

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİNDE DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN
YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Gökay UYGUN

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai CELEP

HAZİRAN 2007

**MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİNDE
DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Gökay UYGUN
(501041047)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Zekai CELEP
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erkan ÖZER (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Feridun ÇILI (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) de yer alan mevcut binaların doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle değerlendirilmesinde, betonarme binaların performanslarının belirlenmesine yönelik sayısal incelemeler ve sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

Çalışmamda desteğini benden esirgemeyen danışmanım, Prof. Dr. Zekai CELEP'e teşekkürlerimi sunarım.

Engin bilgi ve deneyimi ile tez ve mesleki çalışmalarında bana yardımcı olan, Sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yeteneklerimin ve mesleki deneyiminin gelişmesine büyük katkıda bulunan Statica Müh. Müş. Mim. Ltd. Şti'ne ve çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince yanımda bulunan, çok yoğun dönemlerinde bile rahatsız etmekten çekinmediğim manevi ağabeyim İnş. Yük. Müh. Murat PURUT'a, kadim dostum İnş. Müh. Umut YILDIZ'a, arkadaşlarım İnş. Müh. İlkay TELTİK ve Turgay YAVUZARSLAN'a çalışmama verdikleri destek için teşekkür ederim.

Ayrıca, bugünlere ulaşmamı sağlayan, hayatım boyunca benim için maddi manevi destek ve dualarını eksik etmeyen aileme, gösterdikleri sevgi, saygı, sabır ve hoşgörü için müteşekkirdiğimi belirtmek isterim.

Haziran 2007

İnş. Müh. Gökay UYGUN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Performans Belirleme Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. TARİHSEL GELİŞİM	4
3. DOĞRUSAL YÖNTEM	7
3.1. Doğrusal Yönteme Giriş	7
3.2. Kabuller	7
4. DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEM	8
4.1. Doğrusal Olmayan Yönteme Giriş	8
4.2. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Ötesi Davranış Sebepleri	9
4.3. Plastik Mafsallı Hipotezi	11
4.4. Performans Kavramına Dayalı Tasarım	15
4.5. Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme Yöntemi	16
4.6. Doğrusal Olmayan Yöntem İle İlgili Kavramlar	16
4.7. Performans Hedefleri	24
4.7.1. Performans Hedefinin Oluşturulması	24
4.7.2. Temel Güvenlik Hedefleri	24
4.7.3. Temel Performans Hedefleri	25
4.7.3.1. Yapısal Performans Seviyeleri	25
4.7.3.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	28
4.7.3.3. Yapı Performans Seviyeleri	29
4.7.3.4. Olası Diğer Kombinasyonlar	31
4.8. Deprem Etki Seviyeleri	32
4.9. Kapasite Eğrisi	33
4.9.1. Davranışın Modellenmesi	33
4.9.2. Kapasite Eğrisinin Hazırlanışı	33
4.9.3. Performans Noktasının Bulunuşu	34
4.9.4. Performansın Gerçekleşmesi	35
4.10. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemin Kıyaslanması	35
4.11. Güçlendirme ve Değerlendirme Kavramı	38

5. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL İNCELEMELER	39
5.1 Düzlem Çerçeve Sistem Modeli	39
5.1.1. Doğrusal Yöntem İle Boyutlandırma	39
5.1.2. Doğrusal Yöntemle Deprem Performansının Belirlenmesi	69
5.1.3. Doğrusal Olmayan Yöntemle Performansın Belirlenmesi	86
5.1.4. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemle Performans Değerlendirmesine Ait Sonuçların Karşılaştırılması	103
5.2. Uzay Çerçeve Sistem Modeli	104
5.2.1. Doğrusal Yöntem İle Boyutlandırma	104
5.2.2. Doğrusal Yöntemle Performansının Belirlenmesi	112
5.2.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle Performansın Belirlenmesi	129
5.2.4. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemle Performans Değerlendirmesine Ait Sonuçların Karşılaştırılması	142
6. SONUÇLAR	148
KAYNAKLAR	150
ÖZGEÇMİŞ	152

KISALTMALAR

AD	: Alt Donatı
ATC	: Applied Technology Council
ATC	: Seismic Evoluation and Retrofit of Concrete Buildings
CG	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
DÇS	: Düzlem Çerçeve Sistem
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD	: Değerlendirme Dışı
DOY	: Doğrusal Olmayan Yöntem
DY	: Doğrusal Yöntem
EX	: X Doğrultusu Deprem Etkisi
EXN	: Negatif X Yönü Deprem Etkisi
EXP	: Pozitif X Yönü Deprem Etkisi
EY	: Y Doğrultusu Deprem Etkisi
EYN	: Negatif Y Yönü Deprem Etkisi
EYP	: Pozitif Y Yönü Deprem Etkisi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
GÇB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Kesit Göçme Hasar Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi
GV	: Kesit Can Güvenliği Hasar Sınırı
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
HK	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
MN	: Kesit Minimum Hasar Sınırı
NHC	: Non Linear Hinge of Columns
NHB	: Non Linear Hinge of Beams
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
ÜD	: Üst Donatı
Y	: Yapısal
YO	: Yapısal Olmayan
YOP	: Yapısal Olmayan Performans Seviyesi
YP	: Yapısal Performans Seviyesi
UÇS	: Uzak Çerçeve Sistem

