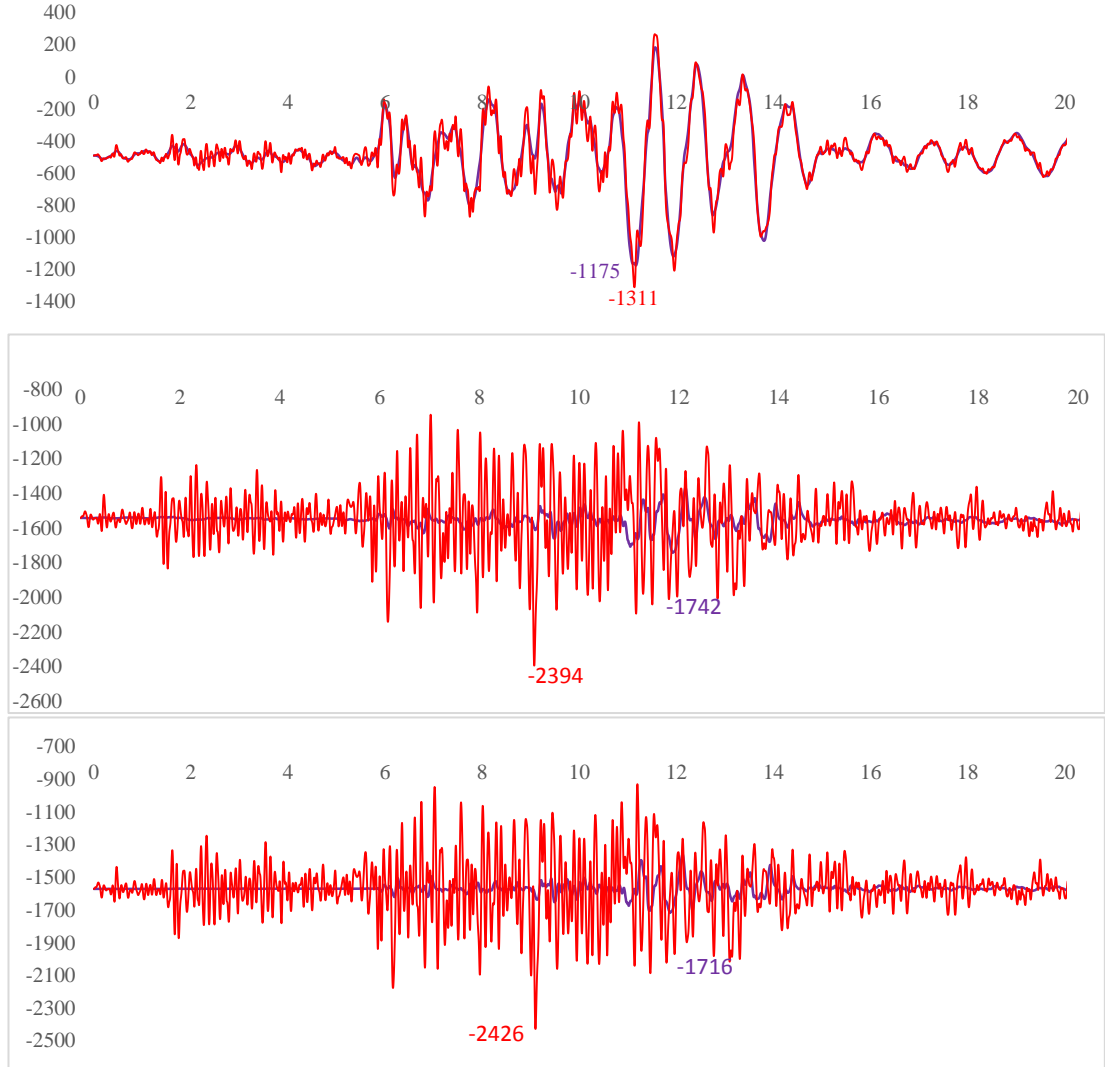


— Yatay Deprem Etkisi (X+Y)
— Yatay ve Düşey Deprem Etkisi (X+Y+Z)

Şekil 4.4 : Northridge Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

Şekilde görüldüğü gibi Northridge depreminde de köşe kolonlarında ciddi anlamda normal kuvvet değişimi kaydedilmemiş olsa bile, orta ve merkez kolonlarda düşey kuvvetin eklenmesiyle yaklaşık yüzde 35 artış izlenmektedir.

