

T.C
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞEY DEPREM HAREKETİNİN MEVCUT BETONARME YÜKSEK BİR
BİNA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mukadder SEVİNÇ YILDIZ

KIRIKKALE 2018

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Mukadder SEVİNÇ YILDIZ tarafından hazırlanan DÜŞEY DEPREM HAREKETİNİN MEVCUT BETONARME YÜKSEK BİR BİNA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İlker KALKAN
Anabilim Dalı Başkanı

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

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ
Ortak Danışman

Doç. Dr. İlker KALKAN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Mehmet BARAN

Üye (Danışman) : Doç. Dr. İlker KALKAN

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eda AVANOĞLU SICACIK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şule BAKIRCI ER

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

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

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

DÜŞEY DEPREM HAREKETİNİN MEVCUT BETONARME YÜKSEK BİR BİNA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

SEVİNÇ YILDIZ, Mukadder

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. İlker KALKAN

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ

Temmuz 2018, 65 sayfa

Bu çalışmada, daha önce yapılmış çeşitli akademik çalışmalarda önemli bir değişken olarak ortaya çıkan depremin düşey bileşeninin etkisi, DBYBHY 2007 kurallarına uygun olarak tasarlanmış çok katlı betonarme bir yapı üzerinde incelenmiştir. Zaman-tanım alanında lineer ve lineer olmayan analizler için kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde, düşey ivme /yatay ivme (V/H) oranları dikkate alınmış ve bu kritere göre kayıtlar belirlenmiştir. İlk olarak dikkate alınan depremin iki yatay kaydı yapıya aynı anda etkiltilerek analizler yapılmış, ardından analizler yatay ve düşey bileşenler birlikte alınarak tekrarlanmıştır. Yapılan analizlerde, düşey deprem etkisinin taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve düşey yer değiştirme değerlerinin önemli oranda arttığı sonucu ortaya çıkmıştır. Dikkate alınan en üst kat yatay yer değiştirme ve burulma açısı değerlerinde ise herhangi bir değişim olmadığı ortaya gözlemlenmiştir. Devrilme momentindeki artış, yapının yapısal elemanlarındaki hasar seviyelerini arttıracığından düşey deprem etkisinin, yapının deprem performansını daha da düşüreceği sonucu elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmedeki artışın yapıların dinamik analizlerinde ve tasarımlarında yapılan rijit diyafram kabulünün geçerliliğini yitirmesine sebep olacağı belirlenmiştir. Bu artışlarda en önemli parametrenin V/H oranı olduğu ve deprem süresinin yer değiştirmeleri kayda değer oranlarda etkilemediği görülmüştür. Ancak, deprem süresinin artması ile taşıyıcı elemanlarda oluşan yapısal hasarlar yapının yanal

rijitliğini azaltarak yer değiştirmeleri dolaylı olarak arttıracaktır. Yeni inřa edilecek ve mevcut yapıların deprem analizlerinde dūřey deprem etkisinin dikkate alınmasının gerekliliği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: dūřey deprem etkisi, zaman tanım alanında analiz, deprem performansı, dūřey ivme pik deęeri/yatay ivme pik deęeri (V/H). devrilme momenti, betonarme yapı



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VERTICAL EARTHQUAKE MOTION ON A HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING

SEVİNÇ YILDIZ, Mukadder

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Master Thesis

Supervisor: Doç. Dr. İlker KALKAN

Co-Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ

July 2018, 65 pages

This study investigates the earthquake behavior of R/C structures considering the vertical earthquake motion in a comparative manner. For this purpose, linear and non linear time-history analyses of a high-rise R/C structure designed as per DBYBHY 2007 were conducted including and excluding the vertical earthquake motion. Earthquake records used in the analyses were selected based on the ratio of vertical acceleration to horizontal acceleration (V/H). The frequency-domain analyses of the earthquake records were also performed to compare the predominant frequencies of the records and the structure. Based on the time-history analyses results under the earthquake loading with and without the vertical earthquake motion, the value of the overturning moment and the top-story vertical displacement were found to increase slightly when considering the vertical earthquake motion. The base shear force was also affected by this motion; however, its increase was lower compared to the overturning moment and the top-story vertical displacement. The other two parameters, the top-story lateral displacement and the top-story rotation angle, barely changed under H and H+V loadings. Modal damping ratios and their variations in horizontal and vertical directions were also estimated using response acceleration records. No significant change in the horizontal damping ratio was observed whereas the vertical modal damping ratio noticeably increased under H+V loading. The

results obtained from this study indicate that the desired structural earthquake performance cannot be provided under H+V loading due to the excessive increase in the overturning moment, and the vertical damping ratio should be estimated considering the vertical earthquake motion.

Keywords: vertical earthquake motion; time-history analysis; earthquake performance; vertical-to-horizontal ground motion ratio (V/H); overturning moment; reinforced concrete structure (R/C)



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. İlker KALKAN'a, çalışmalarım sırasında her türlü desteği veren danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selçuk BAŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında, hem iş hem sosyal yaşamımda ve özellikle mesleki konularda daima yardımını gördüğüm patronum Sayın M. Selim KAYIŐOĞLU'na, özel ve iş hayatımda her konuda bana destek olan arkadaşlarım Zeynep KAYIŐOĞLU ve Melek ARSLAN'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımda bana çok destek olan kardeşim, arkadaşım Arş. Gör. Selahattin AKALP'e ve son olarak bana hayatımın her aşamasında olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen annem, babam, kardeşlerim ve sevgili eşim Türker YILDIZ'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırmaları.....	2
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	4
2. BETONARME YAPILARIN DEPREM KUVVETLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI	
2.1. Malzeme Davranışı.....	7
2.1.1. Beton.....	7
2.1.2. Çelik.....	8
2.2. Yapısal Sistemlerin Analizinde Plastik Mafsal Hipotezi.....	8
2.2.1 Betonarme Elemanlarda Plastik Mafsal Kabulü.....	11
2.3. Betonarme Yapının Davranışı.....	14
3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIM İLKELERİ	
3.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri.....	17
3.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	17
3.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi.....	19
3.1.2.1 İvme Spektrumu.....	19
3.1.2.2 Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri.....	20
3.1.2.3 Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı.....	20
3.1.2.4 Mod Katkılarının Birleştirilmesi.....	22
3.1.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.....	23
3.1.3.1 Yapay Deprem Yer Hareketleri.....	23
3.1.3.2 Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri.....	24

3.1.3.3 Kuvvetli Yer Hareketlerinin Ölçeklenmesi.....	24
3.1.3.4 Yer Hareketlerinin Uygulaması İle İlgili Farklı Yönetmeliklerin Değerlendirmeleri	25
3.1.3.4.1 UBC-94	25
3.1.3.4.2 UBC-97	26
3.1.3.4.3 OSHPD-96	26
3.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	27
3.2.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi.....	27
3.2.1.1 Artımsal İtme Analizi İle Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol	27
3.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi	29
3.2.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	29
3.3. Farklı Deprem Yönetmeliklerinde Düşey İvme Etkisinin Değerlendirilmesi.....	29
3.3.1. DBYBHY 2007.....	29
3.3.2. Eurocode 8 -1998	30
3.3.3. NZS 1170-2004.....	31
3.3.4. IS 1893-2000	31
3.3.5. UBC-1997	32
4. DÜŞEY DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ ÇOK KATLI BETONARME YAPININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ	
4.1. Kuvvetli Yer Hareketlerinin Özellikleri ve Seçimi	33
4.2. Yapı Özellikleri ve Sayısal Çözümleme	35
4.2.1. Yapı Özellikleri.....	35
4.2.2. Yapının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Aralığında Hesabı.....	38
4.2.2.1. Modelleme Kabulleri	38
4.2.2.2. Malzeme Modeli	39
4.2.2.3. Yapısal Elemanların Moment-Eğrilik Bağıntılarının Oluşturulması	41
4.2.2.4. Plastik Mafsalları Tanımlanması.....	43
4.2.2.5. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İçin Verilerin Oluşturulması	47

4.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	47
4.3.1. Doğrusal Analiz	47
4.3.2. Doğrusal Olamyan Analiz.....	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
5.1.Öneriler	61
KAYNAKLAR	62



ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
3.1. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar	18
4.1. Deprem kayıtları ve özellikleri.....	34
4.2. Yapının teknik verileri	36
4.3. Yapı elemanlarının kesit özellikleri	37
4.4. Yapının dinamik özellikleri.....	48
4.5. Imperial Valley (1979) Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları	50
4.6. Kobe (1996) Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları.....	52
4.7. Kocaeli (1999) Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Imperial Valley Depremi (1979) sırasında kolonlarda oluşan basınç kırılmasına örnek	5
1.2. Kobe Depremi (1996)'nde oluşan devrilme etkisine örnek.....	5
1.3. Kocaeli Depremi (1999) sırasında oluşan plastik mafsalsal örneği.....	6
2.1. Betonun Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi	7
2.2. Çeliğin Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi.....	8
2.3. Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı	10
2.4. İdealleştirilmiş bünye bağıntısı	11
2.5. Sürekli kiriş mesnet bölgesinde plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsalsal kabulü	12
2.6. Kirişte açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsalsal kabulü	13
2.7. Kesit, eleman ve yapısal davranışı.....	15
2.8. Kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi.....	16
4.1. İvme kayıtları: (a) Imperial Valley,1979 (b) Kobe,1996 (c) Kocaeli,1999	35
4.2. Yapının tip kat planı.....	36
4.3. Yapının 3 Boyutlu Modeli	37
4.4. Yapının 3 Boyutlu Çerçeve Modeli	38
4.5. Perde eleman modelleme kabulü	39
4.6. C35 beton için gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	40
4.7. S420 donatı için gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	40
4.8. Sap2000'de kolon donatısının tanımlanması	41
4.9. Sap2000'de moment-eğrilik bağıntısının oluşturulması	42
4.10. Sap2000'de akma yüzeyi oluşturulması.....	43
4.11. Sap2000'de Kolon ve Perdeler İçin Plastik Mafsalsal Tanımı.....	44
4.12. Sap2000'de Kirişler İçin Plastik Mafsalsal Tanımı.....	45
4.13. Yapının doğrusal olmayan modellemesinin değerlendirilmesi.....	46
4.14. Yatay ve düşey mod şekilleri	47
4.15. Imperial Valley (1979) Depremi Analiz Sonuçları Grafiği	49

4.16. Kobe (1996) Depremi Analiz Sonuçları Grafiği	51
4.17. Kocaeli (1999) Depremi Analiz Sonuçları Grafiği	53
4.18. Deprem Etkileri Altında Oluşan Yapısal Değişiklikler	55
4.19. Imperial Valley (1979) depremi etkisinde yapı elemanlarının Performansları.....	57
4.20. Kobe (1996) depremi etkisinde yapı elemanlarının performansları	57



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER DİZİNİ

$A(T_1)$	Spektral ivme katsayısı
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
B_B	Mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük
B_D	B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer
d	Kesitin faydalı yüksekliği
E	Elastisite modülü
F_i	i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
H	Spektral yatay ivme değeri
H_N	Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik)
I	Bina önem katsayısı
I	Atalet momenti
l_p	Plastik mafsal boyu
M	Eğilme momenti
m_i	Binanın i 'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
M_n	n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle V
	Spektral düşey ivme değeri
M_p	Plastik mafsal momenti
M_{xn}	Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n 'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{yn}	Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n 'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle

$m_{\theta i}$	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i 'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
N	Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
$R_a(T_1)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_a(T_n)$	Deprem Yükü Azaltma Katsayısı
$S_{ae}(T_n)$	Elastik spektral ivme
$S_{aR}(T_n)$	n 'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme
T_D, T_M	Tasarım yerdeğiştirme ve maksimum yerdeğiştirme periyotları
T_m, T_n	Binanın m 'inci ve n 'inci doğal titreşim periyotları [s]
V_t	Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
$w_{i,j}$	Binanın i ve j 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Y	Hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı
z	Kesitin moment sıfır noktasına olan uzaklığı
β	Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
ε	Birim boy değiştirme
θ_i	i 'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
σ	Gerilme değeri
χ	Eğrilik değeri
ϕ	Plastik eğrilik
ΔF_N	Binanın N 'inci katına (tepesine) etkileyen ek eşdeğer deprem yükü
η_{bi}	i 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

Φ_{xin}	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenine doğrultusundaki yatay bileşeni
Φ_{yin}	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenine doğrultusundaki yatay bileşeni
$\Phi_{\theta in}$	Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni

KISALTMALAR DİZİNİ

ASCE	American Society of Civil Engineer
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
EC	Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures
FEMA	Federal Emergency Management Agency
IS	Indian Standard
NBC	Nepal National Building Code
NZS	New Zealand Standards
PEER	The Pacific Earthquake Engineering Research Center
UBC	Uniform Building Code

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde meydana gelen irili ufaklı depremler sonucu çok sayıda can ve mal kaybı olmuş ve olmaktadır. Ülkemizin büyük bir kısmı aktif fay hatlarının üzerinde yer almaktadır. Sanayi bakımından gelişmiş ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler ise ne yazık ki şiddetli deprem üretme ihtimali yüksek olan bu fay hatlarının bulunduğu alanlarda kuruludur. Meydana gelen depremlerde oluşan kayıpların büyük çoğunluğu mevcut yapı stokundaki kalite problemleridir.

Bu problemlerin tespiti ve olası can ve mal kayıplarının en aza indirilmesini sağlayabilmek için binaların performansının tespit edilebilmesi gerekmektedir. Mevcut yapıların performansının belirlenmesi için yabancı birçok yönetmelik bulunmakta iken performans kavramı ülkemizde ilk kez DBYBHY 2007 yönetmeliği ile değerlendirmeye alınmıştır. 2019 yılında yürürlüğe girecek olan “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar” yönetmeliğinde ise daha ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma DBYBHY 2007 hükümlerine göre yapılmıştır.

Yakın geçmişte meydana gelmiş olan ve yapılarda hasar oluşturan büyük depremlerin, [Loma Prieta (1989), Northridge (1994) ve Kobe (1985) vb.] betonarme yapıların yapısal elemanlarında gevrek davranışa (eksenel basınç, çekme ve kesme kırılması) neden olduğu bilinmektedir. Depremin düşey ivme bileşeninin zamanla değişiminin yatay bileşenlere göre baskın olduğu bu depremlerde, bu tür gevrek davranışların oluşmasında düşey deprem ivmesinin etkisi büyük olmasına rağmen yapıların depreme dayanıklı tasarımında bu etki genellikle gözönüne alınmamaktadır. Bu etki; temel olarak iki önemli sebebe dayandırılarak dikkate alınmamaktadır: (a) tasarım ve hesap yöntemlerinde yapılan kabullerin depremin düşey bileşeninin yapıda oluşturduğu etkiyi güvenle karşılayabileceği ve (b) düşey deprem etkisinin yapı üzerinde göz ardı edilebilecek bir enerji içeriğine sahip olmadığı düşünceleridir. Bu konuda Papazoğlu ve Elnashai (1996) tarafından yapılan analitik ve gözlemsel çalışmalar sonucunda yapı ile deprem arasındaki periyot bağlantısının enerji içeriğinden daha önemli olduğu ve depremin düşey bileşeninin etkilerinin iyi tasarlanmış yapılarda önemli hasarlar oluşturduğu ortaya konmuştur.

1.1. Literatür Araştırmaları

Betonarme taşıyıcı sistemlerde depremin yatay ve düşey doğrultudaki etkisi, önemli birçok yönetmelikte (FEMA, UBC 97, IS 1893, NBC 105, DBYBHY 2007, EC8 98, NZS1170 2004, ASCE 2007, ASCE 2010, ASCE 2014) dikkate alınmıştır. Bazı yönetmeliklerde depremin düşey bileşeni yatay bileşeninin belirli bir katı şeklinde dikkate alınırken DBYBHY 2007' de düşey deprem etkilerine karşı yapının düşey düzensizlikleri için belirli sınırlamalar ve yapısal elemanlar için tasarım kuralları getirilmiştir.

Yapılan çalışmalar, (Newmark vd., 1973, Ambraseys ve Simpson 1996, Elgamel ve He, 2004, Bozorgnia ve Campbell, 2004) depremin yatay bileşeni ile düşey bileşeni arasındaki oranın 2/3 değerinin kabul edilebilir bir değer olduğunu belirlemiştir. Elnashai ve Papazoğlu (1996) çalışması, ölçekleme değerinin belirlenmesinde dikkate alınan depremlerin azalım ilişkilerinin regresyon hesaplarında sınırlı bir bölge değil de genel bir bölge varsayımı yapılması ve sonuçların buna dayandırılması sonucunu ortaya koymuştur. Ayrıca yakın bölge etkisinde gerçekleşen büyük depremlerde bu oranın 2/3 değerinin oldukça üzerinde olabildiği gözlemlenmiştir. Spektral düşey ivme değerinin (V), spektral yatay ivme değerine (H) oranı olarak bilinen bu değer, düşey deprem etkisini tanımlayabilmek ve yapısal deprem hesapları için önemli bir parametre olarak dikkate alınmaktadır (Kim vd., 2011).

Özellikle yapılarda oluşturduğu hasarlar açısından önemli olan Kalamata (1986), Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Kobe (1996) ve Kocaeli (1999) gibi depremlerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda yapılan bu çalışmalar, düşey deprem etkisinin özellikle yapıların faya yakınlığı açısından da sonuçlar üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca depremin yatay bileşeni ile düşey bileşenlerinin yayılma davranışlarının farklılık göstermesi ve buna bağlı olarak varış sürelerindeki farklılık da bu çalışmalarda önemli diğer bir parametre olarak dikkate alınmıştır.