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1	Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri..... 10
Tablo 4.2	Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları..... 27
Tablo 4.3	Yapısal olmayan performans seviyeleri ve aralıkları 29
Tablo 4.4	Binalar için bazı önemli performans seviyeleri 30
Tablo 4.5	Yapı performans seviyeleri tablosu..... 31
Tablo 4.6	Gözönüne alınabilecek deprem için parametreler 33
Tablo 5.1	Bilgi düzeyi tablosu..... 70
Tablo 5.2	Pozitif deprem kolon etki/kapasite oranları tablosu (DÇS)..... 76
Tablo 5.3	Negatif deprem kolon etki/kapasite oranları tablosu (DÇS)..... 78
Tablo 5.4	Kolonlar için sınır etki/kapasite oranları tablosu..... 81
Tablo 5.5	Kirişler için sınır etki/kapasite oranları tablosu..... 82
Tablo 5.6	Görelî kat ötelemesi sınır tablosu..... 83
Tablo 5.7	Binalar için öngörülen minimum performans seviyeleri..... 86
Tablo 5.8	Modal kütle değerleri (DÇS)..... 93
Tablo 5.9	Modal katılım faktörleri (DÇS)..... 94
Tablo 5.10	Birinci mod yatay yerdeğiştirmeleri (DÇS)..... 94
Tablo 5.11	Tepe noktası yerdeğiştirmesi - Taban kesme kuvveti değerleri..... 94
Tablo 5.12	Modal ivme - Modal yerdeğiştirme değerleri (DÇS)..... 95
Tablo 5.13	Hesap parametreleri ve performans noktası (DÇS)..... 97
Tablo 5.14	Kiriş donatı tablosu (UÇS)..... 111
Tablo 5.15	Kolon donatı tablosu (UÇS)..... 111
Tablo 5.16	X - doğrultusu bina periyot hesabı (UÇS)..... 116
Tablo 5.17	Y - doğrultusu bina periyot hesabı (UÇS)..... 116
Tablo 5.18	Eşdeğer taban kesme kuvveti hesabı (UÇS)..... 117
Tablo 5.19	Eşdeğer kat kesme kuvveti hesabı (UÇS)..... 117
Tablo 5.20	Pozitif x - yönü kolon hasar durumu özet tablosu (UÇS)..... 119
Tablo 5.21	Pozitif y - yönü kolon hasar durumu özet tablosu (UÇS)..... 119
Tablo 5.22	Negatif x - yönü kolon hasar durumu özet tablosu (UÇS)..... 120
Tablo 5.23	Negatif y - yönü kolon hasar durumu özet tablosu (UÇS)..... 120
Tablo 5.24	X - doğrultusu kolon hasar durumu özet tablosu (DY)..... 121
Tablo 5.25	Y - doğrultusu kolon hasar durumu özet tablosu (DY-ÜD)..... 122
Tablo 5.26	X - doğrultusu kiriş hasar durumu özet tablosu (DY-AD)..... 124
Tablo 5.27	X - doğrultusu kiriş hasar durumu özet tablosu (DY-ÜD)..... 125
Tablo 5.28	Y - doğrultusu kiriş hasar durumu özet tablosu (DY-AD)..... 126
Tablo 5.29	Y - doğrultusu kiriş hasar durumu özet tablosu..... 126
Tablo 5.30	İlk iki moda ait etkin modal kütle değerleri..... 131
Tablo 5.31	İlk iki moda ait modal katılım faktörleri..... 131
Tablo 5.32	Birinci mod yatay yerdeğiştirmeleri..... 131
Tablo 5.33	X - doğrultusu tepe noktası yerdeğiştirmesi..... 131
Tablo 5.34	Y - doğrultusu tepe noktası yerdeğiştirmesi..... 132
Tablo 5.35	Modal ivme - modal yerdeğiştirme değerleri..... 133
Tablo 5.36	Hesap parametreleri ve performans noktası..... 135
Tablo 5.37	X - doğrultusu kolon hasar durumu özet tablosu (DOY)..... 137
Tablo 5.38	Y - doğrultusu kolon hasar durumu özet tablosu (DOY)..... 138
Tablo 5.39	X - doğrultusu kiriş hasar durumu özet tablosu (DOY)..... 139

Tablo 5.40	Y - doğrultusu kiriş hasar durumu özet tablosu (DOY).....	140
Tablo 5.41	X - doğrultusunda kolonlar için yöntem karşılaştırma tablosu.....	143
Tablo 5.42	Y - doğrultusunda kolonlar için yöntem karşılaştırma tablosu.....	144
Tablo 5.43	X - doğrultusunda kirişler için yöntem karşılaştırma tablosu.....	145
Tablo 5.44	Y - doğrultusunda kirişler için yöntem karşılaştırma tablosu.....	146

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1	: Yapı kapasitesindeki bilgi eksikliğinin gösterimi..... 4
Şekil 2.2	: Doğrusal yöntem esaslı v-δ grafiği..... 5
Şekil 2.3	: Doğrusal olmayan yöntem esaslı v-δ grafiği..... 6
Şekil 4.1	: Eğilme momenti-eğrilik diyagramı..... 11
Şekil 4.2	: Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler..... 12
Şekil 4.3	: İdealleştirilmiş moment-eğrilik bağıntısı..... 13
Şekil 4.4	: Plastik mafsalsal boyu..... 14
Şekil 4.5	: İndirgenmiş talep spektrumu..... 18
Şekil 4.6	: Kapasite eğrisi ve idealleştirilmesi..... 22
Şekil 4.7	: Performans hedeflerinin sınıflandırılması..... 25
Şekil 5.1	: Çerçeve sistem geometrisi..... 40
Şekil 5.2	: Tipik kolon ve kiriş kesitleri..... 41
Şekil 5.3	: Yayılı kat ağırlıklarının gösterimi..... 45
Şekil 5.4	: Fiktif yüklemeler ve yerdeğiştirmeler..... 46
Şekil 5.5	: Eşdeğer kat kesme kuvvetleri ve yatay yerdeğiştirmeleri..... 47
Şekil 5.6 (a)	: Çerçeve sistem moment diyagramı (G+Q+E)..... 48
Şekil 5.6 (b)	: Çerçeve sistem eksenel kuvvet diyagramı (G+Q+E)..... 49
Şekil 5.6 (c)	: Çerçeve sistem kesme kuvveti diyagramı (G+Q+E)..... 49
Şekil 5.7 (a)	: Çerçeve sistem moment diyagramı (0.9G+Q+E)..... 50
Şekil 5.7 (b)	: Çerçeve sistem eksenel kuvvet diyagramı (0.9G+Q+E)..... 50
Şekil 5.7 (c)	: Çerçeve sistem kesme kuvveti diyagramı (0.9G+Q+E)..... 51
Şekil 5.8 (a)	: Çerçeve sistem moment diyagramı (1.4G+1.6Q)..... 51
Şekil 5.8 (b)	: Çerçeve sistem eksenel kuvvet diyagramı (1.4G+1.6Q)..... 52
Şekil 5.8 (c)	: Çerçeve sistem kesme kuvveti diyagramı (1.4G+1.6Q)..... 52
Şekil 5.9 (a)	: Tipik kiriş açıklık kesiti..... 58
Şekil 5.9 (b)	: Tipik kiriş mesnet kesiti..... 58
Şekil 5.10	: Tipik kolon kesiti..... 60
Şekil 5.11	: Çerçeve düğüm noktası moment gösterimi..... 60
Şekil 5.12	: Tipik kolon donatısı..... 67
Şekil 5.13	: Kolon etki/kapasite oranı şekilleri..... 75
Şekil 5.14	: Pozitif deprem kolon etki/kapasite oranları grafiği..... 76
Şekil 5.15	: Negatif deprem kolon etki/kapasite oranları grafiği..... 78
Şekil 5.16	: Kesit hasar bölgeleri ve performans sınırları grafiği..... 84
Şekil 5.17	: Sargılı ve sargısız beton modelleri..... 88
Şekil 5.18	: Hesaba esas çelik gerilme-şekildeğiştirme grafiği..... 89
Şekil 5.19	: Xtract kolon modeli..... 90
Şekil 5.20	: İdealleştirilmiş kolon moment eğrilik grafiği..... 91
Şekil 5.21	: İdealleştirilmiş kolon etkileşim diyagramı..... 91
Şekil 5.22	: Xtract kiriş modeli..... 92
Şekil 5.23	: İdealleştirilmiş kiriş moment eğrilik grafiği..... 92
Şekil 5.24	: Kesitlere atanan plastik mafsalsal özellikleri..... 93
Şekil 5.25	: Kapasite eğrisi..... 95
Şekil 5.26	: Performans noktasının bulunuşu..... 96
Şekil 5.27	: Spektral ivme-spektral yerdeğiştirme grafiği..... 97
Şekil 5.28	: Performans noktasındaki plastik mafsalsal dağılımı..... 98