4.1.1.4 Manjil-Rudbar depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi

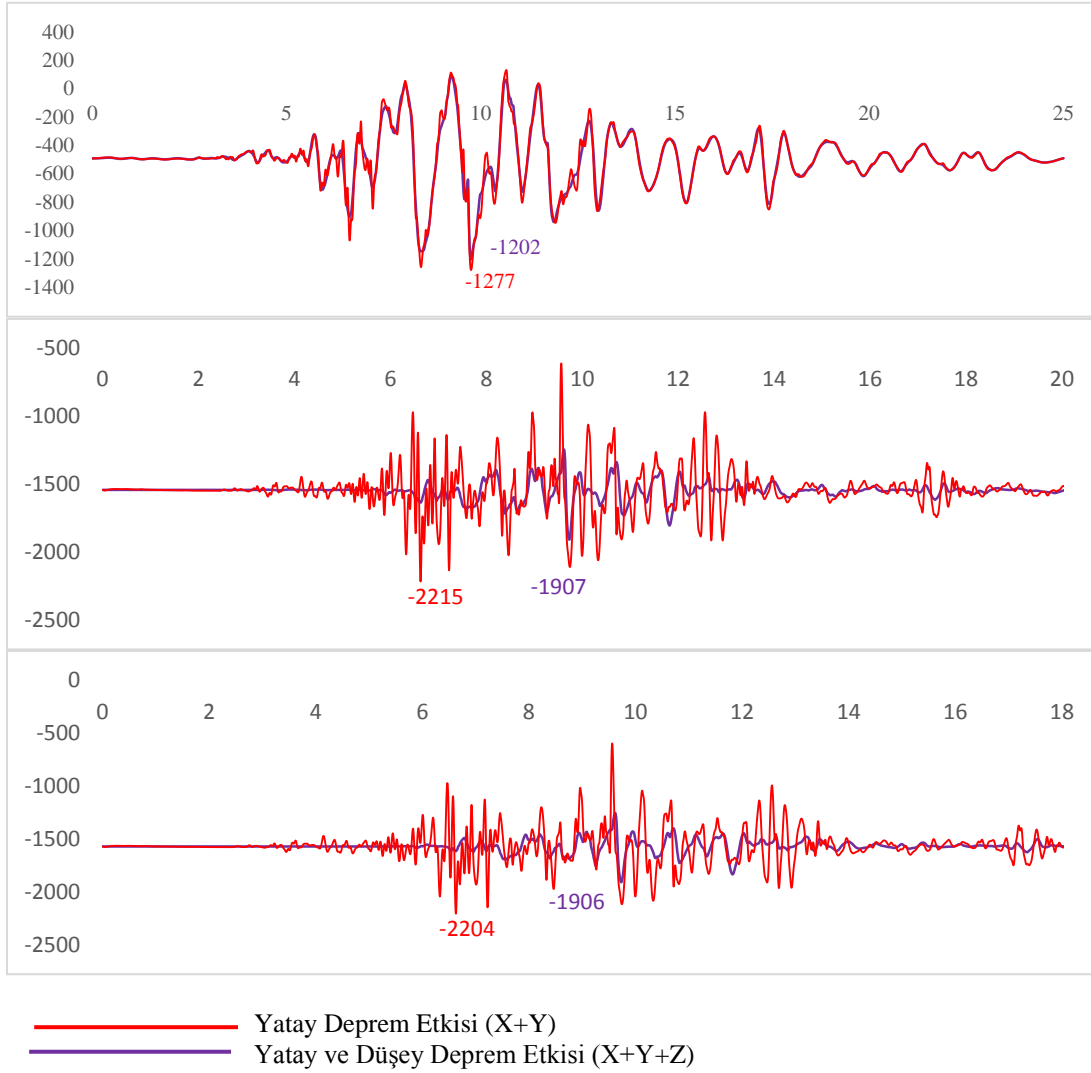


— Yatay Deprem Etkisi (X+Y)
— Yatay ve Düşey Deprem Etkisi (X+Y+Z)

Şekil 4.5 : Manjil-Rudbar Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

Manjil-Rudbar depreminin yatay bileşenine düşey bileşeninin eklenmesiyle bina merkez kolonunda yaklaşık yüzde 45 artış gözlemlenmiştir.

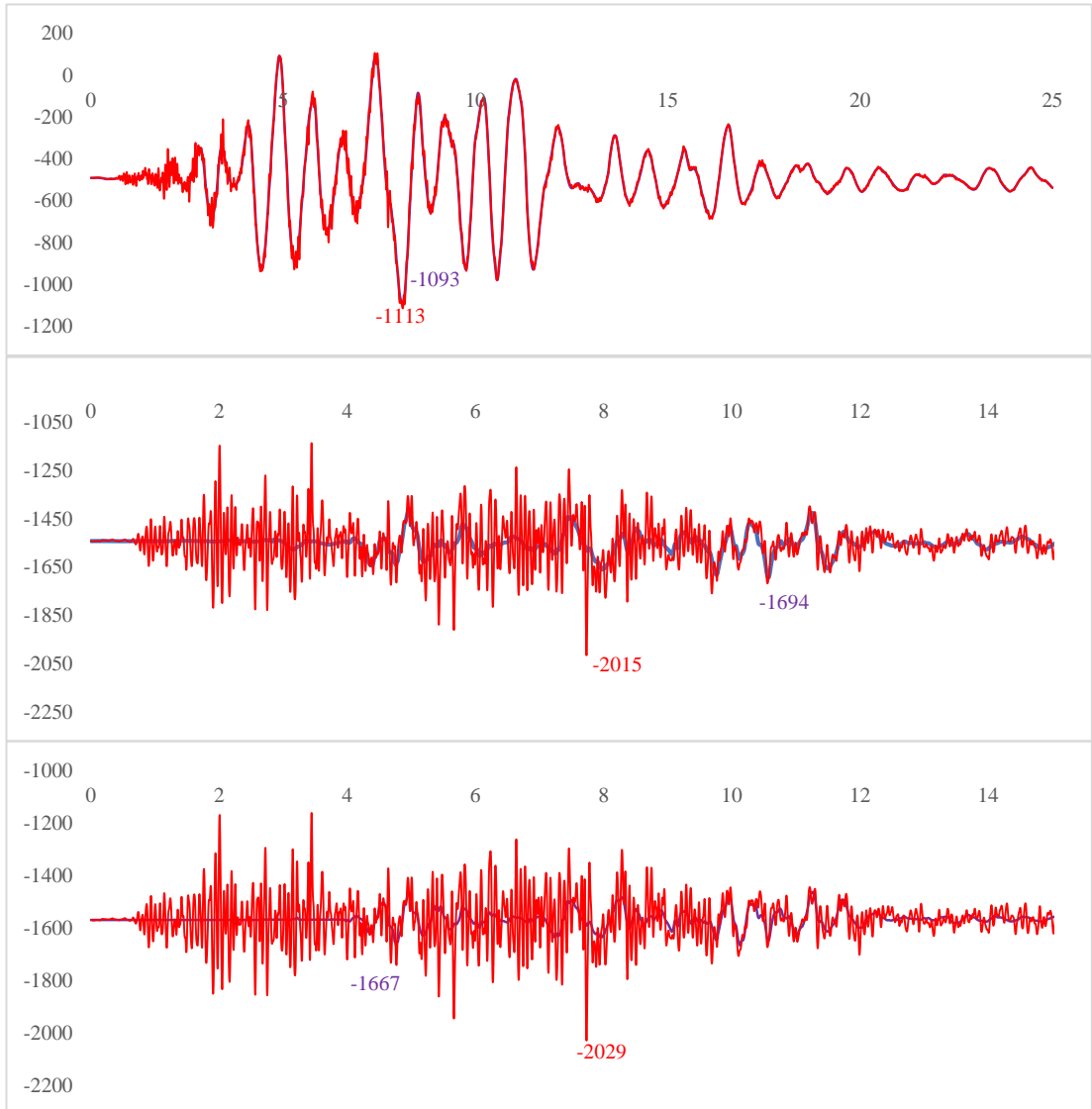
4.1.1.5 Loma Prieta depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi



Şekil 4.6 : Loma Prieta Depreminin Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

Loma Prieta depreminin de yatay bileşenine düşey bileşeninin eklenmesiyle diğer depremlere benzer şekilde sonuçlar göz önüne geliyor ve bina merkez kolonunda maksimum eksenel kuvvet değeri yaklaşık yüzde 20 artışa sahip olmuştur.

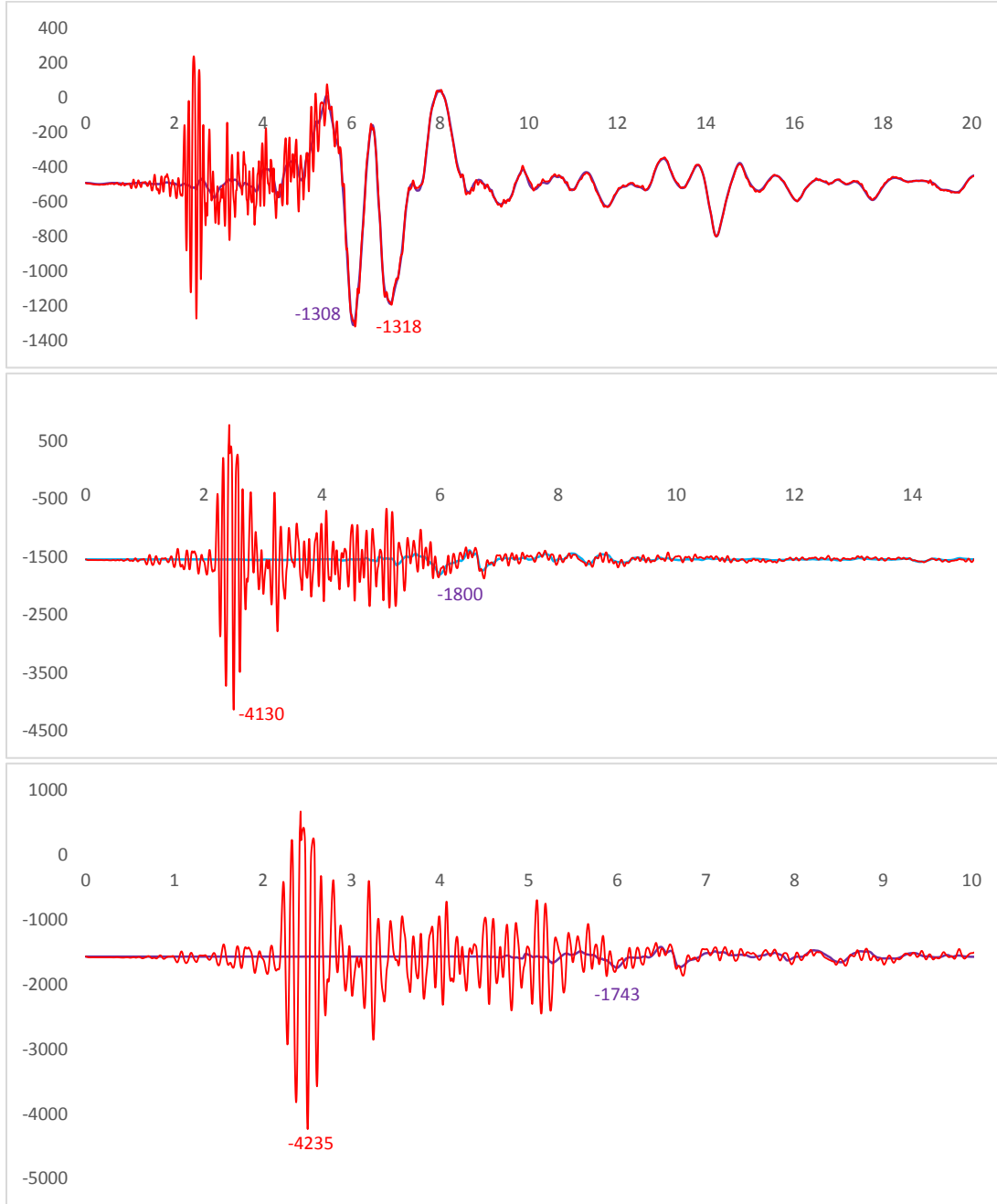
4.1.1.6 İmperial Valley (Agrarias) depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi



— Yatay Deprem Etkisi (X+Y)
— Yatay ve Düşey Deprem Etkisi (X+Y+Z)

Şekil 4.7 : Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

4.1.1.7 İmperial Valley (El Centro Array #6) depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki normal kuvvet değişimine etkisi



— Yatay Deprem Etkisi (X+Y)
— Yatay ve Düşey Deprem Etkisi (X+Y+Z)