Depremin düşey ivme bileşeninin yapıların davranışına etkilerinin tahmini için birçok araştırmacı tarafından analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elnashai ve Papazoglou, (1996) tarafından yapılan çalışmada, düşey zemin hareketinin yapılarda

önemli hasara yol açtığını ve yapının periyodu ile yer hareketinin şeklinin depremin enerji içeriğinden daha etkili olduğu sonucuna varmıştır. [1] Ambraseys ve Simpson, (1996), Depremin büyüklüğü, kaynağa uzaklığı ve zemin özelliklerine bağlı düşey ivme spektrum denklemleri geliştirmişlerdir. [2] Elnashai ve Papazoglou (1997)'nin yapmış olduğu başka bir çalışmada yapıların modal analizinde kullanılmak üzere, nonlinear elastik olmayan ivme spektrumları geliştirilmiştir. [3] Bozorgnia ve diğ., (1998) Nothridge depreminden elde edilen yer hareketleri kayıtlarını kullanarak yaptıkları çalışma; dikey spektral ivme değerlerinin yapıların dinamik özelliklerini etkilediğini belirtmiştir. [4] Ambraseys ve Douglas (2003), yakın alan etkisine sahip 186 farklı deprem kaydını kullanarak yaptıkları çalışmada tek serbestlik derecesine sahip yapılarda depremin düşey etkisinin ihmal edilebilir olduğu sonucuna varmıştır. [5] Elgamel ve He (2004) ise düşey bileşenle birlikte değerlendirilen düşük frekanstaki uzak alan depremlerinin yapısal performans üzerindeki etkisinin, yüksek frekanstaki yakın alan depremlerine göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. [6]

Yakın geçmişte yapılmış olan çalışmalardan; Kim ve Kim (2013) ve Ghaffarzadeh ve Nazeri (2015) tarafından yapılan çalışma, özellikle faya yakın sahalardaki yapılarda düşey yer hareketinin yatay spektral yerdeğiştirmeyi arttırdığını belirlemiştir. [7,8]

Wilson vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, özellikle sismik kuvvetlerin orta ve yüksek ölçekte olduğu bölgelerde eğik ve eğimli köprülerin sismik analizi ve tasarımında düşey yer hareketlerinin dikkate alınmasının önemi belirtilmiştir. [9] Jeon vd. (2015)'nin çalışmasında da düşey yer hareketinin otoyol köprülerindeki kesitlerde oluşan aksenal kuvvet artışlarının köprülerdeki hasar riskini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. [10]

Yine başka bir çalışma, depremin yatay bileşeni ile birlikte düşey bileşeninin taban kesme kuvveti, devrilme momenti, burulma açısı, yatay ve düşey yerdeğiştirmeler gibi yapısal tasarım parametreleri üzerindeki etkisini sayısal yöntemlerle araştırmıştır. (Baş, Kalkan vd. 2015, 2016, 2017) Imperial Valley (1979), Kobe (1996) ve Kocaeli (1999) depremlerine ait yatay ve düşey deprem kayıtlarının kullanıldığı çalışmalar, spektral düşey ivme değerinin (V), spektral yatay ivme

değerine (H) oranının (V/H) yapısal tasarım parametreleri üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. [11-13]

Beyen ve Eren, (2015) tarafından yapılan çalışmada düşey depremin tipik bir binanın performansına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtları ülkemizde geçmişte gerçekleşmiş olan Denizli (1976 ve 1995), Balıkesir (1979 ve 1984), Hatay (1981), Erzincan (1992), Kocaeli (1999), Düzce (1999), Bingöl (2003) ve Sarayköy (2003) depremlerine aittir. Çalışmadan çıkan sonuçlardan en belirgin olanı depremin düşey bileşeninin yapının kolonlarında ek normal kuvvetlere neden olmasıdır. Çalışmada araştırılan diğer parametrelerden taban kesme kuvveti ve yatay kat yerdeğiştirme değerlerinde ise belirgin değişikliklerin olmadığı gözlemlenmiştir. [14]

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, depremin yatay ivme bileşenlerinin düşey bileşenle birlikte değerlendirildiğinde betonarme yüksek bir yapının yapısal tasarım parametreleri üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla hazırlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında farklı analiz yöntemleri arasından zaman tanım alanında hesap yöntemi tercih edilmiş ve zeminin etkisini göz ardı edebilmek amacıyla düşey yapısal elemanlar temel seviyesinde ankastre mesnetler ile modellenmiştir. Hesap yöntemi olarak zaman tanım alanında hesap yönteminin tercih edilmesindeki temel neden ana değişken olarak kabul edilen V/H oranının tespit edilerek yapısal tasarım parametreleri üzerindeki değişimlerinin daha gerçekçi olarak belirlenebilmesidir.

Depremin düşey bileşeninin yatay bileşenlerle birlikte yapının yapısal tasarım parametrelerini belirleyebilmek için zaman tanım alanında hesaplarda kullanılmak üzere Imperil Valley (1979), Kobe (1995) ve Kocaeli (1999) depremlerine ait ivme kayıtları PEER (2015) veri tabanından ham olarak elde edilmiş ve temel eksen düzeltmeleri yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan depremlerin gerçekleşmesi esnasında oluşmuş hasarlara örnekler; Şekil 1.1, Şekil 1.2 ve Şekil 1.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Imperial Valley Depremi (1979) sırasında kolonlarda oluşan basınç kırılmasına örnek



Şekil 1.2. Kobe Depremi (1996)’nde oluşan devrilme etkisine örnek



Şekil 1.3. Kocaeli Depremi (1999) sırasında oluşan plastik mafsal örneği

Elde edilen verilerle her üç deprem kaydı için ayrı ayrı olmak üzere; önce depremin yatay bileşenleri etkisi altında, ardından depremin yatay bileşenleri ile düşey bileşeninin etkisi altında analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında elde edilen sonuçlar ile çeşitli akademik çalışmalar da yapılmıştır. Kalkan, Baş ve diğerleri (2015,2016 ve 2017) tarafından yapılan çalışmalar, yapıya ait yapısal parametrelerin değişiminde depremin yatay bileşenlerinin olduğu kadar düşey bileşeninin de önemli olduğu sonucunu gözönüne sermiştir. Çalışmaların sonuçları; depremin düşey spektral ivme değerinin (V), yatay spektral ivme değerine (H) oranının (V/H) yapının tasarım parametrelerinde önemli değişikliklere yol açtığı ve buna bağlı olarak yapının performansının önemli ölçüde etkilenebileceğini ortaya koymuştur. [11, 12, 13]

2. BETONARME YAPILARIN DEPREM KUVVETLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI VE YAPILAN KABULLER

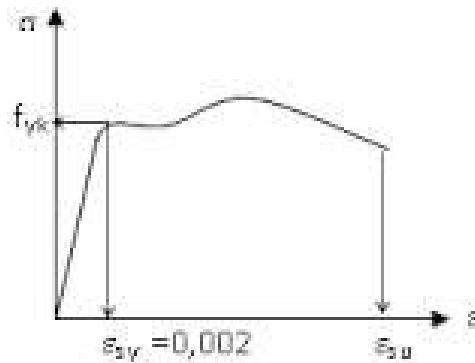
2.1. Malzeme Davranışı

2.1.1. Beton

Beton, basınç mukavemeti yüksek, buna karşılık çekme mukavemeti düşük gevrek bir malzemedir. Betonun basınç dayanımı arttıkça gevrekliği de artmaktadır. Beton, çelik ile birlikte kullanıldığında ise davranışı sünek hale gelir.

Beton zamana ve üzerine uygulanan basınç kuvvetine göre şekil değiştirmeye maruz kalır. Sertleşmeye bırakılan beton, zamana ve bulunduğu ortamın özelliklerine göre hacim değiştirir. Betonun içinde bulunan suyun buharlaşması ile büzülme (rötre), bulunduğu ortamdaki nemden veya suya maruz kalmaktan dolayı içindeki suyun artması ile de şişme meydana gelir. Her iki şekil değiştirme etkisi de yüklemeye bağımsız olarak sadece zamana ve betonun içinde bulunduğu ortama bağlı olarak oluşur.

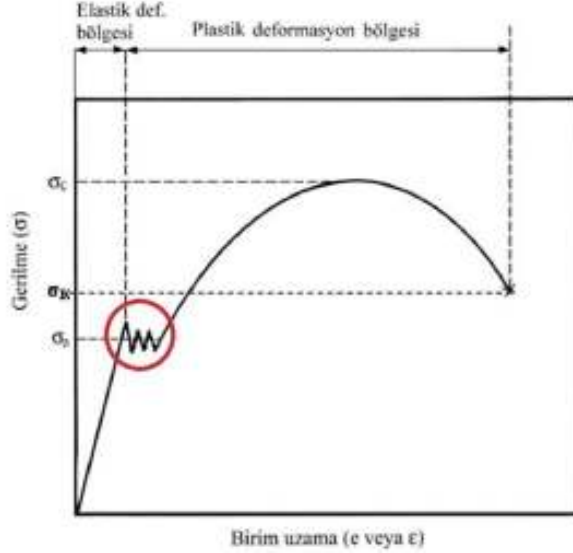
Betonun basınç altındaki şekil değiştirme eğrisi ise Şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.1. Betonun Gerilme-Şekil değiştirme Eğrisi

2.1.2. Çelik

Çelik malzemenin basınç mukavemeti düşük, çekme mukavemeti yüksektir. Çelik, sünek davranış sergiler ancak basınç kuvveti etkisinde burkulmaya maruz kalır. Bu nedenle beton ile birlikte kullanıldığında daha etkin sonuçlar elde edilmektedir. Çeliğin yük altındaki davranışı elastik ve plastik deformasyon bölgesi olarak değerlendirilir. Elastik deformasyon bölgesi, yük uygulanıp kaldırıldığında malzemenin kalıcı şekil değiştirmeye maruz kalmadığı ve eski halini alabildiği bölgedir. Plastik deformasyon bölgesi ise malzemenin yük altında kalıcı şekil değiştirmeye uğradığı bölgedir.



Şekil 2.2. Çeliğin Gerilme-Şekil değiştirme Eğrisi

2.2. Yapısal Sistemlerin Analizinde Plastik Mafsal Hipotezi

Betonarme bir yapı sistemi yatay ya da düşey yükler altında doğrusal olmayan davranış sergiler. Bunun genel olarak iki nedeni vardır:

a) Betonarme yapı sistemini oluşturan malzemeler doğrusal-elastik değildir. Bu nedenle gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) bağıntıları da doğrusal değildir.

b) Değişen geometriler nedeniyle denge denklemleri doğrusal olmamaktadır.

Deplasmanların denge denklemlerindeki etkisinin göz ardı edilemeyecek seviyeye ulaştığı sistemlerde, denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılabilmektedir.

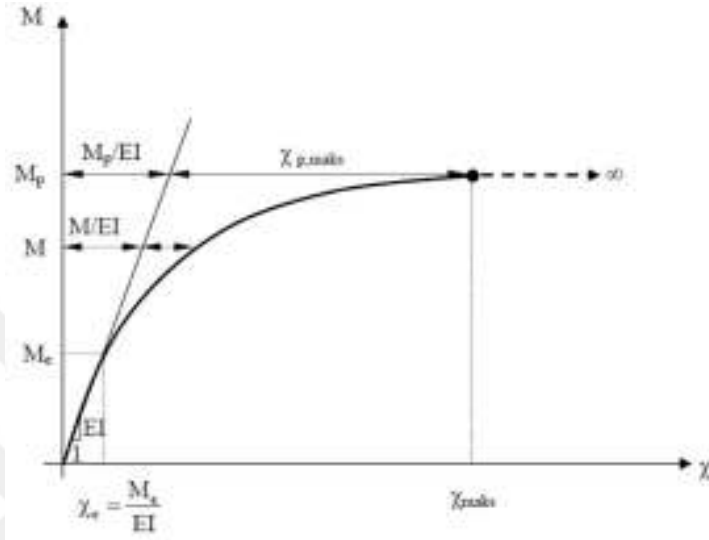
İkinci Mertebe Elastoplastik Teori olarak adlandırılan bu yöntem, malzemelerin doğrusal olmayan davranışını ve geometrik değişimlerin denge denklemlerine etkisini dikkate almaktadır.

Yapı sistemlerinin deprem kuvvetleri etkisindeki davranışını belirlemek için genellikle doğrusal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, yapıların deprem kuvvetleri etkisi altında elastik sınırlar içinde kalacağı varsayımına dayanmaktadır. Doğrusal yöntemler, yapının elastik kapasitesinin belirlenmesi ve ilk elastik ötesi davranışın nerede olabileceğinin tespit edilmesini sağlayabilmekle beraber yapının göçme seviyesinin belirlenmesini sağlayamaz.

Doğrusal olmayan deplasmanların sistem üzerindeki etkilerini belirlerken şekildeğiştirmelerin plastik mafsal olarak adlandırılan belirli mesnet noktalarında toplandığı, yapı sisteminin bunun dışında kalan kısımlarının elastik davrandığı kabul edilen plastik mafsal hipotezinden yararlanılmaktadır.

“Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelmektedir. Yeterli süneklığe sahip betonarme kesitleri eğilme momenti-eğrilik ($M-\chi$) ilişkileri incelendiğinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının doğrusal-elastik olarak değiştiği kabul edilebilir. Bu bölgede, kesitteki beton ve beton çeliği de doğrusal davranış bölgesinde kalmaktadır. Eğilme momentinin artan değerleri için, sırasıyla kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelmektedir. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve beton çeliğinde doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hakim olmaya başlaması, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı terk etmesine neden olmaktadır. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde, eğri yataya yakın

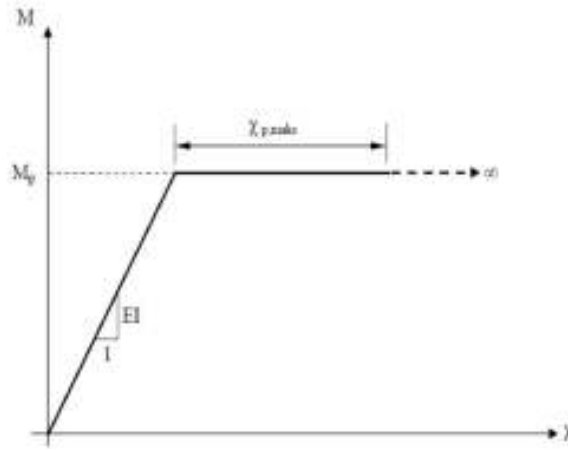
olmaktadır. Plastik davranışın hakim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artımlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir” [15,16]



Şekil 2.3. Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bölgeler, yatay ve düşey doğru parçaları ile idealleştirilebilmektedir. Bu bölgeler gerçekte kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmamaktadır ancak çekme donatısının akma sınırına ulaşması ve betondaki birim kısalmanın ϵ_{co} sınır değerine ulaşması; bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilebilmektedir. [17]

Plastik mafsalarda kesitteki dönmeler, eğilme momentinin en büyük değerine (M_p) ulaştığında plastik mafsal oluşmaktadır. Plastik mafsal ile adi mafsalı birbirinden ayıran temel özellik, kesitte moment artışı olmasa dahi plastik mafsal bölgesi dönmeye devam etmektedir.



Şekil 2.4. İdealleştirilmiş bünye bağıntısı

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

$$M < M_p \text{ için } \chi = M/EI \quad (2.1)$$

$$M = M_p \text{ için } \chi \chi_{p,max} \quad (2.2)$$

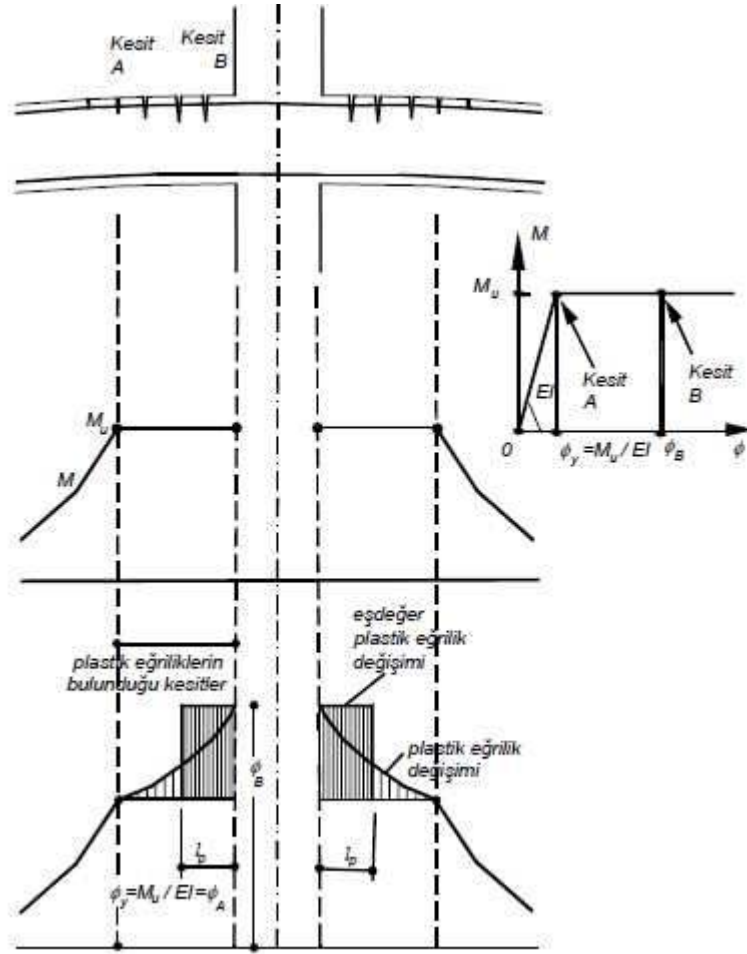
şeklinde idealleştirilmektedir (Şekil 2.4).