Şekil 5.29	: Kolon kesiti için eksenel yük-eğrilik grafiği.....	102
Şekil 5.30	: 3 boyutlu pro-bina modeli.....	105
Şekil 5.31	: 1,2 ve 3. Katlara ait tipik kalıp planı.....	106
Şekil 5.32	: 4,5 ve 6. Katlara ait tipik kalıp planı.....	107
Şekil 5.33	: Taşıyıcı eleman önboyutları.....	108
Şekil 5.34	: Taşıyıcı eleman donatı çizimleri.....	112
Şekil 5.35	: 3 boyutlu etabs modeli.....	112
Şekil 5.36	: 1,2 ve 3. Katlara ait tipik model planı.....	113
Şekil 5.37	: 4,5 ve 6. Katlara ait tipik model planı.....	113
Şekil 5.38	: X-doğrultusu tipik eksen görünüşü.....	114
Şekil 5.39	: Y-doğrultusu tipik eksen görünüşü.....	114
Şekil 5.40	: 1. Mod şekli.....	115
Şekil 5.41	: 2. Mod şekli.....	115
Şekil 5.42	: 3. Mod şekli.....	116
Şekil 5.43	: X- doğrultusu kolon hasar durumu grafiği.....	121
Şekil 5.44	: Y-doğrultusu kolon hasar durumu grafiği.....	122
Şekil 5.45	: X-doğrultusu kiriş hasar durumu grafiği.....	125
Şekil 5.46	: Y-doğrultusu kiriş hasar durumu grafiği.....	127
Şekil 5.47	: Tipik kolon mafsallık özelliği gösterimi.....	130
Şekil 5.48	: X-doğrultusu kapasite eğrisi.....	132
Şekil 5.49	: Y-doğrultusu kapasite eğrisi.....	133
Şekil 5.50	: X-doğ. Spektral ivme-spektral yerdeğiştirme diyagramı.....	134
Şekil 5.51	: Y-doğ. Spektral ivme-spektral yerdeğiştirme diyagramı.....	134
Şekil 5.52	: X-doğrultusu statik itme için tipik aks plastik mafsallık dağılımı.....	135
Şekil 5.53	: Y-doğrultusu statik itme için tipik aks plastik mafsallık dağılımı.....	136
Şekil 5.54	: X-doğrultusu kolon hasar durumu grafiği.....	137
Şekil 5.55	: Y-doğrultusu kolon hasar durumu grafiği.....	138
Şekil 5.56	: X-doğrultusu kiriş hasar durumu grafiği.....	140
Şekil 5.57	: Y-doğrultusu kiriş hasar durumu grafiği.....	141
Şekil 5.58	: X-doğrultusunda kolonlar için yöntem karşılaştırma grafiği...	143
Şekil 5.59	: Y-doğrultusunda kolonlar için yöntem karşılaştırma grafiği...	144
Şekil 5.60	: X-doğrultusunda kirişler için yöntem karşılaştırma grafiği....	145
Şekil 5.61	: Y-doğrultusunda kirişler için yöntem karşılaştırma grafiği....	146

SEMBOL LİSTESİ

$A(T)$	: Spektral İvme Katsayısı
A_o	: Etkin Yer İvme Katsayısı
A_e	: Kolonun brüt enkesit alanı
A_{ck}	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
ΣA_e	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
ΣA_g	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
A_{s1}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının bir tarafında, kirişin negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{s2}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının A_{s1} 'e göre öbür tarafında, kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{sh}	: s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan b_k 'ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı
ΣA_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamı
b_j	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonla aynı genişlikte olması veya kolonun her iki yanından da taşması durumunda kolon genişliği, aksi durumda kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarlarına olan uzaklıklarından küçük olanının iki katı
b_k	: Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, kolon enkesit boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)
b_w	: Kirişin gövde genişliği
d	: Kirişin faydalı yüksekliği
d_{fi}	: Binanın i'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
d_i	: Binanın i'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
F_{fi}	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkileyen fiktif yük
F_i	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde i'inci kata etkileyen eşdeğer deprem yükü
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı

f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
ΔF_N	: Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
g	: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)
h_k	: Kiriş yüksekliği
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
L_p	: Plastik mafsallık boyu
I	: Bina Önem Katsayısı
M_A	: Artık moment kapasitesi
M_a	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_D	: Düşey yüklerden oluşan moment
M_E	: Deprem yükleri altında oluşan moment
M_K	: Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan moment kapasitesi
M_{pa}	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
$M_{pü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
ΣM_p	: Düğüm noktasına birleşen kirişlerin moment kapasiteleri toplamı
M_{ra}	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} , f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü moment
M_{ri}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} , f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü moment
M_{rj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} , f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü moment
$M_{rü}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} , f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü moment
$M_{ü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_{xl}	: deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci moda esas kütle
N	: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
N_A	: Artık moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet
N_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_{dm}	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü
N_D	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon oluşan eksenel kuvvet