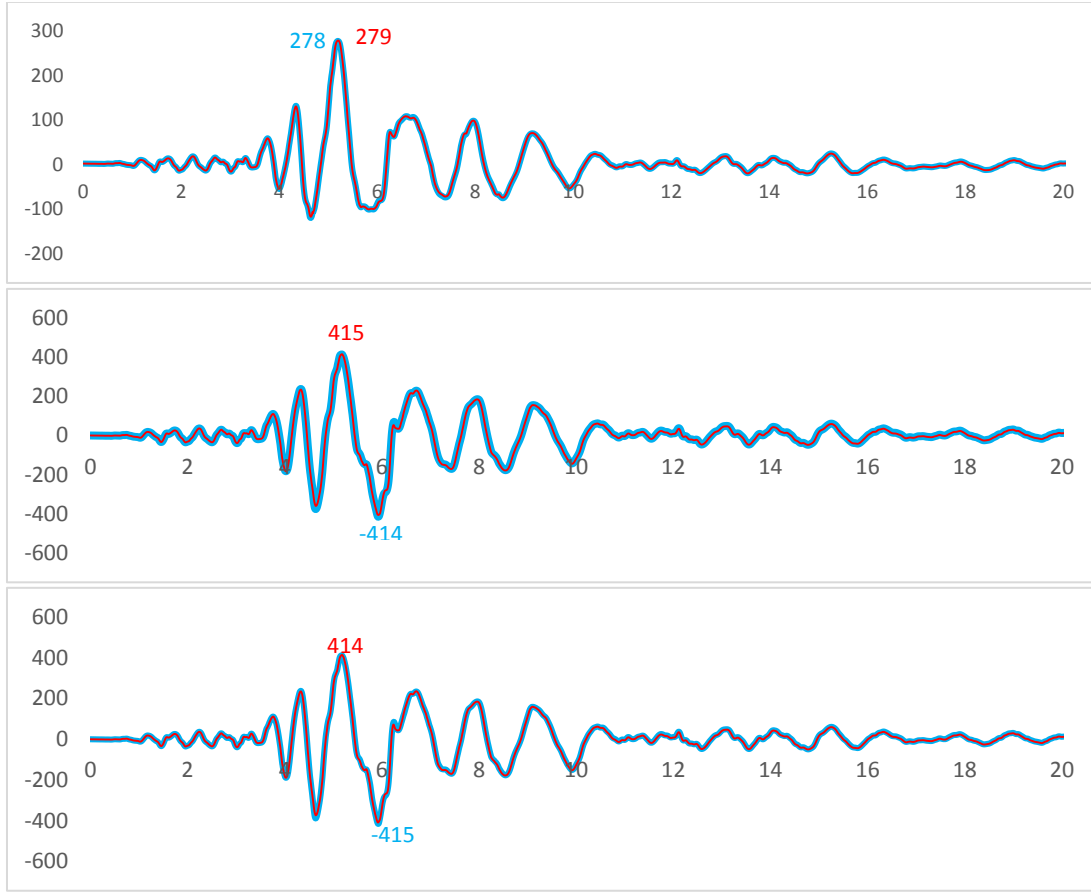
Şekil 4.8: Sırasıyla C101_1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Normal Kuvvet Etkisi

İmperial Valley depreminin yapıya yatay deprem bileşenleri ile beraber düşey deprem etkileri de eklendiği zaman merkez kolon aksenal yük değeri yüzde 150 olarak ciddi miktarda arttığı şekil 4.8’de gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1: Düşey Deprem Etkisi Eklennesi Sonrası Merkez Kolonlardaki Eksenel Kuvvet Değişimini

S/N	Deprem Adı	Yatay deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Düşey deprem etkisi sonrası eksenel kuvvet artışı, %	Farklılık, %	Düşey deprem etkisi ortalama artışı, %
1	Kobe	11	41	30	46
2	Düzce	13	30	17	
3	Northridge	26	60	34	
4	Manjil-Rudbar	9	54	45	
5	Loma Prieta	21	40	19	
6	İmperial Valley (Agrarias)	6	29	23	
7	İmperial Valley (El Centro Array #6)	11	169	158	

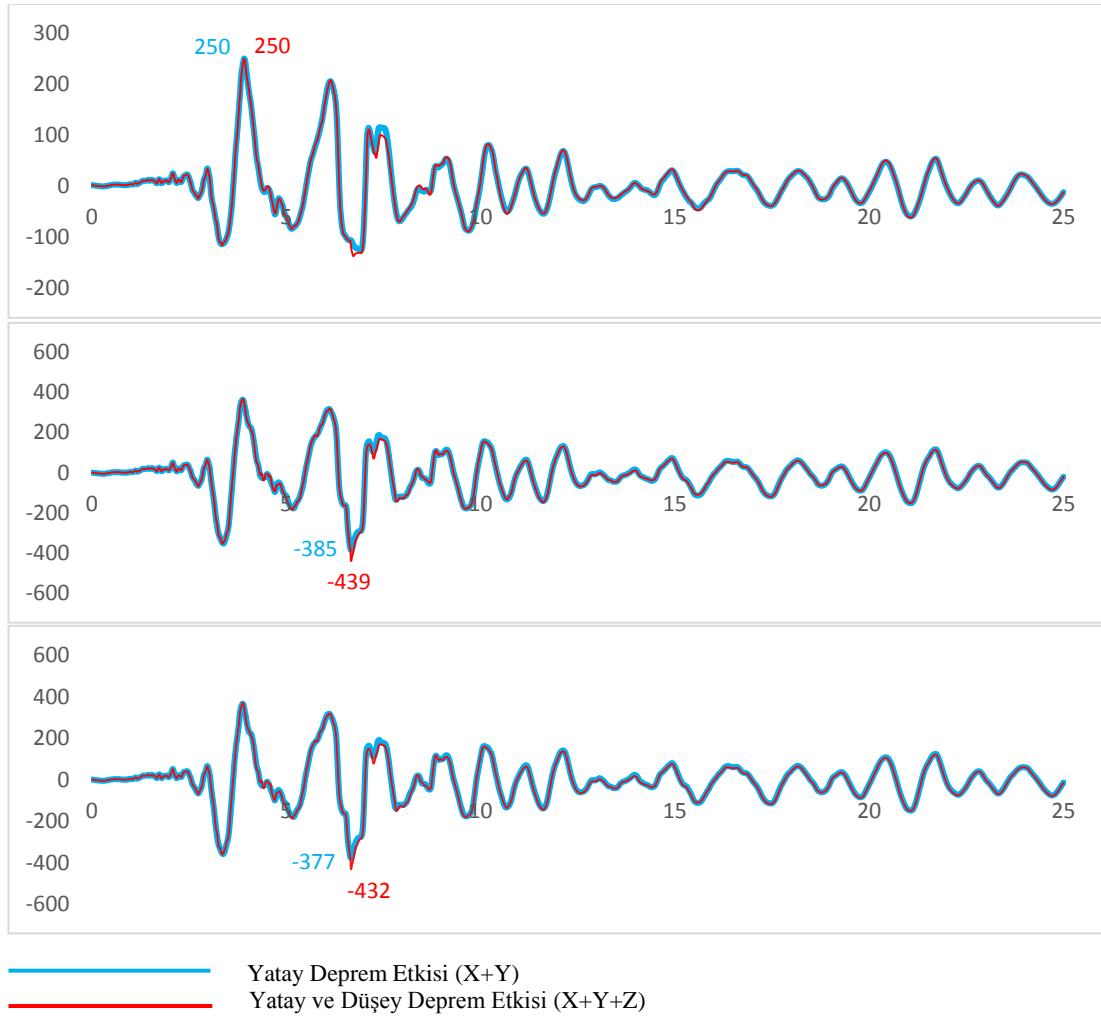
4.1.1.8 Kobe depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki kesme kuvvet değişimine etkisi