2.2.1. Betonarme Elemanlarda Plastik Mafsal Kabulü

Kirişlerde, basit eğilme etkisinde plastik şekildeğiştirmeler kiriş eksenine boyunca ve değişken olarak meydana gelir. Kirişin mesnet bölgesindeki eğilme momenti ve eğrilik değişimi Şekil 2.5'te verilmiştir. Kesitin A noktasında moment, M_u değerine ulaşmış ve plastik eğrilik meydana gelmiştir. Kesitin B noktasında ise moment artışı olmamasına karşın plastik eğrilik değeri artmıştır. Momentin M_u değerinden daha küçük olduğu kesitlerde ise elastik eğrilik;

$$\phi = M/EI \quad (2.3)$$

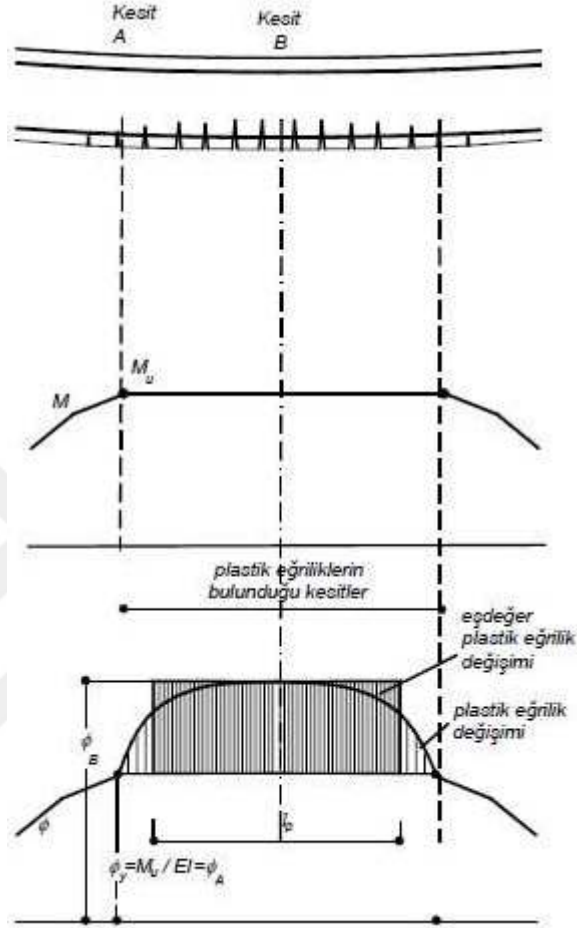
bağıntısıyla belirlenir. (2.3) bağıntısında da görüldüğü gibi elastik eğrilik momentle orantılıdır.



Şekil 2.5. Sürekli kiriş mesnet bölgesinde plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsallık kabulü. (Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, 2008) [18]

Kesitin A noktası ile kolona yakın olan B noktası arasındaki eğriliklerin toplamı, kesitlerin birbirine göre relatif dönmesini oluşturur. Şekil 2.5'teki taralı alan, eğrilik değişimini ifade etmektedir. Kesitin B noktasındaki plastik eğrilik değeri göz önünde bulundurularak taralı alan, dikdörtgen olarak idealize edilebilir ve bu dikdörtgenin boyu l_p plastik mafsallık boyu olarak kabul edilir. Bu boy, kirişte en büyük plastik eğrilik meydana geldiği parça olarak da görülebilir. Şekil 2.6'da ise kirişin açıklık bölgesinde oluşan eğilme momenti, eğrilik değişimi ve buna bağlı olarak plastik mafsallık oluşumu gösterilmiştir. Görüldüğü gibi moment diyagramının mesnet

bölgesine göre daha yumuşak bir değişim göstermesi, plastik mafsallık boyunun da büyük olmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.6. Kirişte açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsallık kabulü (Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, 2008) [18]

Plastik mafsallık boyu; elemanın kesit özellikleri, kesitte oluşan normal kuvvet, kesit boyunca oluşan eğilme momenti değişimi ve eğrilik moment değişimine bağlı olarak belirlenmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar; kirişlerde plastik mafsallık boyunun $l_p \geq 0.5 d$ olmak üzere;

$$I_p = 0.25 d + 0.075 z \quad (2.4)$$

$$I_p = 0.50 d + 0.050 z \quad (2.5)$$

d : Kesitin faydalı yüksekliği

z : Kesitin moment sıfır noktasına olan uzaklığı

bağıntıları ile belirlenebileceğini belirtmiştir. DBYBHY 2007' de bu değer, I_p , kesit yüksekliğinin yarısı olarak belirlenmiştir.

Kirişlerde genellikle düşey yük etkisi altında eğilme momenti, açıklıkta ve mesnet bölgesinde maksimum değerlere ulaştığı için plastik mafsallar da bu bölgelerde meydana gelir. Deprem yükleri etkisi altında ise mesnet bölgelerinde oluşan eğilme momentleri daha büyük değerlere ulaştığı için plastik mafsallar mesnet bölgelerinde oluşur.

Kolonlarda ise hem düşey yükler hem de deprem yükleri etkisi altında kolonun alt ve üst mesnetlerinde maksimum momentler meydana gelir. Kolonlarda da plastik mafsallar bu bölgelerde oluşur.

2.3. Betonarme Yapının Davranışı

Betonarme; basit olarak, beton ile çelik donatı çubuklarının bir araya getirilerek birbirlerinin eksiklerini tamamlayan sistem bütünü olarak tanımlanabilir. Beton yüksek basınç mukavemetine sahipken çekme mukavemeti oldukça düşüktür. Çelik ise aksine yüksek çekme mukavemetine sahipken basınç mukavemeti zayıftır. İki malzemenin bir arada çalışması, her bir malzemenin zayıf yönlerinin tolere edilmesini sağlar. Ayrıca beton ile sarılan çelik malzeme; korozyon, ısı etkileri gibi dış etkilere maruz kalmaktan da korunmuş olur.

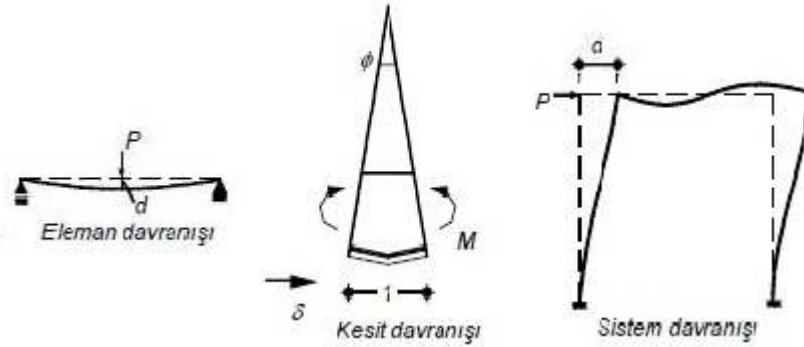
Betonarme yapıların düşey yükler ve deprem yükleri etkisi altında sünek davranış sergilemesi beklenir. Süneklik; yapıdaki elemanların ya da yapı sisteminin düşey

yükler veya deprem yüklerinde önemli değişiklikler olmaksızın elastik sınırların ötesinde şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kapasitesi olarak tanımlanır.

Süneklik açısından yapısal davranış değerlendirilirken dört farklı unsur vardır;

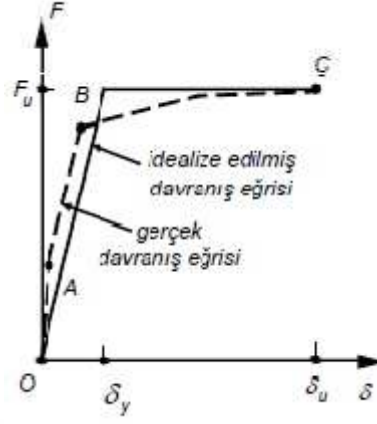
- a) Malzeme sünekliği
- b) Kesit (eğrilik) sünekliği
- c) Eleman (dönme) sünekliği
- d) Yapısal (yerdeğiştirme) süneklik

Malzeme sünekliği; yapıda kullanılan malzemelerin plastik şekildeğiştirme kapasiteleri ile ifade edilirken kesit sünekliği kesitlerin plastik şekildeğiştirmeleri ile ifade edilir. Eleman (dönme) sünekliği; kolon, kiriş gibi yapısal elemanların plastik dönmeleri ile belirlenir. Yapısal elemanlardaki plastik dönmeler özellikle yapının kolon - kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği için önemlidir. Yapısal (yerdeğiştirme) süneklik değerlendirmesi ise yapının deprem yükleri etkisi altında elastik ötesi davranışının ve performansının belirlenmesi için yapılır.



Şekil 2.7. Kesit, eleman ve yapısal davranışı (Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, 2008) [18]

Süneklik; herhangi bir yük etkisi ile buna karşılık gelen şekildeğiştirme için tanımlanır. Şekil 2.8 de kuvvet ile şekildeğiştirme arasındaki değişim idealleştirilmiş olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.8. Kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi (Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, 2008) [18]

Yapının; seyrek meydana gelen ancak şiddeti fazla olan deprem kuvveti etkilerini elastik ötesi şekil değiştirerek karşılaması beklenir. Yapının elastik sınırların ötesine geçerek sünmesi ve kesit tesirlerinde yüksek artışlar olmadan şekildeğiştirme yapabilmesi istenir. Yapı eğer sünekse deprem esnasında zeminden yapıya gelen enerji, yapının dayanımı önemli bir kayba uğramaksızın yutulur. Süneklik sayesinde yüklerin aşırı artması nedeniyle akma sınırına ulaşıp plastik şekildeğiştirme yapan elemanlar, iç kuvvetlerin daha az zorlanan elemanlara dağıtılmasını sağlar. Bu şekilde plastik şekil değiştirerek hasar gören elemanların müsaade edilen oranı süneklikle orantılıdır. Deprem kuvvetleri etkisindeki yapının yeterli sünekliğe sahip olamaması toptan göçmeyi oluşturan büyük hasarlara sebep olmaktadır.

3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIM İLKELERİ

Yüzölçümünün önemli bir kısmı aktif fay hatları üzerinde bulunan ülkemizde mevcut yapıların performansı ve yeni yapılar için depreme dayanıklı yapı tasarımı çok önemlidir. Çalışmanın yapıldığı tarihte yürürlükte olan DBYBHY 2007 deprem yönetmeliğinde depreme dayanıklı yapı tasarımı için; doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri olmak üzere iki ana hesap yöntemi belirlenmiştir. Bu bölümde bu hesap yöntemleri ile ilgili kısa bilgiler verilecektir.

3.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Doğrusal hesap yöntemlerinde malzemenin doğrusal elastik bölgede ve küçük miktarlarda deformasyon yaptığı kabul edilir. Gerçekte doğrusal olmayan davranış, yapı davranış katsayısı ile doğrusallaştırılmış olur.

3.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Eşdeğer deprem yüğü hesap yöntemi, yapı yüksekliği sınırlandırılmış binalar için yaklaşık deprem yükünü belirlemek için kullanılır. Yapının birinci doğal titreşim periyodu için deprem yüğü hesaplanarak yapı elemanlarına rijitlikleri oranında dağıtılır. Yapı yüksekliği fazla olan binalarda kullanılması uygun değildir. Yöntemin uygulanabileceği yapılar Çizelge 3.1 de verilmiştir. [19]

Çizelge 3.1. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar
(DBYBHY 2007)

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar ve B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

Çizelgede;

H_N : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik)

η_{bi} : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısıdır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, taban kesme kuvveti de olarak bilinir. Yapının tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü Denklem 3.1 ile belirlenir.

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W \quad (3.1)$$

V_t : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

W : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı

$A(T_1)$: Spektral ivme katsayısı

$R_a(T_1)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı

I : Bina önem katsayısı

Yapının toplam deprem yükü belirlendikten sonra denklem 3.2, 3.3 ve 3.4 yardımıyla katlara dağıtılır.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.2)$$

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad (3.3)$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (3.4)$$

ΔF_N : Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü

$w_{i,j}$: Binanın i ve j'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

F_i : i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü

3.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi

“Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir”. [19] Bu yöntem yüksek yapılar için uygun bir yöntemdir.

3.1.2.1. İvme Spektrumu

Herhangi bir n'inci titreşim modunda gözönüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı denklem 3.5 ile belirlenir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{as}(T_n)}{R_g(T_n)} \quad (3.5)$$

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

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

$R_a(T_n)$: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

3.1.2.2. Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınır. Modal deprem yükleri her katta bu serbestlik dereceleri için hesaplanır. Ek dışmerkezlik etkisinin de gözönüne alınabilmesi için deprem doğrultusuna dik yöndeki kat boyutunun %5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalarda ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanır.

Döşeme süreksizliklerinin (A2) bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekildeğişirmelerinin gözönüne alınmasını sağlayabilecek yeterlikte dinamik serbestlik derecesi gözönüne alınır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta farklı noktalarda bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik yöndeki kat boyutunun %5'i kadar kaydırılarak uygulanır. Bu binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri denklem 3.2'ye göre de hesaplanır. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi gözönüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak birleştirilen modal büyüklüklere doğrudan eklenir.

3.1.2.3. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, hiçbir zaman her bir mod için hesaplanan etkin kütle'lerin toplamı bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olamaz.

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.6)$$

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

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (3.7)$$

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

- Y : Hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı
- M_{xn} : Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- M_{yn} : Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- M_n : n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
- N : Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
- m_i : Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
- $m_{\theta i}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
- Φ_{xin} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni
- Φ_{yin} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni
- $\Phi_{\theta in}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni

θ_i : i'inci katta tanımlanan İkinci Mertebe Gösterge Değeri

“Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkin olan titreşim modlarının gözönüne alınması ile yetinilebilir”. [19]

3.1.2.4. Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanması gereken, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için kurallar vardır. Bu kurallar aşağıdaki gibidir:

$T_m < T_n$ olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı* uygulanabilir. Bu koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı* uygulanır.

T_m, T_n : Binanın m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotları [s]

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, mod katkılarının birleştirilmesi ile ilgili kurallara göre birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{IB} 'nin, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'ne göre hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t 'ye oranı β değerinden küçük ise ($V_{IB} < \beta V_t$), Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, denklem (3.8)'e göre büyütülür.

Yapıda; A1, B1 veya B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması durumunda $\beta = 0.90$, aksi takdirde $\beta = 0.80$ alınır.

$$B_D = \frac{\beta V_1}{V_B} B_B \quad (3.8)$$

B_B : Mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük

B_D : B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer

3.1.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Bu hesap yönteminde yapıya gelen deprem kuvveti hesaplanırken yapay olarak üretilen veya önceden kaydedilmiş ya da benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılır.

3.1.3.1. Yapay Deprem Yer Hareketleri

DBYBHY 2007'ye göre yapay yer hareketlerinin kullanılabilmesi için aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilmesi gerekir.

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

b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g 'den daha küçük olamaz.

c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olamaz. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri, denklem (3.5) ile hesaplanır.

Hesapta kullanılacak yer hareketleri kayıtlarının üç adet olması durumunda sonuçların maksimum değeri, yedi adet olması durumunda ise sonuçların ortalama değeri göz önünde bulundurulur.

3.1.3.2. Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilmesi için yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşullarının da gözönüne alınması gerekir. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda da en az üç deprem yer hareketi üretilir ve yapay deprem yer hareketlerinin üretilmesi ile ilgili kurallar geçerlidir.

3.1.3.3. Kuvvetli Yer Hareketlerinin Ölçeklenmesi

Kaydedilmiş deprem kayıtları, depreme dayanıklı yapı tasarımında ihtiyaç duyduğumuz temel bilgileri bize sunmaktadır. Günümüzdeki deprem tasarımı kuralları, çoğunlukla zeminin tepki spektrumuna dayandırılmaktadır. Ancak tasarımda tepki spektrumu ile birlikte zaman tanım alanında da analizler gerçekleştirilmektedir. Mevcut deprem kayıtları üzerinde işlemler yaparak belli düzeylerde tepki spektrumuna uygunluğunun sağlanması ve analizlerde kullanılabilmesi için ölçeklendirme yapılması gerekmektedir.

Gerçek deprem kayıtları, tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde iki farklı şekilde ölçeklenebilir; Bu yöntemlerden biri zaman ortamında ölçekleme diğeri de frekans ortamında ölçeklemedir.

Zaman ortamında ölçekleme yönteminde, seçilen yer hareketi kaydı 1'den büyük veya 1'den küçük, sabit bir katsayı ile çarpılıp ölçeklenerek, istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem, seçilen yer hareketi kaydının frekans içeriğini değiştirmez. Birden fazla deprem

kaydı kullanılması durumunda, ölçekleme işlemi her bir kayıt için ayrı ayrı yapılabileceği gibi hedef tasarım ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da değerlendirilebilir. Bu yöntem, tek bir deprem kaydı veya birden çok deprem kaydı kullanılarak yer hareketinin ölçeklenmesine olanak sağlar.

Frekans ortamında ölçekleme yönteminde de, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Bu yöntem ile yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmediği için, klasik yapay deprem kaydı üretme metotlarına kıyasla daha etkili bir yöntemdir.