N_E	: Deprem yükleri altında oluşan eksenel kuvvet
N_K	: Mevcut malzeme dayanımları ile hesaplanan moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet
n	: Hareketli Yük Katılım Katsayısı
r	: Etki/kapasite oranı
r_s	: Etki/kapasite oranının sınır değeri
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
R_y	: Dayanım azaltma katsayısı (Doğrusal olmayan yöntem)
s	: Çelik sargıda yatay plakaların aralığı
$S(T)$	: Spektrum Katsayısı
$S_{ae}(T)$	: Elastik spektral ivme [m/s^2]
$S_{aR}(T_r)$	: r 'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme [m/s^2]
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
T	: Bina doğal titreşim periyodu [s]
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
V_c	: Betonun kesme dayanımına katkısı
V_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_{dy}	: Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
V_e	: Kolon ve kirişte enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_{ind}	: İndirgenmiş deprem kuvveti
V_{kol}	: Düğüm noktasının üstünde ve altında hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinden küçük olanı
V_r	: Kolon veya kiriş kesitinin kesme dayanımı
V_r	: Kolon veya kiriş kesitinin kesme dayanımı
V_t	: Binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
δ_i	: Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
$\emptyset$	: Donatı çapı
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1}	: X deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_s	: Toplam enine donatının hacımsal oranı (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$)
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
ρ	: Basınç donatısı oranı
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultulardaki enine donatı hacımsal oranı
ϵ_c	: Beton basınç birim şekildeğiştirme
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirme

ϵ_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
Δ_{akma}	: Akma anındaki yer değiştirmesi
Δ_{max}	: En büyük yer değiştirme

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİNDE DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Binaların deprem performanslarının belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılabilir. Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmaktadır. Doğrusal olmayan statik analiz yönteminde ise doğrusal olmayan davranış her elemana has bir performans katsayısı ile hesaba katılmakta ve yapı sisteminin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmadığı göz önünde tutulmaktadır.

Türkiye aktif fayların yoğun olarak bulunduğu bir deprem bölgesinde bulunmaktadır. Tarihinde birçok büyük depremle sınanmış olan ülkemizde ne yazık ki büyük miktarda can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Bu durum boyutlandırma aşamasında depreme dayanıklı bina tasarımının önemini ve mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Mühendislik alanındaki araştırmaların artması, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile depremin yapı üzerindeki etkilerinin, deprem anında yapının davranışının, taşıyıcı eleman kesitlerinin elastik ötesi davranışının daha gerçekçi belirlenmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, yönetmelik esaslarına dayanan doğrusal yöntemle boyutlandırılmış betonarme bir düzlem çerçeve ve bir uzay çerçeve sistemin mevcut binalar olduğu varsayılarak, deprem performanslarının belirlenmesi için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007) ye göre doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri uygulanmış ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altı bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümü, konunun açıklanması ve konu ile ilgili yapılmış bazı çalışmaların gözden geçirilmesine ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, yapı sistemlerinin çözümlenmesinin tarihsel gelişimi hakkında özet bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, doğrusal yöntemin esasları ve kabullerine yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, doğrusal olmayan yöntem ile ilgili hesap yöntemleri gözden geçirilmiştir. Doğrusal olmayan yöntem için kullanılan kavramlar, performans seviyeleri, performans noktasının bulunuşu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı varsayımına dayanan plastik mafsal hipotezi açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, sayısal incelemeler ve hesaplarda izlenen yollar yer almaktadır. Bu bölümde, incelemelere esas taşıyıcı sistem modelleri yürürlükte olan deprem yönetmeliği esaslarına göre boyutlandırılarak, Deprem Yönetmeliği (2007) de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansları belirlenmiş ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölüm, çalışmada elde edilen sonuçları içermektedir. Çalışmanın genel hatları, sayısal inceleme sonuçlarının değerlendirilmesi ve çalışmaya ek olarak yapılabilecek olası incelemeler bu bölümde sunulmuştur.

1. Deprem Yönetmeliği (2007) de yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri önemli ölçüde benzerlik göstermektedir. İki yöntemin farklılık gösterdiği kesitlerdeki değişim genel olarak bir hasar bölgesi kadardır.
2. Doğrusal olmayan yöntemle belirlenen kesit hasar bölgeleri genelde daha elverişli sonuçlar vermektedir. Fakat bina performansı her iki yaklaşım için de aynı seviyededir.
3. Deprem Yönetmeliği (2007) ye uygun olarak tasarlanan bina taşıyıcı sistemlerinin beklenen deprem düzeyinde öngörülen minimum performans seviyesini sağladığı görülmektedir.

COMPARISON OF LINEAR AND NON-LINEAR METHODS IN DETERMINATION OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS' SEISMIC PERFORMANCE

SUMMARY

Both linear and non-linear methods can be used in determination of seismic performance of constructions. In linear system treatments based on analysis methods, material's stress-strain correlations are held to be linear-elastic. In non-linear static analysis methods however, in terms of non-linear behavior, non-linear characteristics are included with performance coefficients special for each element and horizontal displacement connection that represent structural systems behavior beneath horizontal forces is considered non-linear in the changes of materials and geometry.

Turkey stands on the earthquake area where active faults are intensively present. Having been tested by many major earthquakes in its history, our country has unfortunately experienced high level of damage and loss of life. This case indicates the significance of earthquake resisting building design and the need to determine the seismic safety of existing buildings at the stage of design.

The increase of researches in engineering field provides a more realistic determination of earthquake's effects on the buildings, behavior of structural systems under earthquake effects, and primary element sections' post elastic behavior with the help of developments in computer technology.