Şekil 4.9 : Kobe Depreminin Sırasıyla C101-1, C107_1 ve C113_1 Numaralı Kolonlara Gelen Kesme Kuvvet Etkisi

Şekil 4.9'da gösterildiği gibi yapı analiz çözümünde depremin düşey bileşeninin katılmasıyla kolonlardaki kesme kuvvetinde değişiklikler kaydedilmemiş durumdadır.

4.1.1.9 Northridge depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kolonlardaki kesme kuvvet değişimine etkisi

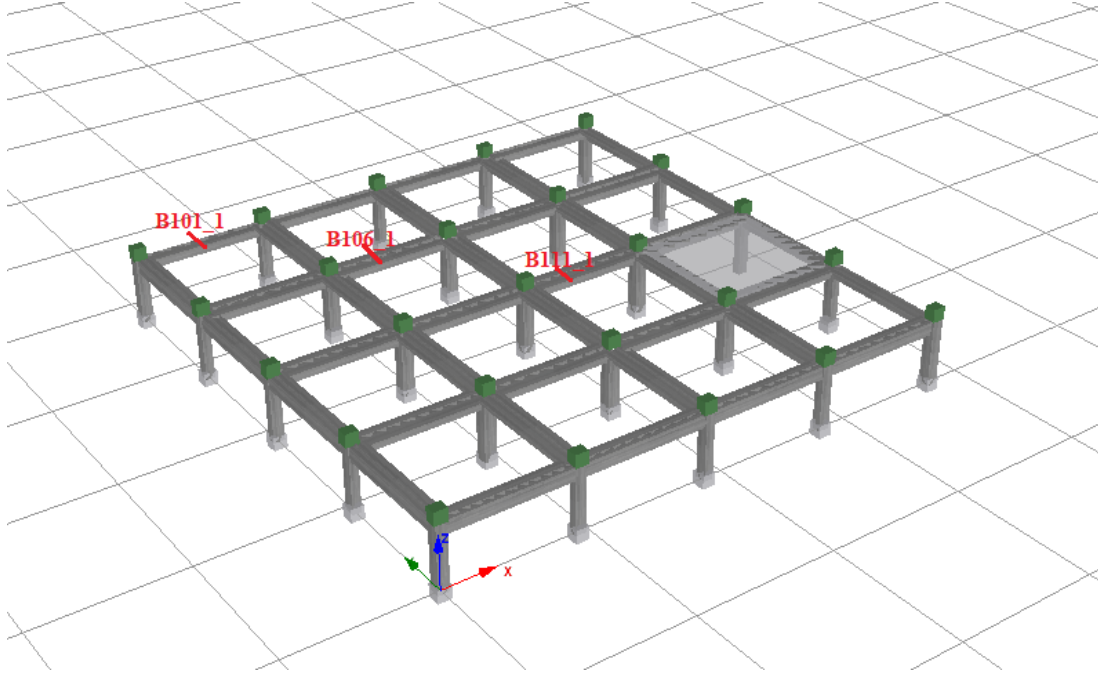


Şekil 4.10 : Northridge Depreminin Sırasıyla C101-1, C107-1 ve C113-1 Numaralı Kolonlara Gelen Kesme Kuvvet Etkisi

Araştırmada kullanılan 7 tane deprem kayıtlarında Northridge deprem kayıtları hariç hepsinde kolonlardaki kesme kuvveti değerlerinde herhangi bir değişiklik kaydedilmemiştir. Ama Northridge deprem kaydında merkez kolondaki kesme kuvvet değeri düşey deprem bileşeninin katkısıyla yüzde 15 civarında artışa sahip olmuştur.