3.1.3.4. Yer Hareketlerinin Uygulanması ile İlgili Farklı Yönetmeliklerin Değerlendirmeleri

3.1.3.4.1. UBC-94

Bu yönetmelik kapsamında yapılacak yapıların analizinde zaman tanım alanında hesaplar sırasında kullanılacak kayıtların seçimi ve uygulanması için aşağıdaki hususlar geçerlidir;

- En az üç adet kaydedilmiş yatay yer hareketi çifti seçilerek kullanılmalıdır.
- Seçilen yer hareketi kayıtları, tasarım yer hareketinin fiziksel özellikleri ile uyumlu kuvvetli yer hareketi sürelerini de göstermelidirler.
- Önemli bir aktif fayın 15 km çapındaki bir alanda geliştirilen kayıtlara faya yakınlık etkisi de dahil edilmelidir.
- Seçilen yatay yer hareketi bileşen çiftlerinden her biri için ölçeklendirilmiş bileşenlerin % 5 sönüm spektrumlarının SRSS' si oluşturulmalıdır.
- Zaman geçmişlerinin SRSS spektrumlarının ortalama değeri; T_1 gözönüne alınan doğrultuda binanın periyodu olmak üzere, T_1-1' den T_1+2' ye kadar olan aralıkta, % 5 sönümlü tasarım spektrumunun 1.3 katının % 10'dan fazla altına düşmeyecek şekilde oluşturulmalıdır.

- Her bir zaman geçmişi çifti modele, ktle dışmerkezliğinin en elverişsiz durumu gözönüne alınarak aynı zamanda uygulanmalıdır.
- Elde edilmek istenen parametreler her bir zaman geçmişi için hesaplanmalıdır. Eğer üç adet yer hareketi kaydı ile analiz yapıldıysa tasarım için bu değerlerin maksimumu kullanılmalıdır. Yedi ya da daha fazla kayıt ile analiz yapılması durumunda ise değerlerin ortalaması kullanılabilir.

3.1.3.4.2. UBC-97

Aşağıda belirtilen farklılıklar dışında UBC-97'nin gereklilikleri UBC-94 ile aynıdır.

- UBC-97 kaydedilmiş deprem kayıtları ile yapay deprem kayıtlarını ayırır. En az üç adet kaydedilmiş yer hareketi gerekmektedir. Ancak elde kullanılmaya uygun yer hareketi kaydı yoksa yapay yer hareketlerinin kullanılmasına izin verilir.
- T_D ve T_M tasarım yerdeğiştirme ve maksimum yerdeğiştirme periyotları olmak üzere; ölçeklendirme periyot aralığı olan T_1-1 ile T_1+2 aralığı; $0.5T_D$ ile $1.25T_M$ olarak değiştirilmiştir.

3.1.3.4.3. OSHPD-96

Bazı farklılıklar hariç genel esasları UBC-94 ile aynıdır.

- Yer hareketi yatay bileşen çiftleri en az üç kaydedilmiş olaydan seçilmelidir.
- Eşleştirmenin periyot aralığı $T_1 -1.0$ s' den $T_1 +1.0$ s' ye kadar olmalıdır.
- Elde edilen zaman geçmişlerinin süresi tasarım temelli depremin veya maksimum olası depremin büyüklük ve kaynak özellikleri ile tutarlı olmalıdır.
- Kaynağa yakınlık katsayısı N' nin 1' den büyük olduğu sahalarda için elde edilen yer hareketleri kayıtları için kaynağa yakınlık durumu gözönüne alınmalıdır.

3.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri, verilen bir deprem için sünük davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme kapasiteleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet değerlerinin hesaplanmasında kullanılır.

3.2.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi; deprem kuvvetleri etkisinde yapıda oluşacak yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme değerlerinin kontrolünü esas almaktadır. Belirli bir deprem yüğü için yapıda oluşacak tepe yerdeğiştirmeleri sonucunda yapının hedef performansı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, kat sayısı rijit bodrum hariç 8'den fazla olmayan ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlayan yapılarda kullanılabilir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. [19]

3.2.1.1. Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde

İzlenecek Yol

Artımsal itme analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirilmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir [19].

a) Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için DBYBHY 2007 doğrusal elastik olmayan davranışların idealleştirilmesi bölümünde tanımlanan kurallara uyulacaktır.

b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, 2.4’de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY 2007 7.8’de yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

d) Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY 2007 7.6.8’e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için 7.6.9’da tanımlanan ilgili birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, DBYBHY 2007 7.6.11’de tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

3.2.2. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde “adım adım doğrusal elastik” davranış esas alınır [19].

3.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Bu yöntemde yapının doğrusal olmayan davranışı gözönüne alınır. Kaydedilmiş veya hedef deprem spektrumuna göre ölçeklendirilmiş bir deprem kaydı etkisi altında, taşıyıcı sistem hareket denkleminin doğrudan integrasyon yöntemi ile adım adım çözümlenerek, kesitlerde oluşacak elastik, plastik şekildeğiştirmeler ve kesit tesirleri zamana bağlı olarak bulunur. Doğrudan integrasyon zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için en doğru sonuçları veren yöntemdir. Daha sonra elemanlardaki plastik dönmeler belirlenir ve kesit hasar durumları bunlara bağlı olarak tespit edilir.

3.3. Farklı Deprem Yönetmeliklerinde Düşey İvme Etkisinin Değerlendirilmesi

3.3.1. DBYBHY 2007

Ülkemizde řu an yürürlükte olan bu yönetmelikte düşey deprem etkisi hesap kriterlerinde gözönüne alınmamaktadır. Ancak, yapısal tasarım için getirilen bazı kısıtlamalar sayesinde depremin düşey etkisinin yapıda oluşturabileceği olumsuz etkilerin azaltılması amaçlanmıştır. Yönetmelik kapsamında B3 düzensizliği olarak tanımlanan düzensizliğin yapıda bulunmasına izin verilmemektedir. Bu düzensizlik

ile ilgili kurallar şöyledir;

a) Kolonlar; hiçbir zaman binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne ya da ucuna oturtulamaz.

b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne 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) Perdeler binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulamaz.

3.3.2. Eurocode 8 – 1998

Eurocode, düşey deprem etkisini; düşey ivmenin 0.25 g' den büyük olduğu bölgelerde ve özellikleri belirlenmiş bazı yapılar için uygulanmasını zorunlu kılmıştır. Bu yapılar;

a) En büyük açıklığı 20 m ve daha fazla olan, yatay ya da yataya yakın elemana sahip olan yapılar,

b) Açıklığı 5 m ve daha üzeri olup konsol olarak çalışan, yatay ya da yataya yakın elemanlara sahip yapılar,

c) Yatay veya yataya yakın öngermeli yapılar,

d) Kolonları taşıyan kirişleri olan yapılar,

e) Deprem yalıtımlı sistemi olan yapılardır.

Depremin düşey etkisi, kombinasyonlar yardımıyla yapıya etkililmektedir. Bu kombinasyonlar;

$$Ed_x + 0,3Ed_y + 0,3Ed_z$$

$$Ed_y + 0,3Ed_x + 0,3Ed_z$$

$$Ed_z + 0,3Ed_x + 0,3Ed_y$$

şeklinde düzenlenmektedir. Burada Ed_x , Ed_y ve Ed_z sırasıyla yatayda x, y ve düşeyde z yönlü deprem yüklerini tarif etmektedir.

3.3.3.NZS 1170 – 2004

Yeni Zelanda’da uygulanmakta olan bu yönetmelikte düşey spektrum, mevcut yatay spektrum 0.70 katsayısı ile çarpılarak elde edilir. Ayrıca fay hattına 10 km’den daha yakın mesafedeki bölgeler için yapı periyodu 0.3 sn’den daha az ise bu katsayı 1 olarak kabul edilir.

3.3.4.IS 1893 – 2000

Hindistan’a ait olan bu yönetmelikte de düşey deprem yükü kombinasyonlar yardımıyla yapıda gözönüne alınabilmektedir. Yük kombinasyonları, EL_x , EL_y ve EL_z sırasıyla yatayda x, y ve düşeyde z yönlü deprem yüklerini göstermek üzere;

$$\pm EL_x \pm 0,3EL_y \pm 0,3EL_z$$

$$\pm EL_y \pm 0,3EL_x \pm 0,3EL_z$$

$$\pm EL_z \pm 0,3EL_x \pm 0,3EL_y$$

Şeklinde tariflenmiştir. Düşey spektrum değerinin, yatay spektrum değerinin 2/3’ü olması istenmektedir.

3.3.5. UBC – 1997

Bu yönetmelikte depremin düşey etkisi, yapıdaki düşey yüke bağlı olarak tariflenmiştir. Depremlı durum kombinasyonları, D sabit yük, L hareketli yük ve E deprem yükünü ifade etmek üzere;

$$1.2D+0.5L\pm 1.0E$$

$$0.9D\pm 1.0E$$

olarak belirlenirken, betonarme yapılar için kombinasyonların 1.1 katsayısı ile büyütülmesini zorunlu kılmaktadır. Deprem yükü belirlenirken yatay (E_h) ve düşey (E_v) bileşenden gelen kuvvetler ayrılmakta ve yatay bileşen ile hesaplanan kuvvetler ρ fazlalık katsayısıyla çarpılmaktadır. Ancak ρ genellikle 1 kabul edilmektedir.

$$E = \rho \times E_h + E_v$$

$$E_v = 0.5 \times C_a \times I \times D$$

Burada C_a , deprem bölgesi ve zemin sınıfına bağlı bir katsayı, I ise bina önem katsayısıdır.

4. DÜŞEY DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ ÇOK KATLI BETONARME YAPININ DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

Depremler, mühendislik yapılarını üç boyutta da zorlar. Yapısal sistemler yatay yönde yüksek mukavemete sahip olarak tasarlanmalarına rağmen depremin düşey bileşeni tasarım aşamasında genellikle dikkate alınmamaktadır. Buradan yola çıkılarak hazırlanmasına başlanan bu çalışmanın amacı, yürürlükte olan deprem yönetmeliğimizde (DBYBHY 2007) bulunmayan ancak Ocak 2019’da yürürlüğe girecek olan “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar” yönetmeliğinde bulunan, depremin düşey bileşeninin mevcut yüksek bir yapıda oluşturabileceği yapısal değişikliklerin belirlenmesidir. Analizler için 11 blokluk olan Bursa Büyükşehir Belediyesi Hizmet Binası’nın bir bloğu seçilmiştir. Analiz sonuçlarında depremin düşey bileşeninin yapıda oluşan taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve düşey yer değiştirme değerlerine etkisi değerlendirilmiştir.

Elde edilen teknik veriler doğrultusunda yapı, SAP2000 programında modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz modeli oluşturulurken taşıyıcı elemanlar çubuk eleman olarak modellenmiştir. Analizlerde deprem yükleri, yapı elemanlarına rijit diyafram aracılığıyla aktarılmıştır. Düşey taşıyıcı elemanlar temel seviyesinde ankastre olarak mesnetlenmiştir.

4.1. Kuvvetli Yer Hareketlerinin Özellikleri ve Seçimi

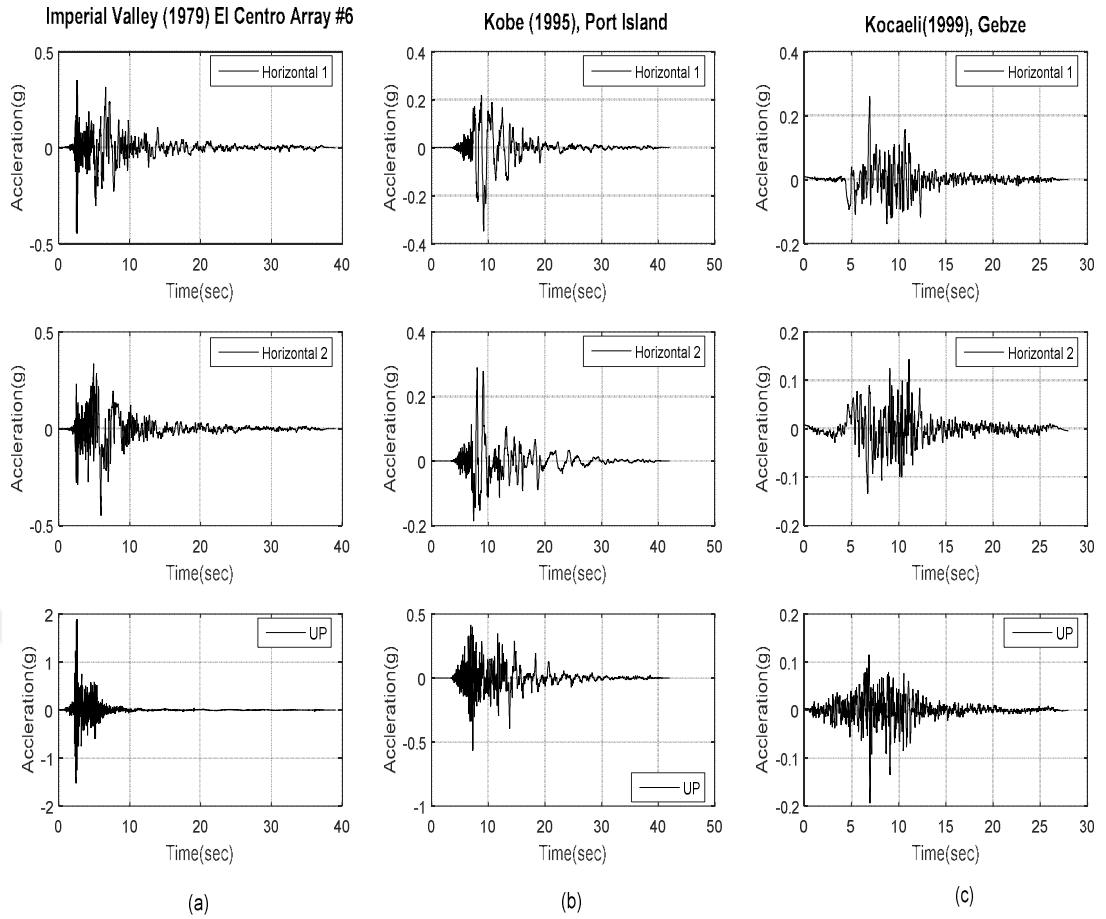
Depremlerin yatay bileşenleri S dalgalarının yayılımı ile ilişkilidir. Düşey bileşenleri ise dalga boyları S dalgalarına göre küçük olan P dalgaları ile ilişkilidir. Depremlerin düşey bileşenlerinin dalga boyu küçük olmakla birlikte frekans içerikleri yatay bileşenlerine göre daha yüksektir. Bu durum ise depremin düşey bileşeninin oluşturduğu titreşim hareketinin hâkim periyodunun küçük olmasına neden olur. P dalgalarının periyodunun küçük olmasının sonucu olarak da yapı, ilk olarak yatay değil düşey deprem etkisi ile zorlanır. Düşey depremin hâkim periyodu ile yapının düşey periyodunun yakın olması durumunda yapıda düşey doğrultuda önemli

etkilerin oluşması söz konusu olabilir. Bu durum depremin düşey hareketinin yapı üzerindeki etkilerinin tespitini zorunlu kılmaktadır.

Zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere seçilen deprem kayıtları, yakın fay etkisi de gözönüne alınarak seçilmiştir. Böylelikle V/H oranının 2/3' den yüksek seçilmesi ve depremin düşey bileşenin sonuçlarda etkin olması sağlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda bu çalışmada kullanılmak üzere Imperial Valley (1979), Kobe (1996) ve Kocaeli (1999) deprem kayıtları seçilmiştir. Kayıtlar PEER (2015) veri tabanından ham olarak elde edilmiştir ancak analizlerde kullanılmak üzere temel eksen düzeltmesi yapılmıştır. Seçilen kayıtların özellikleri Çizelge 4.1'de, ivme kayıtları ise Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deprem kayıtları ve özellikleri

Yıl	Deprem	İstasyon	Mw	En büyük İvme (g)			Süre (sn)	V/H
				H ₁	H ₂	V		
1979	Imperial Valley	El Centro Array #6	6.53	0.3528	0.3366	1.895	39.075	5.62983
1996	Kobe	Port Island	6.90	0.2192	0.2898	0.4143	41.98	1.89005
1999	Kocaeli	Gebze	7.51	0.2608	0.1438	0.115	27.99	0.79972



Şekil 4.1. İvme kayıtları: (a) Imperial Valley, 1979 (b) Kobe, 1996 (c) Kocaeli, 1999 (Baş, Sevinç, Kalkan, Aykaç, 2015) [11]

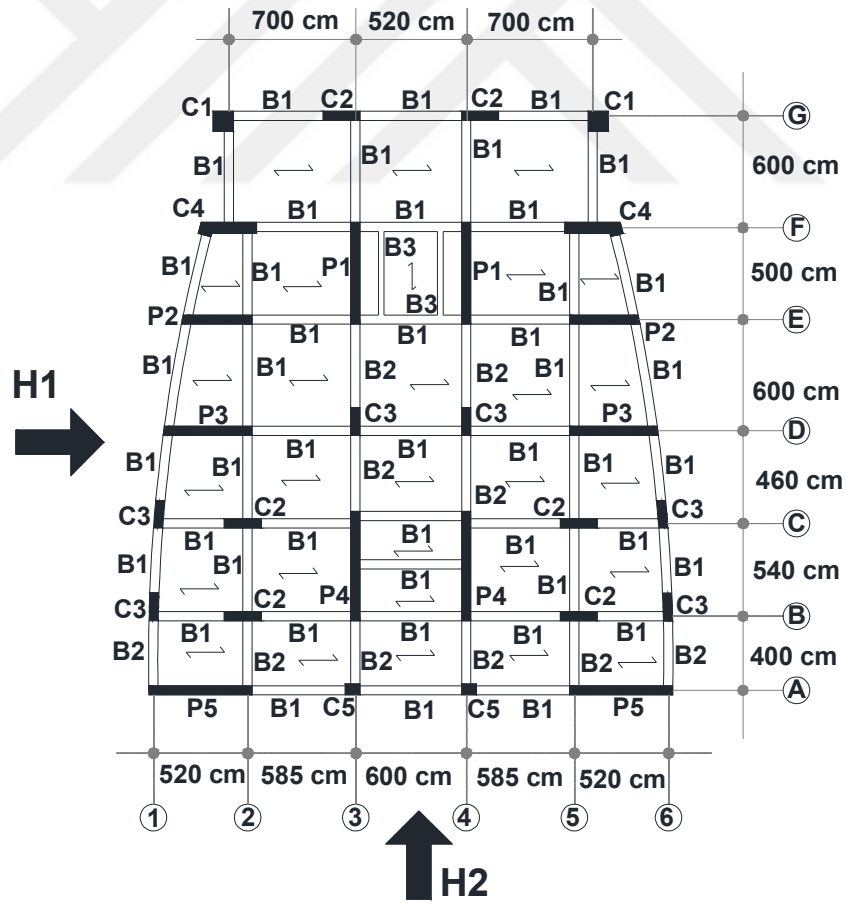
4.2. Yapı Özellikleri ve Sayısal Çözümleme

4.2.1. Yapı Özellikleri

Tez konusunun araştırılması için seçilen yapı; DBYBYH 2007' ne uygun olarak tasarlanmıştır. Yapı hakkındaki genel teknik bilgiler Çizelge 4.2' de verilmiştir. Yapının temel sistemi radyedir. Yapıda tüm kat planları aynıdır. Tip kat planı Şekil 4.2' de, yapının üç boyutlu modeli de Şekil 4.3' de gösterilmiştir. Yapı elemanlarının kesit özellikleri ise Çizelge 4.3' de listelenmiştir.