In this study, the linear and non-linear evaluation methods given by 2007 Turkish Earthquake Code have been used to determine earthquake performances on the assumption of a reinforced concrete plain frame and a space frame system as existing buildings based on code and designed by linear method and the results achieved by both methods have been compared.

The first chapter of the Master of Science thesis that consists of six chapters covers the description of the subject, the review of some studies made about this subject and the scope and objectives of the study.

In the second chapter, summarization of historical growth of structural systems' analysis has been given.

In the third chapter, essentials and acceptance criteria of linear method have been included. Additionally, concepts used for linear method and limits of performance levels have been revealed.

In the fourth chapter, evaluation methods about the non-linear method have been revised.

Concepts used for non-linear method, performance levels, determination of performance point and the hypothesis of plastic non-linear hinge based on the assumption of inelastic deformation's mass on sections has been explained.

In the fifth chapter, numerical procedures and the path for the calculations have been included. In this chapter, bearing system models based on observations- in accordance with the code regulations recently used- have been constructed, the seismic performances of these models and various alternatives are determined according to linear and non-linear evaluation methods imposed by the Turkish Earthquake Code (2007) and the results are compared and discussed.

The sixth chapter covers the results achieved in this study. The basic features of the study, the evaluation of the numerical results and possible extensions of the study are presented in this chapter.

1. The damage states that are determined by the linear and non-linear methods of the Turkish Earthquake Code (2007) are generally similar and the difference in sections obtained by these two approaches is as one damage state.
2. Damage states of sections determined by non-linear method give more suitable performance levels. However, building performance for both methods is at the same level.
3. Bearing system models designed in accordance with Turkish Earthquake Code (2007) are seemed to obtain minimum performance level predicted by expected seismic risk.

1. GİRİŞ

1.1. Konu

Taşıyıcı sistemler inşa edilirken başlangıçtan itibaren kendi ağırlıklarını taşımaya başlarlar. Sabit yüklerin üzerine gelen düşey yüklerde benzer özelliğe sahiptir. Hareketli yüklerin taşıyıcı sisteme etkisi de ani olmayıp, belirli bir sürede gerçekleşir. Bu sürede taşıyıcı sistemde bir kusurun ortaya çıkması durumunda yük boşaltılarak tedbir alma yönüne gidilebilir. Fakat, deprem yükleri çok kısa sürede etkirler ve dinamik özellik gösterirler. Daha önce herhangi bir yatay yük altında kalmayan taşıyıcı sistem deprem sırasında kısa zamanda önemli bir yatay etki ile zorlanır. Taşıyıcı sistemdeki kusurlar çok kısa zamanda ortaya çıktığı için, herhangi bir tedbir almak veya yüklemeye etkili olmak mümkün değildir.

Türkiye coğrafi sınırlarının hemen hemen tümü deprem riskine sahip topraklardır. Ülkemizde 1976 yılından bu yana meydana gelen depremlerde onbinlerce insan hayatını kaybetmiş ve yaklaşık 16 milyar dolarlık maddi zarar meydana gelmiştir. Bunun en çarpıcı örneği Marmara Bölgesi'nde yaşanmıştır. Bu bölge Türkiye sanayisinin ve nüfusunun en yoğun olduğu ve aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fayı üzerindedir. 1999 yılında meydana gelen Marmara depremi, yaklaşık 17480 can kaybına, doğrudan 4,1 milyar dolar ve dolaylı olarak 8,5 milyar dolarlık maddi zarara sebebiyet vermiştir. Yakın tarihlerde ise, İstanbul ili içerisindeki bazı binaların herhangi bir dinamik etki olmaksızın düşey yükler altında taşıma gücü sınırlarını aşarak göçtüğü görülmüştür. Yapılan araştırma ve sayısal değerlendirmeler, depremlerin can kaybının yanı sıra ülke ekonomisine önemli ölçüde zarar verdiğini göstermektedir.

Depremin tehlikeli olması ve bir afete dönüşmesi, yapıların depreme dayanıklılık derecesine bağlıdır. Yaşanılan depremlerin ardından hasar gören binalar üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, deprem güvenliğinin yetersizlik sebeplerinin başında;

- ✦ düşük dayanımlı malzeme kullanımı,
- ✦ bilimsel gerçeklere ve yönetmelik esaslarına uymayan tasarım,
- ✦ imalat süresince projeye ve mühendislik kurallarına aykırı uygulamalar gelmektedir.

Bu değerlendirmeler, boyutlandırma aşamasında depreme dayanıklı, yeterli güvenlik ve ekonomik bina tasarımının yanı sıra, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan binaların güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

1.2. Performans Belirleme Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar

Yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Özellikle, doğrusal olmayan davranış esaslı yöntemler üzerindeki çalışmalar uzun yıllara dayanmaktadır.

Bu çalışmalardan başlıcaları, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings-(ATC 40), Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines For Seismic Rehabilitation of Buildings-(FEMA 273,356) dır.

FEMA 356 yaklaşımı, ATC 40 yaklaşımının genişletilmesi ile oluşturulmuştur denilebilir. Çünkü, ATC 40 sadece betonarme yapıları kapsamaktadır. Oysaki, FEMA 356 tüm yapı türlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlemelerini içermektedir. Bu yaklaşım kapsamında analiz yöntemi olarak yerdeğiştirme katsayısı yöntemi anlatılmaktadır. Genel olarak her iki proje, performans seviyesi, performans hedefleri ve deprem etki seviyeleri tanımları bakımından birbiri ile uyumludur. Sadece isimlendirme farklılıkları vardır. “Yapısal Performans Seviyesi ” tanımı yerine “ Toptan Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi ” tanımı getirilmiştir.

Yakın zamana kadar ülkemizde, olası deprem etkileri altında mevcut yapıların doğrusal olmayan davranışları ve bu etkiler altında yapının göstereceği deprem performansı mevcut ulusal yönetmeliklerle tahmin edilememekteydi. Bu gereksinim sonucu olarak, mevcut ABYYHY (98) in bazı bölümlerinde kapsamlı, bazı bölümlerinde ise küçük değişiklikler yapılarak ve mevcut binaların değerlendirilmesi ile ilgili yeni bölüm eklenerek Deprem Yönetmeliği (2007) yürürlüğe sokulmuştur.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre tasarlanmış betonarme taşıyıcı sistemlere, aynı yönetmelikte tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemlerinin uygulanması ve sayısal sonuçların değerlendirilmesi yolu ile,

- ✦ Yeni deprem yönetmeliği tasarım esaslarına göre boyutlandırılmış betonarme sistemlerin deprem performans ve güvenliklerinin belirli depremi düzeylerine karşılık öngörülen minimum bina performans seviyelerini sağlayıp sağlanmadığının belirlenmesi,
- ✦ Yönetmelikte öngörülen iki farklı performans belirleme yönteminin sonuçlarının karşılaştırılmasıdır.