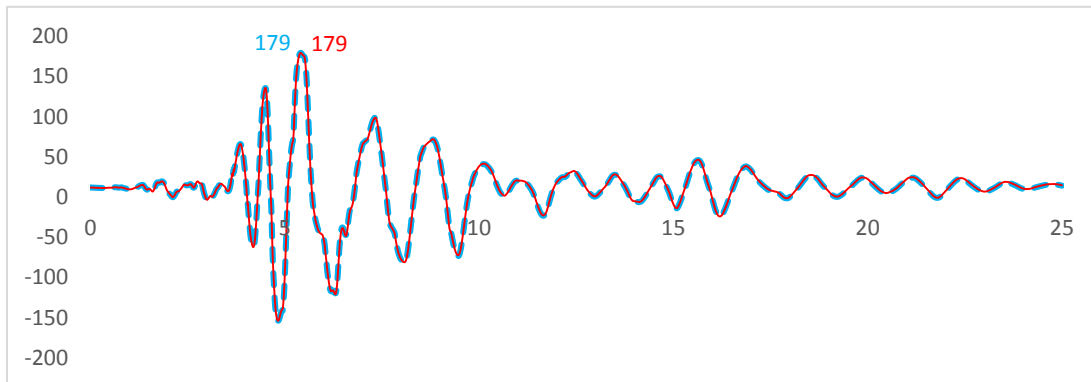
4.1.2 Deprem kayıtlarının kirişlerdeki etkisi

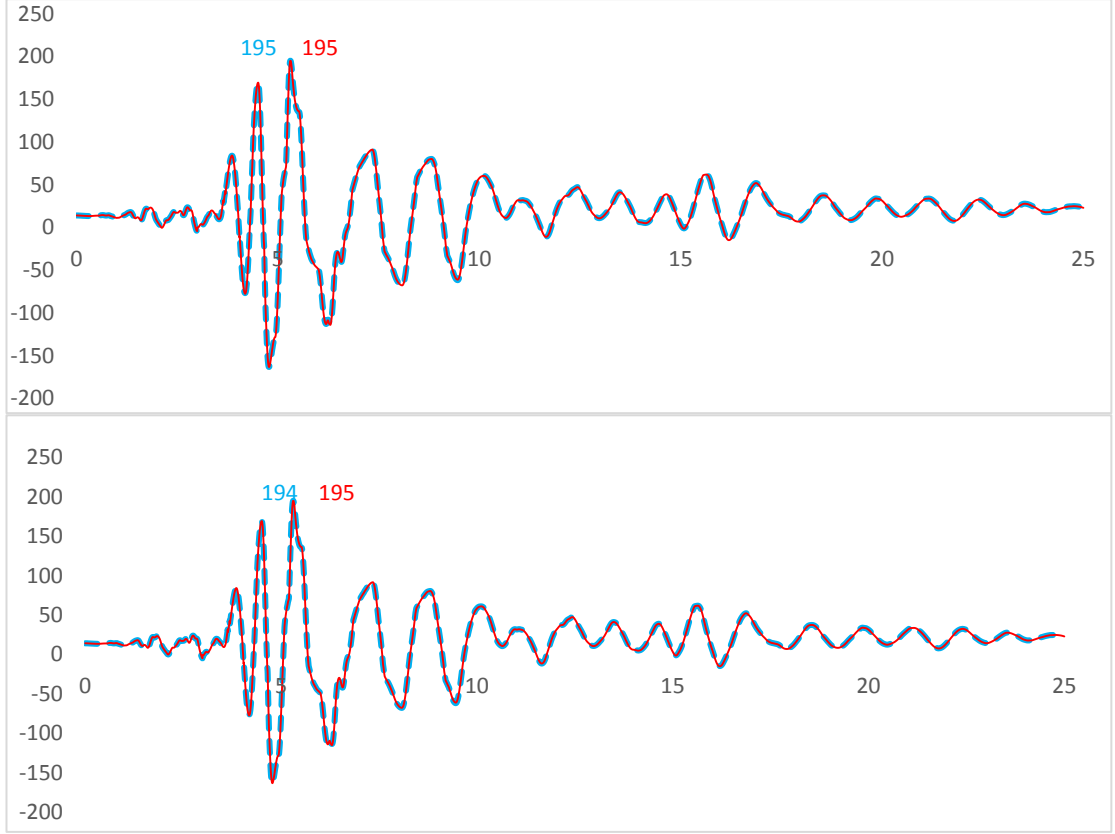
Deprem sırasında yapı kirişlerine etkiyen kesme kuvveti katkısını değerlendirmek çok önemlidir. Kirişlerdeki kesme kuvveti değerlerini alabilmek için yapının 1.katından B101_1, B106_1 ve B111_1 kirişleri seçilmiştir (Şekil 4.11)



Şekil 4.11 : Model Analizinde Kullanılacak Seçilmiş Kirişler

4.1.2.1 Kobe depreminin yatay ve düşey bileşenlerinin kirişlerdeki kesme kuvvet değişimine etkisi





----- Yatay Deprem Etkisi (X+Y)
————— Yatay ve Düşey Deprem Etkisi (X+Y+Z)