Çizelge 4.2. Yapının teknik verileri

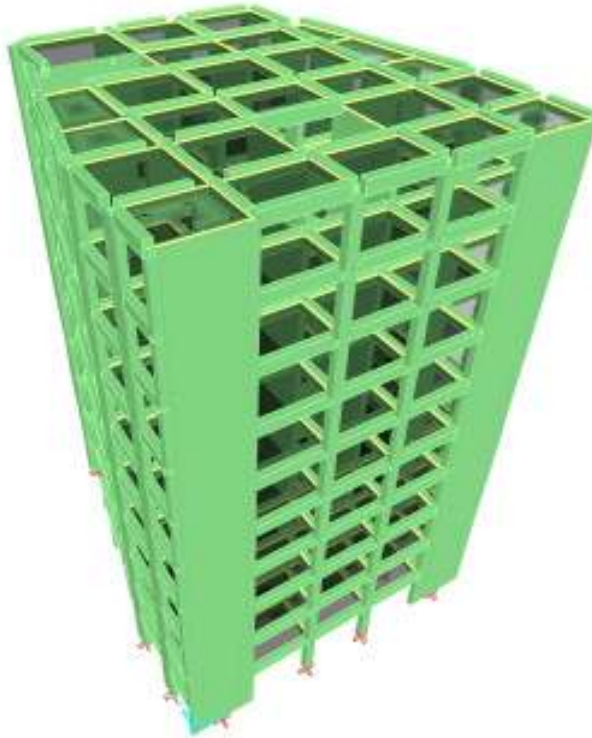
Kat Sayısı	10
Kat Yüksekliği (m)	4.50
Kullanım Amacı	Belediye Hizmet Binası
Taşıyıcı sistem türü	Perdeli çerçeveseli ($R = 7$)
Beton Sınıfı	C35 ($f_{ck}=35$ MPa)
Donatı Çeliği	S420 ($f_{yk}=420$ MPa)
Hareketli Yük Kat. Kats. (n)	0.3
Deprem Bölgesi	1. derece ($A_0 = 0.4$)
Bina Önem Katsayı (I)	1.5
Zemin Sınıfı	Z ₃ , ($T_a=0.15$ s, $T_b=0.60$ s)



Şekil 4.2. Yapının tip kat planı

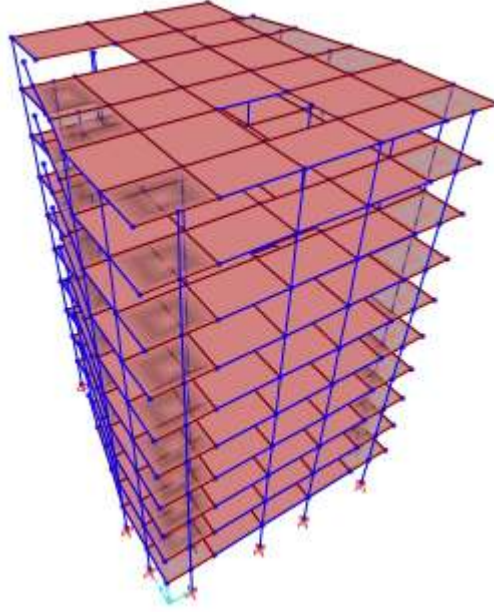
Çizelge 4.3. Yapı Elemanlarının kesit özellikleri

Kiriş	B (cm) x H (cm)
B1	50 x 90
B2	50 x 80
B3	30 x 90
Kolon	B (cm) x H (cm)
C1	110 x 110
C2	50 x 200
C3	50 x 150
C4	50 x 285
C5	60 x 80
Perde	B (cm) x H (cm)
P1	50 x 550
P2	50 x 380
P3	50 x 180
P4	50 x 590
P5	50 x 565



Şekil 4.3. Yapının 3 Boyutlu Modeli

4.2.2. Yapının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Aralığında Hesabı

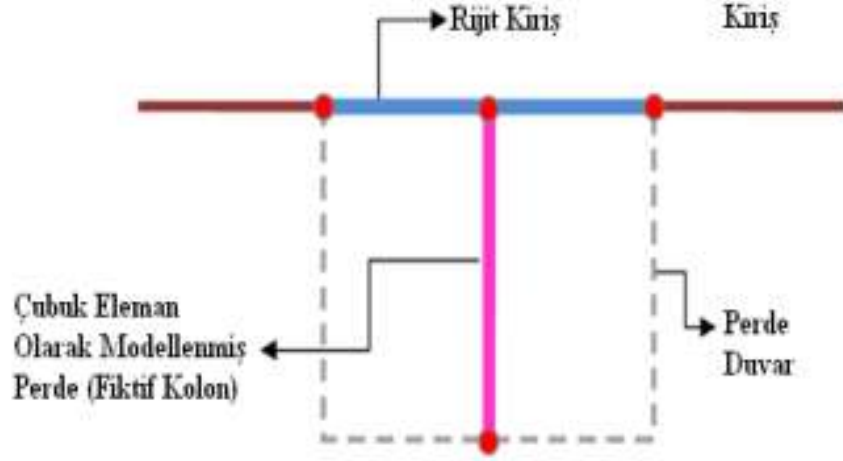


Şekil 4.4. Yapının 3 Boyutlu Çerçeve Modeli

4.2.2.1. Modelleme Kabulleri

Yapı, Sap2000 programı kullanılarak 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Binanın 3 boyutlu modeli hazırlanırken;

1) Kolon, kiriş ve perde elemanları çubuk olarak tanımlanmıştır. Perdelerin kabuk eleman olarak tanımlanması analiz sürelerini çok uzatmakta olduğu için çubuk olarak tanımlanmıştır. Çubuk olarak tanımlanan perde elemanının rijitlik değerinin doğru değerlendirilebilmesi için çubuk elemanlar sonsuz rijit bağlantı elemanları ile bağlanmış ve yük aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 4.5. Perde eleman modelleme kabulü

2) Kat döşemeleri modelde tanımlanmamış olup üzerlerine gelen yükler doğrudan kirişlere tanımlanmıştır. Deprem yüklerinin aktarımı ise rijit diyafram aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

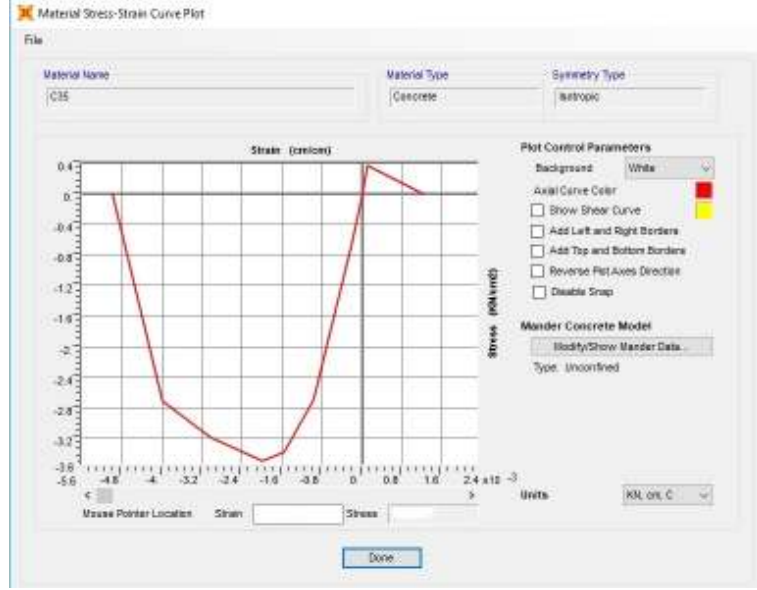
3) Kiriş elamanlarına mevcut donatı alanları, çatlama kesit rijitlikleri atamaları yapılmıştır.

4) Kolon ve kiriş elemanları için plastik mafsalları tanımlamaları yapılmıştır.

5) Temel etkilerinin göz ardı edilebilmesi için düşey doğrultudaki yapısal elemanlar ankastre olarak mesnetlenmiştir.

4.2.2.2. Malzeme Modeli

Modelleme yapılırken beton için C35, donatı için sargısız S420 malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme sınır değerleri tanımlanırken DBYBYH 2007, Ek 7B maddesi göz önünde bulundurulmuştur. Tanımlanan malzemelerin gerilme-şekildeğiştirme grafikleri; beton için Şekil 4.6 ve donatı için Şekil 4.7’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. C35 beton için gerilme-şekildeğiştirme grafiği

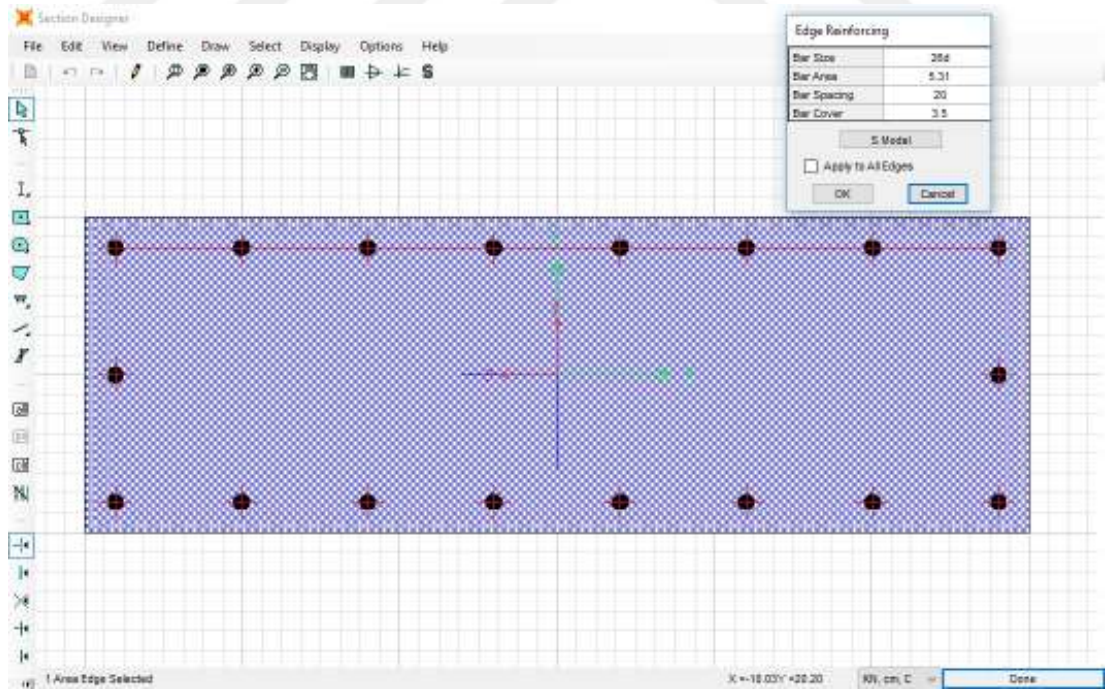


Şekil 4.7. S420 donatı için gerilme-şekildeğiştirme grafiği

4.2.2.3. Yapısal Elemanların Moment-Eğrilik Bağıntılarının Oluşturulması

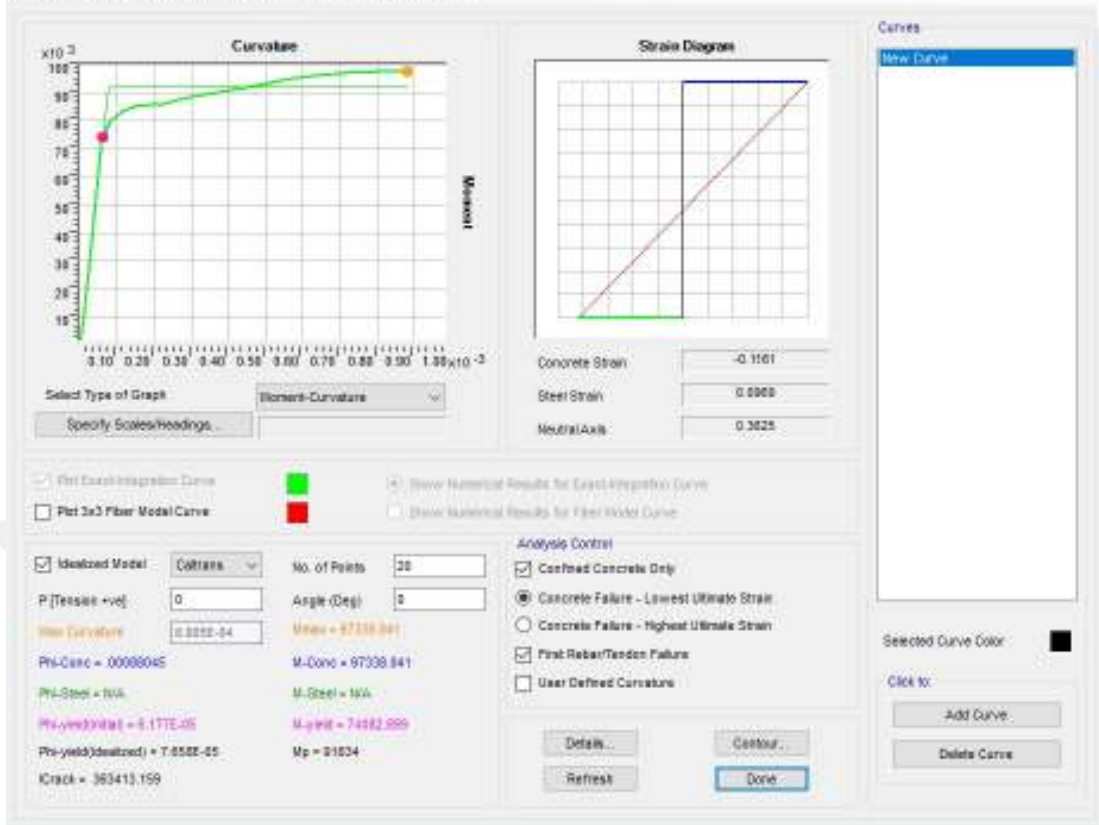
Yapısal elemanların hasar bölgelerini belirleyebilmek için moment-eğrilik bağıntılarının çıkarılması, beton ve donatı için sınır şekildeğiştirme değerlerinin tespit edilebilmesi gerekmektedir. Bu değışkenlerin belirlenebilmesi için Sap 2000 programında “Sections Designer” sekmesi kullanılmıştır.

Kiriş elemanlarında sadece moment-eğrilik bağıntıları oluşturulurken perde ve kolonlar aksenal kuvvet etkisi altında olduğu için hem moment-eğrilik bağıntılarının yanı sıra akma yüzeyleri de belirlenmiştir. Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulabilmesi için mevcut donatılar “Sections Designer” da tanımlanmıştır. “Sections Designer” da tanımlanmış bir kolon elemanı örnek olarak Şekil 4.8’ de verilmiştir. Tüm tanımlamalar yapıldıktan sonra yapısal elemanlar için moment-eğrilik bağıntıları ve akma yüzeyleri elde edilmiştir. Elde edilen moment eğrilik bağıntısına bir örnek Şekil 4.9’ de, akma yüzeyine bir örnek de Şekil 4.10’ da verilmiştir.