Bu amaçlara yönelik olarak, yöntemlerin anlaşılması ve kolay uygulanabilmesi bakımından bir betonarme çerçeve taşıyıcı sistem modeli ile ülkemizdeki mevcut betonarme binaları temsil etmesi için altı katlı bir taşıyıcı sistem modeli üzerinde sayısal incelemeler yapılmıştır.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

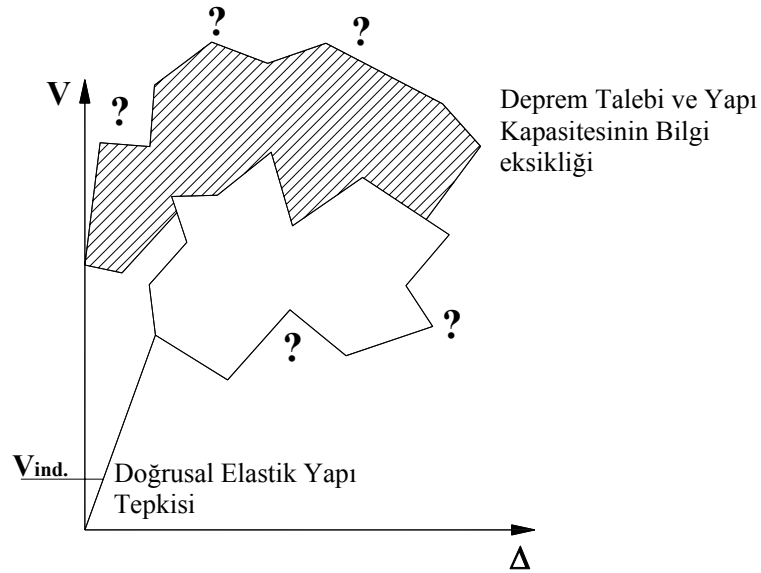
- ✦ Yapı sistemlerinin çözümlenmesinde tarihsel gelişimin incelenmesi,
- ✦ Doğrusal yönteme dayalı tasarımın incelenmesi,
- ✦ Performansa dayalı değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi,
- ✦ Sayısal incelemelere esas taşıyıcı sistem modellerinin belirlenmesi ve Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre doğrusal yöntem ile boyutlandırılması,
- ✦ Bu sistemlerin, Deprem Yönetmeliği (2007) de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntem ilke ve kurallarına göre performanslarının belirlenmesi,
- ✦ Her iki yöntem ile elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması,
- ✦ Sayısal incelemelerde elde edilen sonuçların açıklanması.

2. TARİHSEL GELİŞİM

Yapı tarihi, insanlık tarihi ile başlamıştır diye düşünülebilir. İnsanlar barınma ihtiyaçlarından dolayı yapı yapmaya yönelmişlerdir. İlk yapılar tamamıyla, insanların tecrübesi ile oluşmuştur. İnsanların yapı hakkındaki tecrübesi her geçen gün daha da artmıştır. Fakat, eskiden yapı mekaniği bilinmediği için oldukça zorlanılmıştır. Her yapıda görülen eksikler, daha sonraki yapılarda yapılmamıştır. Bu da insanların yapı konusunda bilgisini ve tecrübesini arttırmıştır. Eski devirlerde insanlara yol gösterecek ve onları yönlendirecek hiçbir yönetmeliğin bulunmaması yapı yapmayı daha da zor bir hale getirmiştir.

Yapılan yapılar, en çok zarar veren doğal afet "deprem" tarafından günümüzde de olduğu gibi bir hayli zarara uğramışlardır. Birçok yapı deprem etkisiyle tamamıyla yıkılarak yok olmuştur.

Deprem etkisi, geçmişten beri incelenmekte ve buna karşı özel mühendislik teorileri üretilmektedir. Fakat, depremin ne zaman olacağının bilinmemesi mühendisler ve uygulamacılar açısından en büyük engeli oluşturmaktadır. Bu bilgi eksikliğine ek olarak malzemenin doğrusal-ötesi davranışındaki bilinmezlikler de yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem etkileri altındaki davranışını daha karmaşık bir hale sokmaktadır. (Şekil 2.1)

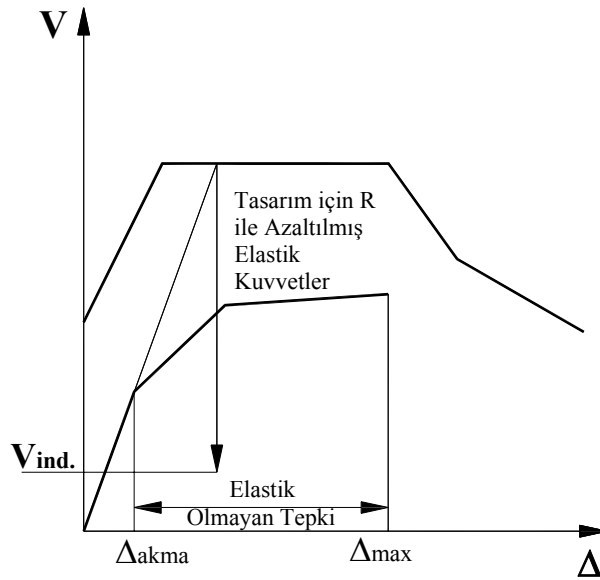


Şekil 2.1 : Yapı Kapasitesindeki Bilgi Eksikliğinin Gösterimi

Doğrusal yöntemde, bu bilgi eksikliğini gidermek için,

- ✦ Yapı kütlesiyle orantılı deprem kuvvetleri ($V_d = 5-10 \% \text{ Ağırlık}$),
- ✦ Binanın deprem talebindeki ve yapının kapasitesindeki belirsizliği tanımlamak için “güvenlik faktörleri” ,
- ✦ Doğrusal tasarım için indirgenmiş deprem kuvvetleri ($V_t = V_{\max} / R$)
- ✦ “R” yapı tipinin doğrusal olmayan tepki niteliklerine bağlı olarak değişiklik gösteren katsayı,
- ✦ Binadan beklenen sünekliği tanımlamak için kullanılan indirgeme, ($\Delta_{\max} / \Delta_{akma.}$) katsayıları

kullanılmıştır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 : Doğrusal Yöntem Esaslı V-Δ Grafiği