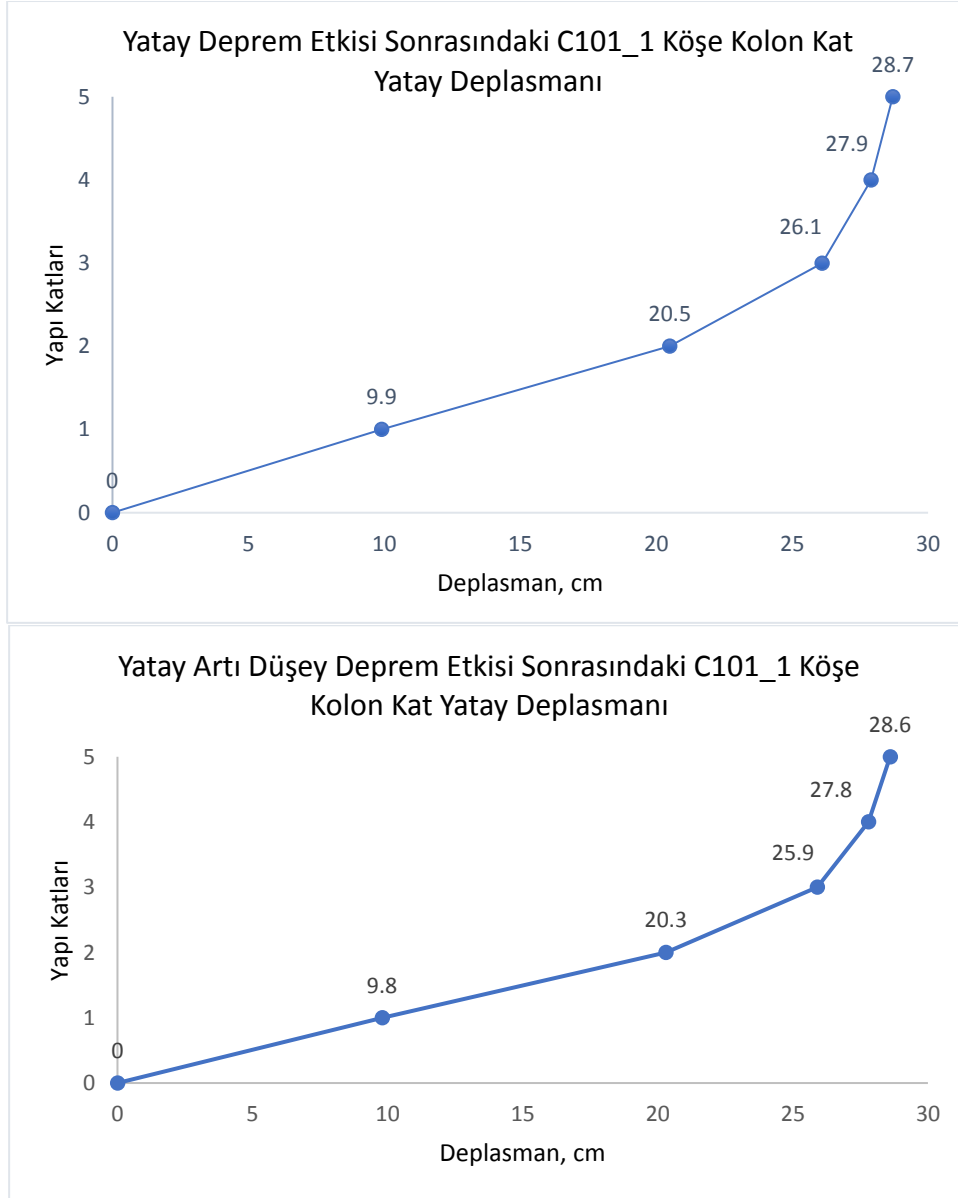
Şekil 4.12 : Kobe Depreminin Sırasıyla B101_1, B106_1 ve B111_1 Numaralı Kirişlere Gelen Kesme Kuvvet Etkisi

Araştırmada kullanılan yedi tane deprem kayıtlarının hepsinde kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri depremin düşey bileşeninin katılımıyla değişiklik göstermemiştir. Örnek olarak Kobe depremi kayıtlarının kirişlere gösterdiği etkiler şekil 4.12’de verilmiştir.

4.1.3 Kat ötelemeleri ve toplam deplasman

Analiz sonrasında kat ötelemelerine bakıldığı zaman deprem kayıtlarının hepsinde yatay bileşen ve yatay + düşey bileşen analiz sonuçlarında herhangi bir önemli farklılık kaydedilmemiştir. Hatta yatay deprem bileşenlerine düşey deprem bileşenleri eklendiği zaman düşey deprem bileşen etkisi yatay kat ötelemelerine engel olduğu fark edilmiştir.

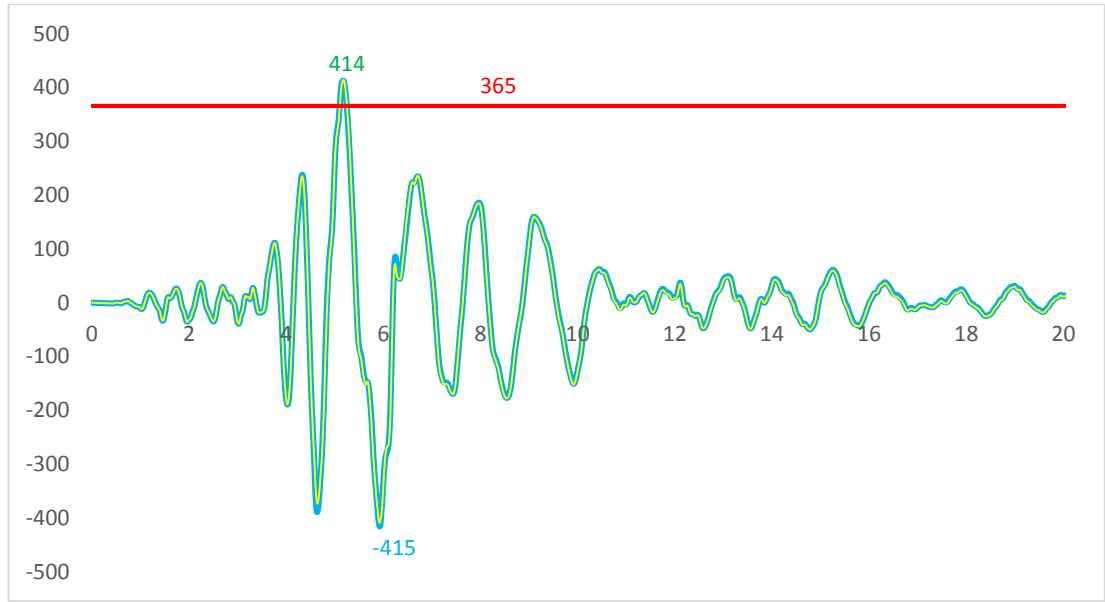
Şekil 4.13’de gösterildiği gibi yatay deprem bileşeni etkisinden oluşan binanın toplam deplasmanı 28.7 cm iken, yatay artı düşey bileşenlerinden oluşan etki toplam deplasman etkisi 28.6 cm olarak kaydedilmiştir. Yani düşey deprem bileşeni eklendiği zaman bina toplam deplasmanı 0.1 cm azalmıştır.