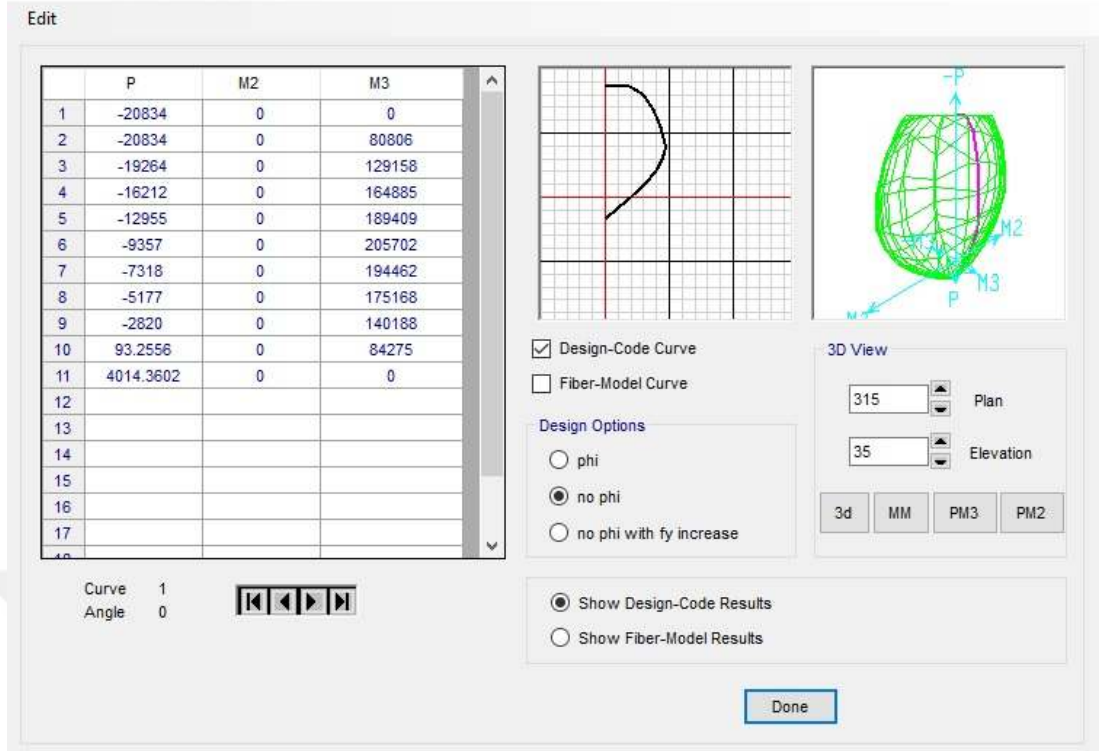


Şekil 4.8. Sap2000’de kolon donatısının tanımlanması

Moment Curvature Curve (Limits: P(comp.) = -26042.51, P(ten.) = 4014.36)



Şekil 4.9. Sap2000’de moment-eğrilik bağıntısının oluşturulması



Şekil 4.10. Sap2000’de akma yüzeyi oluşturulması

4.2.2.4. Plastik Mafsal Tanımlanması

Plastik mafsal modellenirken; kolon ve perdeler aksenal kuvvet etkisinde olmasından dolayı P-M2-M3, kirişlerde ise aksenal kuvvet olmadığı için M3 mafsalı tanımlaması yapılmıştır. Eleman şekildeğişirmelerinin mesnet bölgelerinde yoğunlaştığı kabul edilerek mafsal atamaları bu bölgelerde yapılmıştır.

DBYBYH 2007 7.6.4.1 maddesi; “plastik şekildeğiştirme bölgesi” nin uzunluğunu (L_p) kesitin çalışan doğrultudaki boyunun yarısı olması gerektiğini belirtmektedir. Sap2000’ de ise FEMA-356 ve ATC-40 tarafından yapılan plastik mafsal yaklaşımlarını otomatik olarak kesite aktarabilmekte olduğu için plastik mafsal tanımlamaları Sap2000 programında otomatik olarak yapılmıştır. [31]

Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulmuş plastik mafsal tanımları; kolon ve perdeler için Şekil 4.11, kirişler içinse Şekil 4.12’ de gösterilmiştir.

Frame Hinge Property Data for CH - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)

SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)

User SF

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero Is Extrapolated

Symmetry Condition

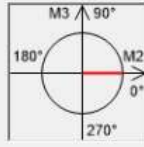
Moment Rotation Dependence is Circular

Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3

Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

1 Specify curve at angle of 0°.



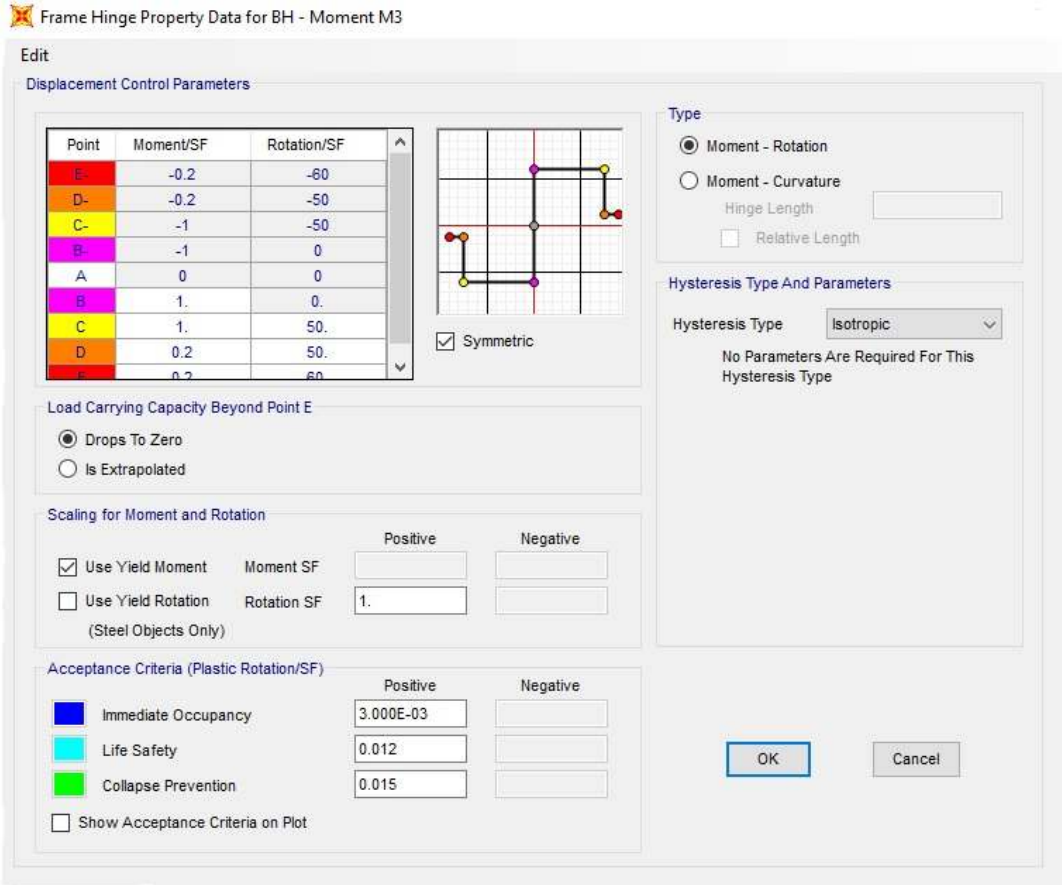
Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces

Curve Angles for Moment Rotation Curves

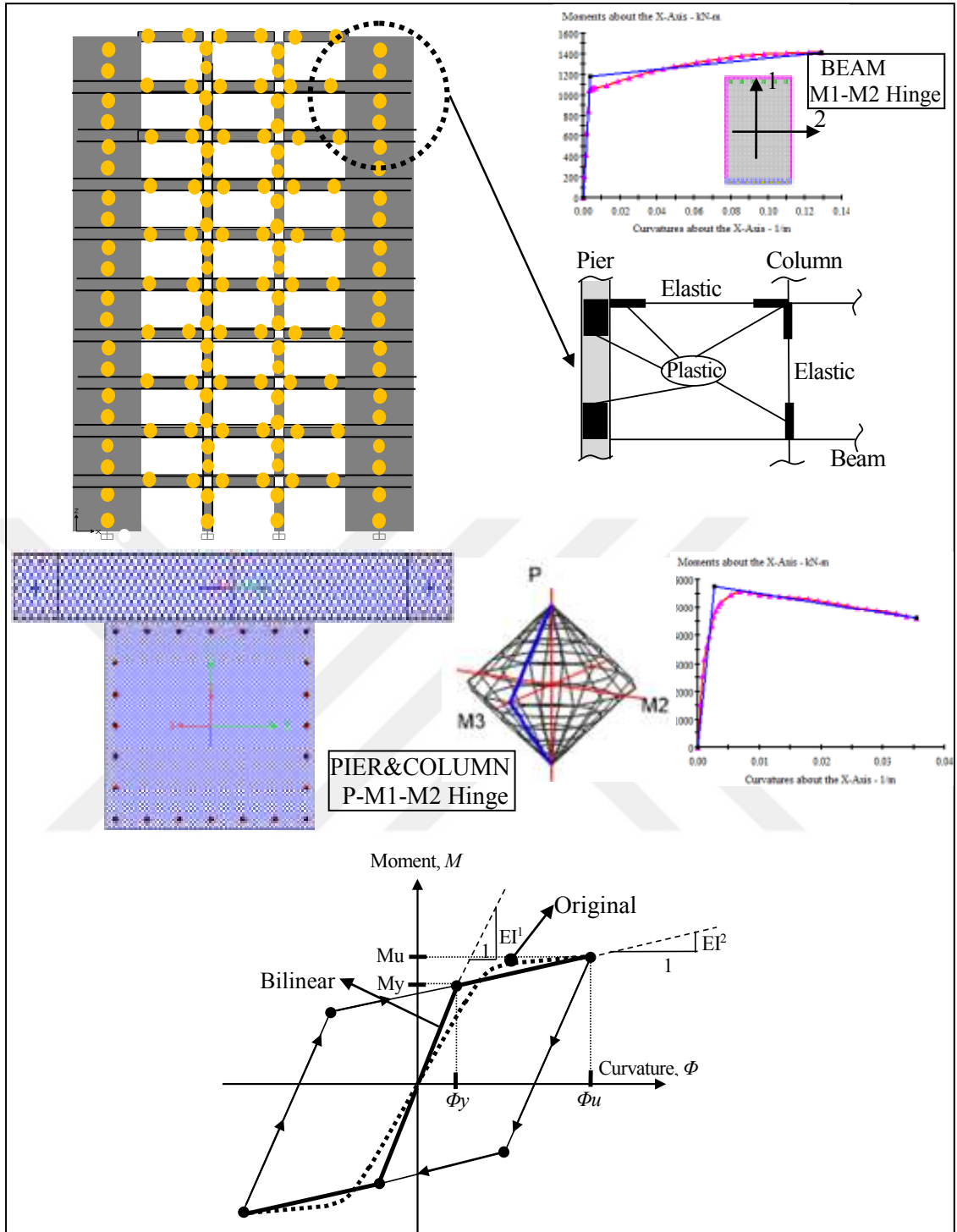
Number of Angles

Şekil 4.11. Sap2000’de Kolon ve Perdeler İçin Plastik Mafsals Tanımı



Şekil 4.12. Sap2000’de Kirişler İçin Plastik Mafsal Tanımı

Sap2000 programında yapılan, moment eğrilikleri ve plastik mafsal tanımlarının özet bir değerlendirmesi Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yapının doğrusal olmayan modellemesinin değerlendirilmesi

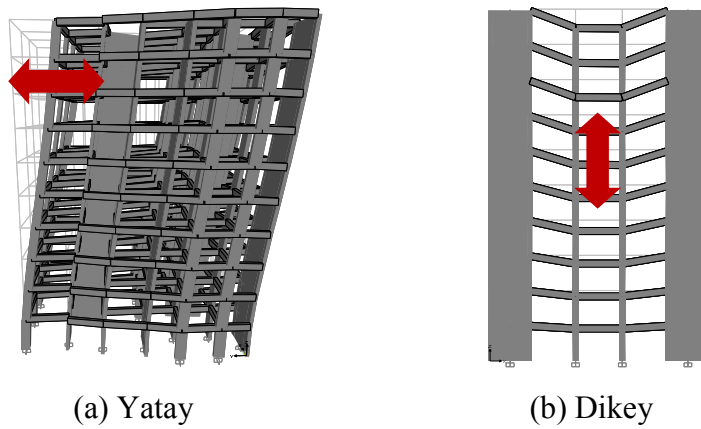
4.2.2.5. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İçin Verilerin Oluşturulması

Imperial Valley (1979), Kobe (1996) ve Kocaeli (1999) depremleri için PEER (2015)'den temin edilen gerçek deprem kayıtları kullanılarak Sap2000'de "Time History Functions" tanımları; depremin hem yatay hem de düşey bileşeni için oluşturulmuştur. Ardından "Load Case" tanımlamaları doğrusal analiz veya doğrusal olmayan analiz ve direct integration yöntemleri seçilerek yapılmıştır. Sabit ve hareketli yüklerle birlikte deprem yüklerinin de değerlendirilebilmesi için kombinasyon tanımlamaları yapılmıştır.

4.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.3.1. Doğrusal Analiz

Veri girişleri tamamlandıktan sonra öncelikle modellemenin doğruluğunu kontrol edebilmek amacıyla modal analiz yapılmıştır. Bu analiz yapılırken aynı zamanda depremin düşey bileşeninin baskın frekansının yapının doğal frekansına etkisini karşılaştırmak amaçlanmıştır. Şekil 4.14(a) ve (b)'de yapının yatay birinci mod ve düşey baskın mod şekli verilmiştir.



Şekil 4.14. Yatay ve düşey mod şekilleri

Çizelge 4.4.'de de görüldüğü gibi ilk iki modda yatay yön baskınken frekansları; 1.414 s^{-1} ve 1.517 s^{-1} ' dir. 3. Modda ise burulma etken ve frekansı 1.604 s^{-1} ' dir. 20. Moda gelindiğinde dikey mod şekli etken olup frekansının 10.847 s^{-1} olduğu tespit edilmiştir. İlk dört mod ile 20. mod arasındaki değerlerin etkin olmama sebebi, kütle katılım oranının %90 değerini 20. modda geçmesidir.

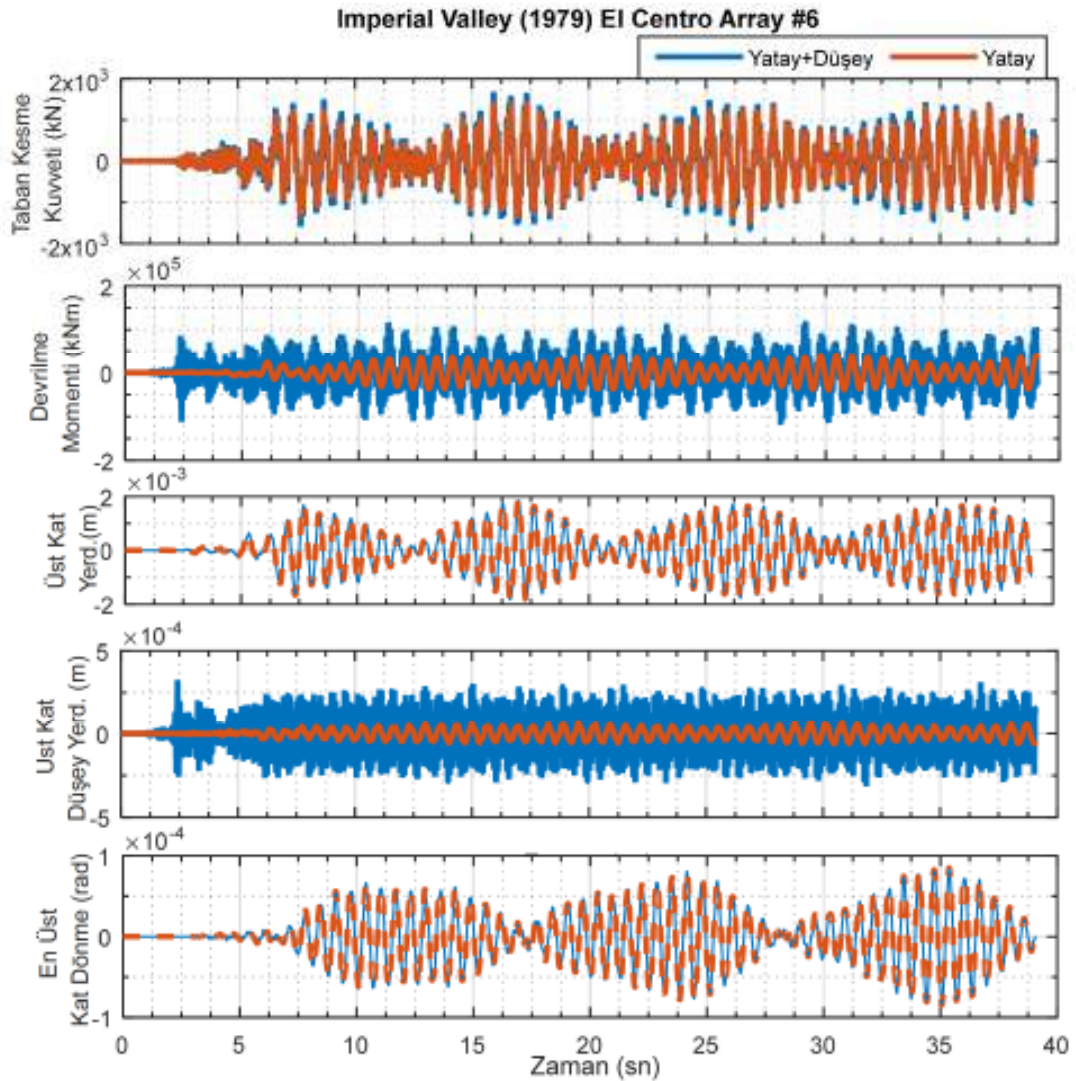
Çizelge 4.4. Yapının dinamik özellikleri

Mod	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Kütle Katılım Oranı [%]					
			X-Yönü		Y-Yönü		Z-Yönü	
			Mx	Rx	My	Ry	Mz	Rz
1	0.707	1.414	0.394	0.081	0.325	0.122	0.000	0.020
2	0.659	1.517	0.258	0.106	0.417	0.084	0.000	0.063
3	0.623	1.604	0.068	0.003	0.010	0.022	0.000	0.674
4	0.205	4.869	0.025	0.264	0.107	0.049	0.000	0.002
5	0.190	5.268	0.033	0.034	0.014	0.063	0.000	0.088
6	0.181	5.528	0.098	0.023	0.012	0.185	0.000	0.041
7	0.112	8.949	0.000	0.001	0.000	0.004	0.019	0.000
8	0.109	9.193	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.000
9	0.108	9.230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.108	9.266	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.107	9.308	0.000	0.003	0.003	0.001	0.001	0.000
12	0.107	9.327	0.001	0.014	0.013	0.001	0.000	0.002
13	0.107	9.359	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.106	9.405	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.106	9.436	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.105	9.481	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.103	9.671	0.002	0.029	0.030	0.003	0.000	0.001
18	0.099	10.089	0.000	0.002	0.003	0.001	0.000	0.044
19	0.093	10.719	0.049	0.001	0.003	0.052	0.003	0.001
20	0.092	10.847	0.000	0.020	0.000	0.003	0.676	0.000
Toplam kütle [%]=			0.929	0.583	0.937	0.590	0.706	0.936

Yapı modelinin kontrolü yapıldıktan sonra, üç adet deprem kaydının her biri için önce sadece depremin yatay bileşeni etki ettirilerek analizler yapılmıştır. Ardından

aynı deprem kayıtları için düşey bileşenin de etken olduğu analizler tekrarlanmıştır. Yapılan zaman tanım alanındaki analizler sonucunda belli bölgelerde plastik mafsalların oluştuğu gözlenmiştir. Analiz sonuçları her bir deprem kaydı için yapılan toplam 6 analiz için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Depremin düşey bileşenin etkisi araştırılırken; deprem yüklerinin yapıda oluşturduğu taban kesme kuvveti, devrilme momenti, en üst kat yatay ve düşey yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.15. Imperial Valley (1979) Depremi Analiz Sonuçları Grafiği

Imperial Valley (1979) depremi sonuçlarına bakıldığında deprem süresi boyunca üst kat yatay yerdeğiştirmeleri ve burulma açısı değerleri değişmemiştir.