Bu belirsizliklerin bir sonucu olarak, tasarlanacak yapının türü ve kullanım amacına uygun deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerine karşılık beklenen yapı performans seviyelerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyacı giderebilmek için, bugünkü mevcut yönelim olan, taşıyıcı eleman kesiti seviyesinde elastik olmayan davranışı da dikkate alabilen doğrusal olmayan yöntemler geliştirilmiştir.

3. DOĞRUSAL YÖNTEM

3.1. Doğrusal Yönteme Giriş

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genellemenin dışında kalan sistemler arasında narin yapılar, elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve bazı durumlarda yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal teoriye göre sistem analizine dayanan tasarım yaklaşımlarında (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi, yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir.

3.2. Kabuller

Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının incelenmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar göz önünde tutulmaktadır.

- i- Düzlem kesit şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.
- ii- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- iii- Çatlamış betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.
- iv- Betonun σ - ϵ diyagramı için parabol + dikdörtgen modeli esas alınmaktadır.

- v- Beton eliğinin σ - ϵ diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır.

4. DOğRUSAL OLMAYAN YÖNTEM

4.1. Doğrusal Olmayan Yönteme Giriş

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapı sisteminin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme (P- δ) ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi adı verilen bu eğriden yararlanarak, yapının göreceli olarak zayıf (yetersiz) elemanları, bunların yerleri ve olası bölgesel veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmekte, ayrıca belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapı performansının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapıya etkililen yatay deprem yükleri yönetmeliklerde öngörölen seviyeye ulaştığında, gerek dayanım gerekse yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeler bakımından yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme düzeyinde değerlendirmenin esas alındığı yöntemlerde ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini göz önüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik özömler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşilmektedir. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışının gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir.

4.2. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Ötesi Davranış Sebepleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

- a. Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- b. Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler **Tablo 4.1.** üzerinde topluca özetlenmiştir.

Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde denge denklemleri şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Tablo 4.1 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

	Doğrusal Olmayan Sistemler					
	Doğrusal Sistemler	Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük	Küçük Değil

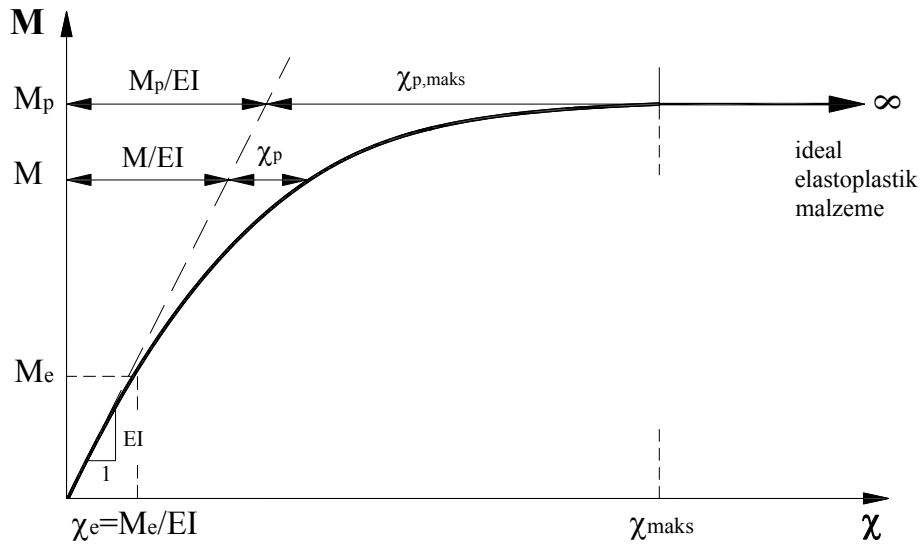
4.3. Plastik Mafsal Hipotezi

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin “plastik mafsal (plastik kesit)” adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayımına dayanan bir hipotezdir. Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsal hipotezinden faydalanarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Toplam şekil değiştirmenin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı (ϕ_u/ϕ_y) olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze “plastik mafsal hipotezi” adı verilir.

Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelir. Momentin düşük değerlerinde betonarme kesitlerin moment-eğrilik bağıntıları doğrusal elastik olarak kabul edilebilir. Momentin artan değerinde sırasıyla betonarme kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelir. Bu noktadan itibaren betonarme kesiti oluşturan betonun ve çeliğin doğrusal olmayan davranışları kesitte hakim olur. Kesitin moment-eğrilik bağıntısında doğrusal davranıştan uzaklaşır. Plastik davranışın hakim olduğu bu aşamalarda kesitin taşıyabileceği moment çok az artarken, kesit dönmeleri hızlı bir şekilde artar. Bu iki bölgenin ayrımı, çekme donatısının akmaya başladığı nokta olarak kabul edilir.

Kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısı **Şekil 4.1**'de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler **Şekil 4.2**'de görülmektedir.