Şekil 4.13: Northridge Depremi Sonrası C101_1 Numaralı Kolonun Kat Deplasman

4.1.4 Kolondaki kesme kuvvet kapasitesi

Kolonlardaki kesme kuvveti kapasitesi ACI 318-89 [13] standartından yararlanılarak bulunmuştur. Şekil 4.14'te örnek olarak Kobe depreminin yatay ve yatay artı düşey etkisi sonrasındaki kesme kuvvet değerleri gösterilmiş ve düz kırmızı çizgiyle 365 değerinde kesme kuvvet kapasitesi verilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi depremin yaklaşık beşinci saniyesinde kolona gelen kesme kuvveti kesme kuvvet kapasitesini aşmıştır.



- Yatay Deprem Etkisi (X+Y)
- Yatay ve Düşey Deprem Etkisi (X+Y+Z)
- Kesme kuvvet kapasitesi

Şekil 4.14: Kobe Depreminin C113_1 Numaralı Kolona Gelen Kesme Kuvvet Etkisi ve Kapasitesi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, depremin düşey bileşeninin yapısal davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla analitik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla simetrik ve düzenli bir plana sahip beş katlı bir betonarme okul binası ele alınmıştır. Seismostruct programı ile yedi deprem kaydı kullanılarak, yatay bileşenlerin eklendiği durum ile yatay ve düşey bileşenlerin birlikte eklendiği durumlar için zaman tanım alanında analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre, yapıya deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin yanı sıra düşey bileşeninin de eklenmesi durumunda yapı kolonlarındaki, özellikle orta kolonlardaki eksenel kuvvetler göz ardı edilemeyecek düzeyde artış göstermiştir. Buna karşın kolonlardaki kesme kuvvetleri düzeyinde önemli bir artış gözlenmemiş olmakla birlikte, kullanılan deprem kayıtlarından birinde yüzde on oranında bir artış gözlenmiştir. Benzer şekilde yapıdaki kiriş kesme kuvvetlerinde herhangi bir değişiklik kaydedilmemiştir.

Düşey deprem etkisinin, kat ötelemeleri ve yapısal deplasmanlar üzerinde de önemli bir etkisi gözlenmemiştir. Bununla birlikte, yatay deprem bileşenlerinin yanı sıra düşey deprem bileşeninin de eklenmesi durumunda kat deplasmanlarında küçük oranda azalma meydana geldiği görülmüştür.

Kolonlardaki eksenel kuvvet düzeyi, deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin yanı sıra düşey bileşeninin de eklenmesi durumunda kolonların binalardaki konumlarına göre değişmektedir. Örnek olarak, bir deprem kaydı için, binanın köşe kolonlarındaki eksenel yük düzeyinde bir farklılık gözlenmezken, kenar ve orta kolonlardaki eksenel yük düzeyinde belirgin değişiklikler gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında göz önüne alınan yapısal sistemin tek çeşit olması ve kullanılan deprem kaydı sayısının az olması sebebiyle, yapılan analitik çalışmalardan kapsamlı bir öneride bulunmak oldukça güçtür. Ancak düşey deprem etkisinin kolonlarda eksenel kuvvetlerini arttırdığı, diğer bazı çalışmalarda da gözlenmiş olup, bu noktadan hareketle, özellikle yeni yapılacak yapıların tasarımında depremin düşey bileşeninin de dikkate alınmasının gerekli olduğu söylenebilir. Gelecekteki çalışmalarda, farklı kat sayısı ile özellikle planda ve düşeyde düzensizliğe sahip binalarda, depremin düşey bileşeninin yapısal davranışa etkisinin araştırılması önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] – “Earthquakes”. Encyclopedia of World Environmental History.2003 pp. 358-364
- [2] – “Fire and Ice: Melting Glaciers Trigger Earthquakes, Tsunamis and Volcanos”. October 27, 2015.
- [3] – N. A. Abrahamson and J. J. Litehiser, “Attenuation of vertical peak acceleration”, Bull. *seism. soc. Am.* 79, 549-580 (1989).
- [4] – Y. Bozorgnia, M. Niazi and K. W. Campbell, “Characteristics of free-field vertical ground motion during the Northridge earthquake”, *Earthquake Spectra* 23, 51 5-525 (1995).
- [5] – A. J. Papazoglou' and A. S. Elnashai “Analytical And Field Evidence Of The Damaging Effect Of Vertical Earthquake Ground Motion”. Earthquake engineering and structural dynamics, Vol. 25, 1109-1137 (1996)
- [6] – Ambraseys, N. N. and Douglas, J “Effect of vertical ground motions on horizontal response of structures”. International Journal of Structural Stability and Dynamics, 3 (2). pp. 227-265. (2003)
- [7] – Sta4-Cad V.13.1 “Structural Analysis for Computer Aided Design”
- [8] – TS500 “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”. Şubat 2000.
- [9] – DBYBHY-2007 “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar”
- [10] – TS498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, Kasım 1997.
- [11] – Seismostruct 2016
- [12] – <https://ngawest2.berkeley.edu>
- [13] – “American Concrete İnstitute 318-89”



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Serik JAKAYEV
Doğum tarihi ve yeri: 1989, Kazakistan
E-posta: serikjakayev@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2013, Kazak Baş Mimarlar ve Mühendisler Akademisi, İnşaat Teknolojileri fakültesi, Malzeme mühendisliği bölümü