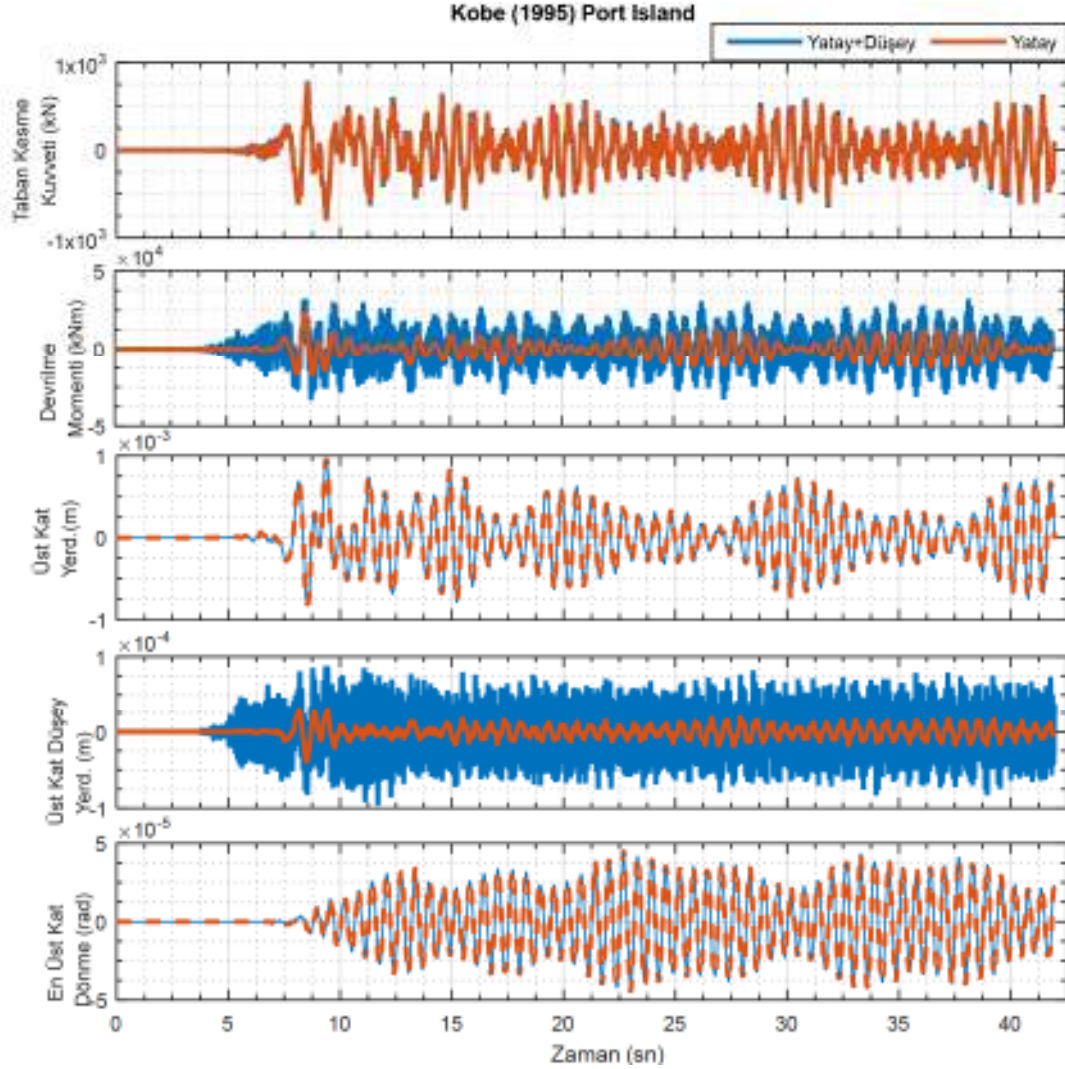
Taban kesme kuvveti değerlerine bakıldığında, deprem süresince büyük farklar göstermese de artış eğilimi gösterdiği görülmüştür. Devrilme momenti ve en üst kat düşey yerdeğiştirme değerlerinde ise yatay deprem yüklemeleri ile yatay ve düşey deprem yükleme durumları arasında ise büyük farklar olduğu gözlenmiştir. Bu değişimlerin sayısal değerleri Çizelge.4.4.'de minimum ve maksimum değerler ile gösterilmiştir. En üst kat yatay yerdeğiştirme ve en üst kat burulma açısı değerlerinde değişim olmamıştır.

Çizelge.4.5. Imperial Valley (1979) Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları

Yapısal Etkiler		Yatay	Yatay+Düşey	Fark	Değişim (%)
Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks.	1458.40	1681.10	222.70	15.27
	Min.	-1493.20	-1655.90	162.70	10.9
Devrilme Momenti (kNm)	Maks.	39758.00	118360.00	78602.00	197.70
	Min.	-39864.00	-116720.00	-76856.00	192.80
En Üst Kat Düşey Yerdeğiştirme (mm)	Maks.	0.069	0.326	0.260	370.52
	Min.	-0.065	-0.315	-0.250	384.59

Çizelge 4.5'den de anlaşılacağı gibi taban kesme kuvvetindeki artış yüzdeler olarak düşük mertebelerde kalmasına rağmen devrilme momentindeki artış yaklaşık 2 kat, en üst kattaki düşey yerdeğiştirmeler ise yaklaşık 4 kata kadar çıkmaktadır. Düşey yerdeğiştirmelerdeki artış oranında yapının simetrik geometriye sahip olamamasının etkisi olduğu düşünölmektedir. Ayrıca düşey yerdeğiştirmelerdeki artış, rijit diyafram kabulünün gerçekliğini yitirmesine sebep olabilecektir. Devrilme momenti

artışı ise yapısal elemanlardaki hasar oranlarını değiştireceği için yapının deprem kuvvetleri etkisindeki performansını etkileyecektir.



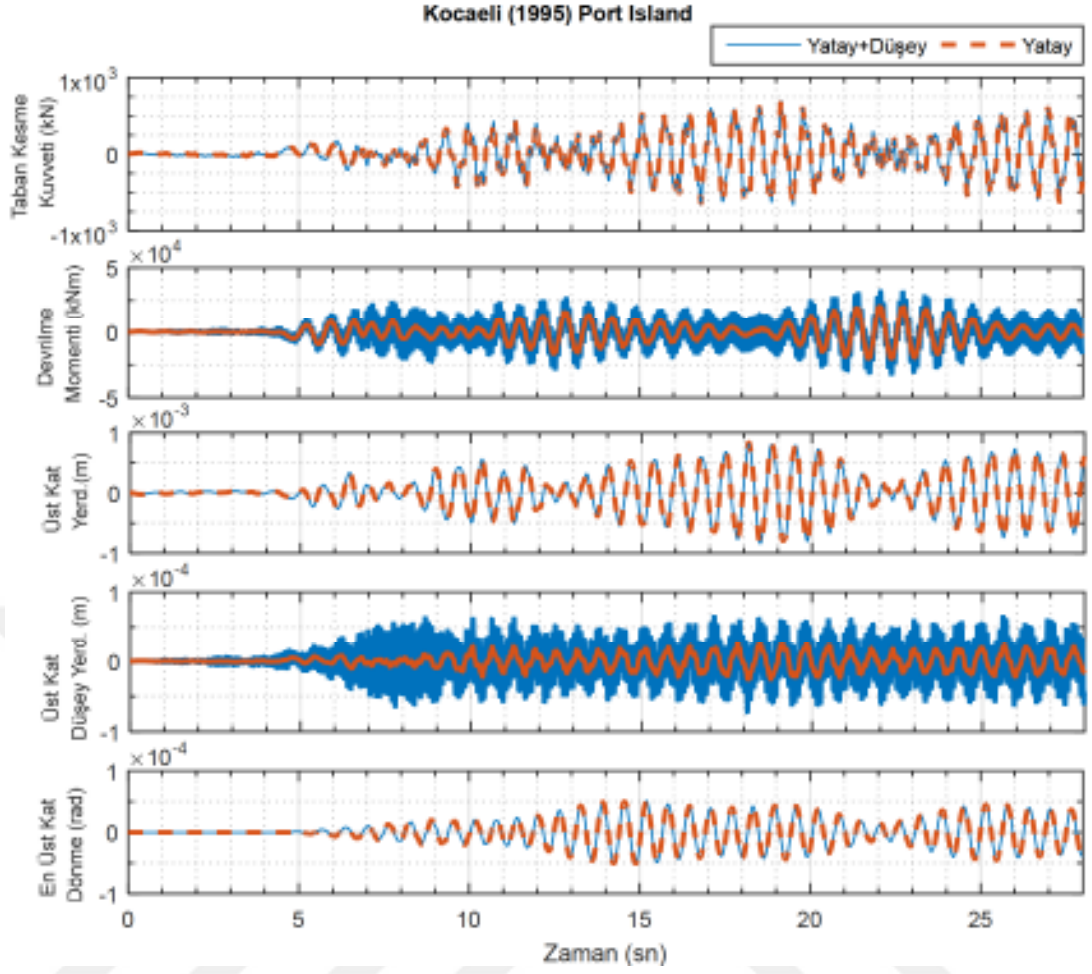
Şekil 4.16. Kobe (1996) Depremi Analiz Sonuçları Grafiği

Şekil 4.16’de görüldüğü gibi Kobe (1996) depreminin etkileri Imperial Valley (1979) depremi ile benzer sonuçlar vermektedir ancak değişim oranları daha düşüktür. Bu değer değişiminin Kobe (1996) depreminin V/H oranının Imperial Valley (1979) depreminin V/H oranından daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6’de görüldüğü gibi taban kesme kuvvetinin minimum değerinde azalma olmaktadır. Bu durumun sebebi olarak ters yöndeki düşey deprem bileşeninin karşılayıcı etki göstererek bu etkiyi azalttığı yorumlanmıştır.

Çizelge.4.6. Kobe (1996) Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları

Yapısal Etkiler		Yatay	Yatay+Düşey	Fark	Değişim (%)
Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks.	768.14	787.38	19.24	2.50
	Min.	-799.56	-786.92	12.64	-1.58
Devrilme Momenti (kNm)	Maks.	23387.00	32253.00	8866.00	37.91
	Min.	-16878.00	-33440.00	-16562.00	98.13
En Üst Kat Düşey Yerdeğiştirme (mm)	Maks.	0.031	0.088	0.057	183.23
	Min.	-0.039	-0.097	-0.058	147.69



Şekil 4.17. Kocaeli (1999) Depremi Analiz Sonuçları Grafiği

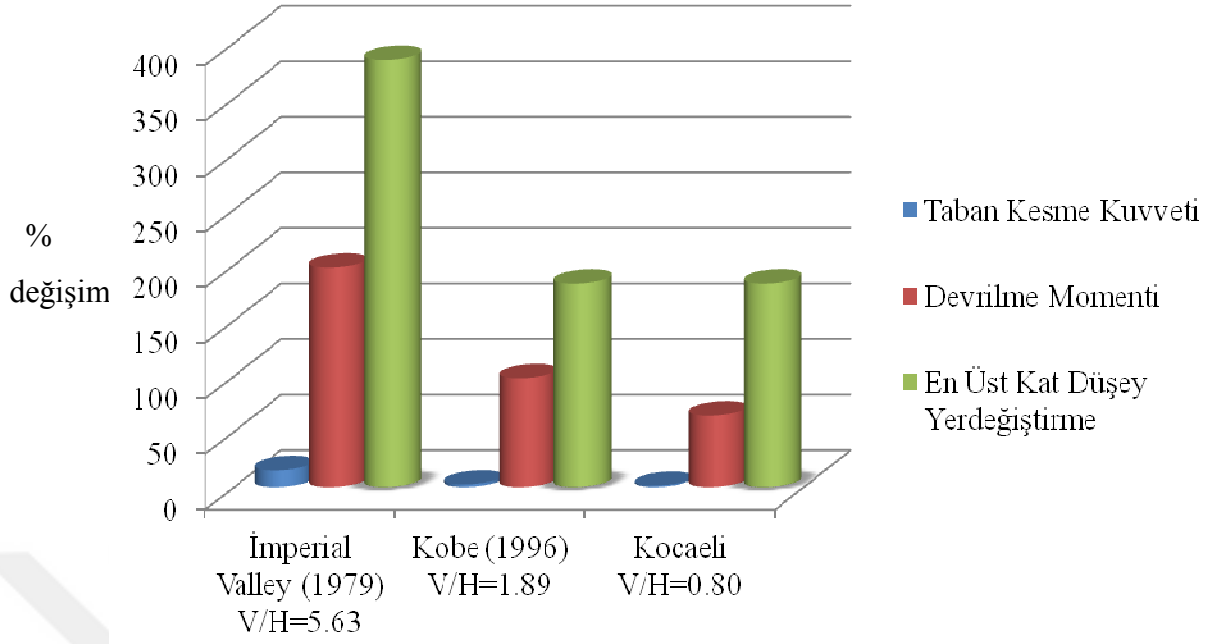
V/H oranı ve maksimum depremin düşey bileşeninin ivme değeri depremin etkileri, Imperial Valley (1979) ve Kobe (1996) depremlerine göre daha küçük olan Kocaeli (1999) depremi analiz sonuçları Şekil 4.17’de ve Çizelge.4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge.4.7. Kocaeli (1999) Karşılaştırmalı Analiz Sonuçları

Yapısal Etkiler		Yatay	Yatay+Düşey	Fark	Değişim (%)
Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks.	697.53	693.32	-4.22	-0.60
	Min.	-654.24	-662.85	-8.61	1.32
Devrilme Momenti (kNm)	Maks.	20185.00	33122.00	12937.00	64.09
	Min.	-20150.00	-33150.00	-13000.00	64.52
En Üst Kat Düşey Yerdeğiştirme (mm)	Maks.	0.027	0.067	0.040	154.34
	Min.	-0.026	-0.073	-0.050	183.33

Kocaeli (1999) depremi etkisinde yapı analizlerinin sonuçlarına bakıldığında yapının; diğer iki deprem ile benzer davranış sergilediği görülmektedir. Ancak, taban kesme kuvvetindeki değişim değerleri daha sınırlı düzeyde kalmıştır. Bunun nedeni, düşey deprem bileşenin varış süresinin daha uzun olması ve bu bileşenin azaltıcı etki göstermesi ile açıklanabilir. Ayrıca yapısal etkilerdeki değişim, diğer iki depremin etkileri ile karşılaştırıldığında Kocaeli (1999) depreminin değerleri daha düşüktür. Yapının böyle davranmasında başlıca etkenin V/H oranının olduğu görülmektedir.

Seçilen deprem kayıtları ve bu depremlerin etkileri altında yapılan analizler sonucunda yapıda gözlenen yapısal değişimler Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Deprem Etkileri Altında Oluşan Yapısal Değişiklikler

4.3.2. Doğrusal Olamayan Analiz

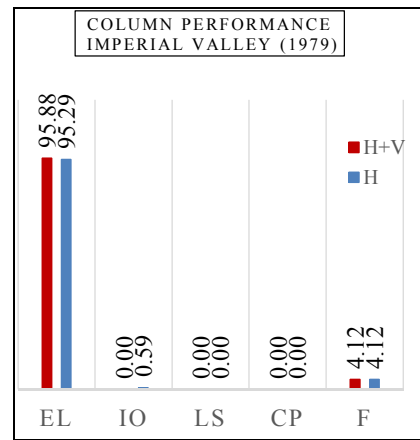
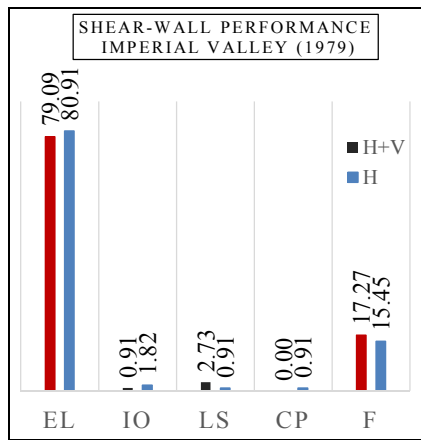
Doğrusal analizle yapının performans düzeyinin ve hasar oranlarının belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Bu nedenle her bir deprem kaydı için depremin yatay bileşenleri ile birlikte düşey bileşeninin de bulunduğu durumlar için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilirken ASCE / SEI 41-13 (ASCE 2014) kriterleri gözönünde bulundurulmuştur. Buna göre hasar seviyelerinin sınıflandırması;

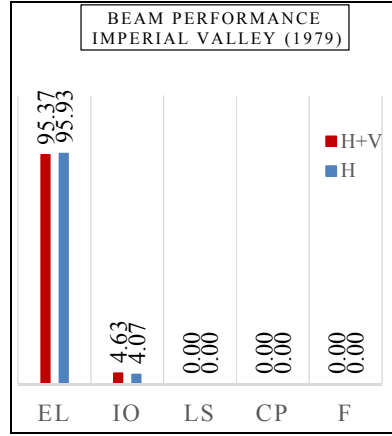
- EL : Doğrusal elastik davranış bölgesi
- IO : Hemen kullanım seviyesi (minimum hasar)
- LS : Can güvenliği seviyesi (belirgin hasar)
- CP : Göçme öncesi seviyesi (ileri hasar)
- F : Göçme seviyesi

olarak belirlenmiştir.

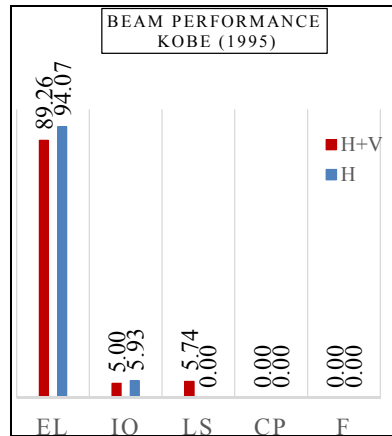
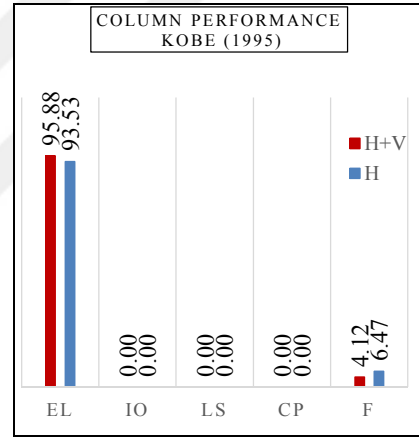
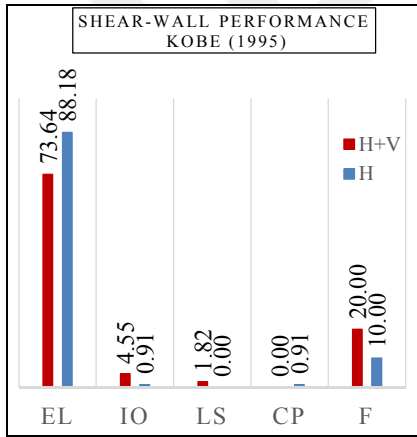
Elastik seviye (EL) ; yapısal olmayan elemanlarda belirgin çatlaklar oluşmadan çok hafif hasar olduğu duruma karşılık gelir. Hemen kullanım seviyesi (IO); deprem esnasında yapıda oluşabilecek küçük hasarların oluşmasını tariflemektedir. Bu iki performans seviyesinde de eleman, elastik sınırlar içinde davranış göstermektedir. Can güvenliği seviyesinde (LS); yapının yapısal elemanlarında gözle görülür seviyede hasar oluşmaktadır. Göçme öncesi seviyede (CP); yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda geri döndürülemeyecek boyutta hasarlar oluşmuştur. Yapısal elemanlar elastik davranış sınırının ötesine geçmiştir. Son olarak göçme seviyesi (F); yapıdaki yapısal elemanlar deprem sırasında oluşacak kuvvetleri taşıyamayacak seviyeye gelmiştir.

Kiriş, kolon ve perdelerin performans seviyeleri Imperial Valley (1979) ve Kobe (1996) depremleri için değerlendirilmiştir. Kocaeli (1999) depremi için doğrusal olmayan zaman tanım aralığındaki hesaplarda kullanılan deprem kaydının V/H oranının düşük olması nedeniyle yapısal elemanların performansları üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır. Bu sebeple karşılaştırma grafiklerinde Kocaeli (1999) depremi gösterilmemiştir. Modelleme sırasında yapının yapısal elemanlarına plastik mafsallar tanımlanmıştır, bunun neticesinde Imperial Valley (1979) ve Kobe (1996) depremlerine ait yer hareketi kayıtları ile yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizler sonucunda oluşan hasarlar Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.'de gösterilmiştir.





Şekil 4.19. Imperial Valley (1979) depremi etkisinde yapı elemanlarının Performansları (Baş, Kalkan, Lee ve Sevinç, 2017) [13]



Şekil 4.20. Kobe (1996) depremi etkisinde yapı elemanlarının Performansları (Baş, Kalkan, Lee ve Sevinç, 2017) [13]

Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.'de görüldüğü gibi perdelerin performansları kıyaslandığında, göçme seviyesindeki (F) elemanların yüzdesi Imperial Valley (1979) depremi için %2 gibi bir artış gösterirken Kobe (1996) depreminde %10 artış göstermektedir. Diğer taraftan kolonlarda Imperial Valley (1979) depreminde hasar seviyesinde değişiklik gözlenmezken Kobe (1996) depreminde kolonlarda göçme seviyesindeki elemanların %2 oranında düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar; yapıda perdelerin, depremin düşey bileşeni etkisinde oluşan ek kuvvetler ve momentlerdeki değişikliklere daha fazla direndiğini göstermektedir.

Yine de perdelerin H + V senaryosunda oluşan ek kuvvetler ve moment etkisine karşı göstermiş olduğu direnç, yapının sünek davranışının azaldığını işaret etmektedir. Çünkü; düzgün tasarlanmış bir yapıda kolonlar perdelerden daha sünek davranış gösteren elemanlardır.

Imperial Valley (1979) ve Kobe (1996) depremleri etkisinde yapının kolon ve perdelerindeki performans değişikliklerinin değişiminin depremlerin süreleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Buradan hareketle depremlerin V/H oranı ve süreleri; yapının performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Kirişler değerlendirildiğinde; Imperial Valley (1979) depreminin etkisinde tüm performans seviyeleri için önemli değişiklik gerçekleşmemiştir. Kobe (1996) depreminin yatay bileşenlerinin etkisinde ise minimum hasar seviyesinde (IO) %5'lik bir oran gözlemlenirken düşey bileşen de dahil edildiğinde kirişlerin yaklaşık %5'i belirgin hasar seviyesine (LS) geçmektedir.

Genel olarak; depremin düşey bileşeninin yapısal sistemin genel performansı üzerinde çok etkili olmadığı sonucuna varılabilir. Ancak yapıdaki düşey taşıyıcıların eleman bazındaki performansları üzerinde etkili olmaktadır. Kirişlerin performansının çok fazla değişim göstermemesinin sebebi; yapıda depremin düşey bileşeninin etkisiyle oluşan ek kuvvet ve moment artışlarının perdeler tarafından karşılanması ile açıklanabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çalışmanın yapıldığı tarihte yürürlükte olan deprem yönetmeliğimizde (DBYBHY 2007) bulunmayan, birçok önemi akademik çalışmada da yer almayan ancak 2019 yılında yürürlüğe girecek olan “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar” yönetmeliğinde bulunan, depremin düşey bileşeninin mevcut yüksek bir yapının taban kesme kuvveti, devrilme momenti, en üst kat yatay yer değiştirme, en üst kat düşey yer değiştirme ve en üst kat burulma açısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Zaman tanım alanında yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için Imperial Valley (1979), Kobe (1995) ve Kocaeli (1999) depremlerinin hem yatay hem de düşey bileşenleri kullanılmıştır. Depremler seçilirken V/H oranlarının birbirinden farklı olması istenmiştir. Bunun nedeni V/H oranlarına bağlı olarak, düşey depremin yapı davranışını ve yapıda oluşacak kuvvetlerin değişimini gözlemleyebilmektir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

- Yatay deprem yüklemeleri ile düşey deprem etkilerin yatay depremlerle birlikte etkilmesi sonucunda en üst kat yatay yer değiştirme ve en üst kat burulma açısı değerlerinin farklılık göstermediği görülmüştür. Depremin düşey bileşeninin bu yapısal etkiler üzerinde etken olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle çizelgeler ve karşılaştırmalar yapılırken bu iki yapısal etki değerlendirmelere dahil edilmemiştir.
- Taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve en üst kat düşey yer değiştirmesi değerlerinde belirgin değişimler gözlemlenmiştir. Ancak taban kesme kuvveti değerlerindeki değişim, devrilme momenti ve en üst kat düşey yer değiştirme değerlerindeki değişimlerine göre daha sınırlı kalmıştır. Seçilen deprem kayırlarına göre; taban kesme kuvvetindeki artış %1 ~ %15 arasında olmaktadır devrilme momentindeki artış % 37 ~ % 200 ve en üst kat düşey yer değiştirmesinde ise % 150 ~ % 400 aralığında değişmektedir.
- Karşılaştırması yapılan yapısal değişimlerde en büyük etkenin, deprem kayıtları seçilirken göz önünde bulundurulmuş V/H oranı olduğu sonucuna varılmıştır. Sırasıyla bakıldığında en büyük V/H oranına sahip Imperial

Valley (1979), Kobe (1996) ve Kocaeli (1999) depremlerinden Imperial Valley (1979) depreminin etkisinde yapısal değişimlerin de en fazla olduğu görölmüştür.

- Devrilme momenti değerlerindeki artışların yapı elemanlarındaki hasar seviyelerini değiştireceği ve buna bağlı olarak yapının performansının olumsuz etkileneceği söylenebilir.
- Düşey depremin etkisiyle yapı elemanlarındaki düşey yerdeğiştirmelerin artması ise yapısal tasarım hesaplarında yapmış olduğumuz rijit diyafram kabulünü geçersiz hale getirecektir. Bunun sonucu olarak yatay yönde yük aktarabilen çerçeveler düşey yönde birbirine yük aktarabilen elemanlar olmaktan uzak kalacaklardır. Yapı elemanlardaki oluşacak hasarlar yapının rijitliğini azaltarak yapıda oluşan yatay yerdeğiştirmeleri arttırmaktadır.
- Deprem yapıya, yatay bileşenlerinin yanı sıra düşey bileşeni ile birlikte etkitildiğinde oluşacak etkileri öncelikle yapıdaki perdeler karşılamaktadır. Yapılan hesaplarda depremin düşey bileşeninin varlığıyla oluşacak ek kuvvetlerin daha çok perdeler tarafından karşılanması sebebiyle yapı, daha az sünek davranış sergilemektedir. Bu nedenle de daha çok yapı perdesi göçme bölgesi (F) performans seviyesine ulaşmaktadır.
- Yapısal sistemin düşey taşıyıcı elemanlarından farklı olarak (perdeler ve kolonlar) kirişler, depremin düşey bileşenin oluşturacağı ek kuvvetlerden büyük ölçüde etkilenmez.
- Depremin düşey bileşeninin analizlere dahil edilmesinin etkileri, depremin süresine ve V/H oranına bağlıdır. Yapının düşey taşıyıcı elemanlarının performansları depremin süresinin artması sonucunda daha büyük oranda etkilenir. Yapılan analizler, deprem süresinin V/H oranına göre yapısal elemanların performansı üzerinde daha fazla etkin olduğunu göstermiştir.
- Çalışmanın sonucunda depremin düşey hareketinin varlığıyla birlikte depremin V/H oranının 1'den küçük olmasının yapının taşıyıcı elemanlarının performansları ve hasar seviyeleri üzerinde çok etkin olmadığı tespit edilmiştir.

5.1. Öneriler

- Elde edilen sonuçlar; depremin düşey bileşeninin yapı elemanları ve yapı performansı üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Bu nedenle yapısal tasarım hesaplarında düşey deprem etkisi mutlak değerlendirilmelidir. Hesaplarda sahaya özel üretilen deprem tasarım kuvvetleri kullanılmalıdır.
- Depremin düşey bileşeninin yapısal sistemin düşey elemanlarının tasarımında dikkate alınmalıdır. Çünkü bu bileşen, bu elemanların performanslarında önemli rol oynar.
- Bu çalışmada ortaya konan sonuçlar; sınırlı yer hareketi verileri altında ve sınırlı sayıda analize dayanmaktadır. Sonuçların doğrulanması ve daha kesin sonuçların çıkarılabilmesi için daha fazla veri ile daha fazla analiz yapılması gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Papazoglou, AJ. and Elnashai, AS. Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25 (10), 1109-1137, 1996
- [2] Ambraseys, NN. and Simpson, KA. Prediction of vertical response spectra in Europe. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25 (4), 401-412, 1996.
- [3] Elnashai, AS. and Papazoglou, AJ. Procedure and spectra for analysis of RC structures subjected to strong vertical earthquake loads. *Journal of Earthquake Engineering*, 1 (1), 121-155, 1997
- [4] Bozorgnia, Y., Mahin, SA. and Brady, AG. Vertical response of twelve structures recorded during the Northridge earthquake. *Earthquake Spectra*, 14 (3), 411-432, 1998.
- [5] Ambraseys, NN. and Douglas, J. Effect of vertical ground motions on horizontal response of structures. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 3 (2), 227-265, 2003.
- [6] Elgamal, A. and He, L. Vertical earthquake ground motion records: An overview. *Journal of Earthquake Engineering*, 8 (5), 663-697, 2004.
- [7] Kim, M-H. and Kim, SJ. Characteristics of vertical ground motion and its effect on the response of 3-story RC building. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 13 (2), 23-29, 2013.
- [8] Ghaffarzadeh, H. and Nazeri, A. The effect of the vertical excitation on horizontal response of structures. *Earthquakes and Structures*, 9 (3), 625-637, 2015.

- [9] Wilson, T., Chen, S. and Mahmoud, H. Analytical case study on the seismic performance of a curved and skewed reinforced concrete bridge under vertical ground motion. *Engineering Structures*, 100, 128-136, 2015.
- [10] Jeon. J-S, Shafieezadeh. A, Lee. DH, Choi E and DesRoches, R. Damage assessment of older highway bridges subjected to three-dimensional ground motions: Characterization of shear-axial force interaction on seismic fragilities. *Engineering Structures*, 87, 47-57, 2015.
- [11] Baş, S., Sevinç., M. Kalkan, İ., Aykaç, S. *Düşey Deprem Etkisi Altındaki Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının İncelenmesi*. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim 2015, İzmir.
- [12] Baş, S., Kalkan, İ. The Effects of Vertical Earthquake Motion on an R/C Structure. *Structural Engineering and Mechanics*, 59 (4), 719-737, 2016.
- [13] Baş, S., Sevinç., M., Lee, J H. Kalkan, İ. *Seismic Performance of High-Rise R/C Structures Subjected to Vertical Earthquake Motion*. 16. World Conference on Earthquake Engineering, January 2017, Santiago Chile.
- [14] Eren, G., Beyen, K. *Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansının Tartışılması*. 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mayıs 2015, İstanbul
- [15] Çakıroğlu, A., Özer, E., *Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler*, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1980.
- [16] Arslan, Y. *Çok Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemler Kullanılarak Belirlenmesi ve Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.

- [17] Özer, E. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul, 2004.
- [18] Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, 2008.
- [19] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY 2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [20] TS-498, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [21] Ünerdem, Y. 30 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Çözümleme Uygulanılarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [22] Özgeldi, A. C. Mevcut 25 Katlı Betonarme Bir Yapının Deprem Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [23] Önel, M., Özmen, H. B., Effects of Plastic Hinge Properties in Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Buildings, *Engineering Structures*, 28, 1494-1502, 2006.
- [24] Özmen, G., Darılmaz, K., Orakdöğen, E. Örneklerle SAP 2000 - V17, Birsan Yayınevi, 2015.
- [25] Yıldırım, Ali. Betonarme Bir Binanın Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006.

- [26] Eurocode-8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures - Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, CEN European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium,1998.
- [27] NZS 1170.5, Structural Design Actions Part 5: Earthquake Actions, The New Zealand Standards Institute, Wellington, New Zealand, 2004.
- [28] IS 1893, Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India, 2000
- [29] UBC–97, Uniform Building Code, International Council of Building Officials, USA, 1997.
- [30] NBC105, Nepal National Building Code, Ministry of Physical Planning and Works Department of Urban Development and Building Construction, Babar Mahal, Kathmandu, Nepal,1994.
- [31] SAP2000v17,Integrated structural finite element analysis and design of structures. *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, CA, USA, 2015.
- [32] PEER, The Pacific Earthquake Engineering Research Center ground motion database, Berkeley CA, US, 2015