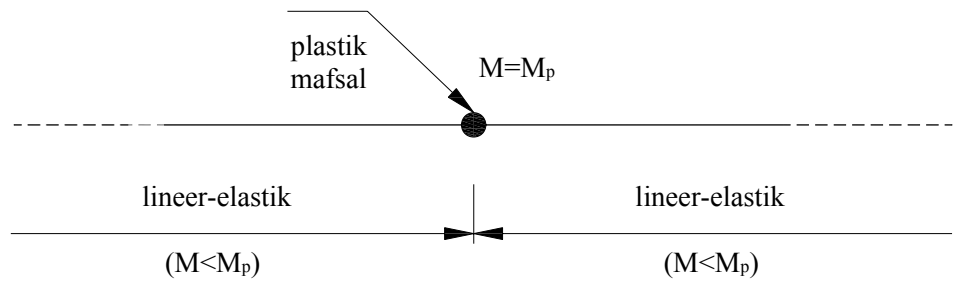
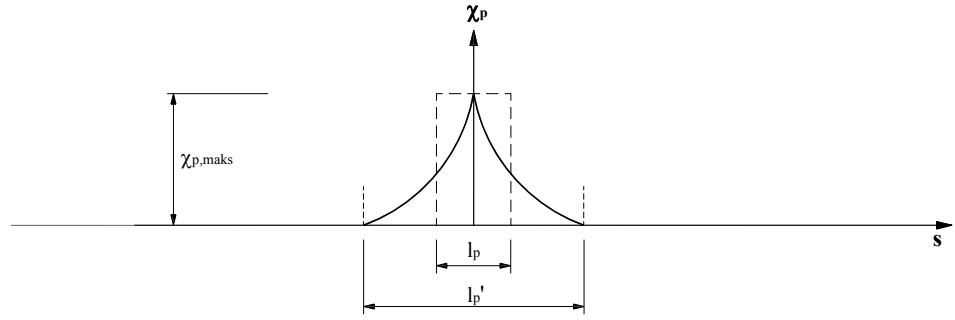
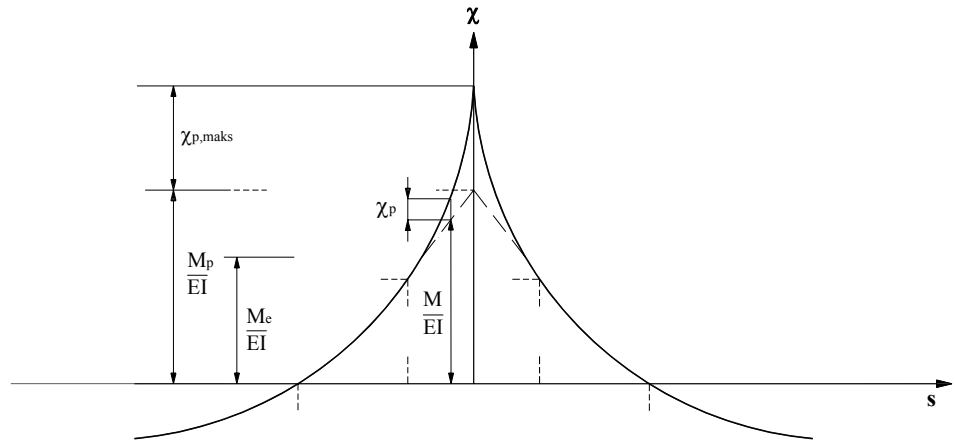
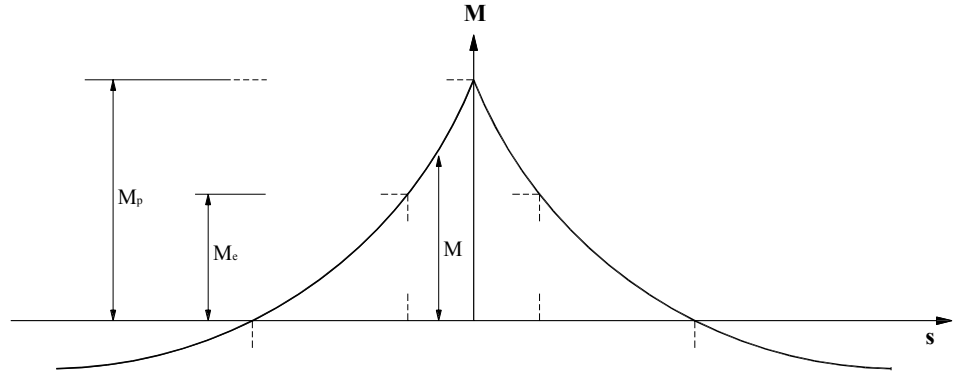
Şekil 4.1 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

Plastik mafsallarda, çubuk eleman üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan plastik şekil değiştirmelerin

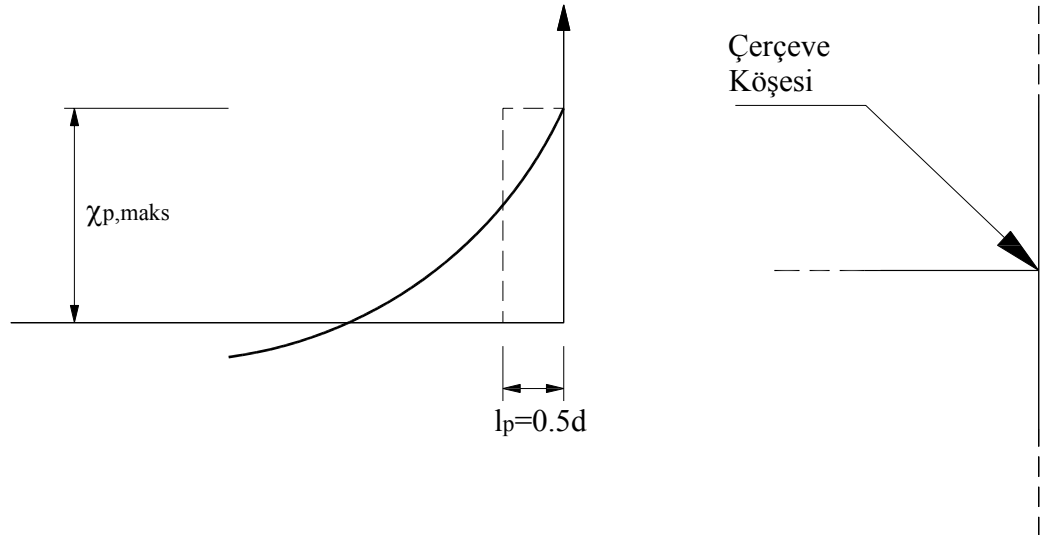
$$\phi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (4.1)$$

Şeklinde “plastik mafsallarda” olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır.

Denklem 4.1'de, ϕ_p , plastik mafsallarda iki yüzünün birbirine göre dönmelerini göstermektedir.



Şekil 4.2 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler



Şekil 4.4 : Plastik Mafsal Boyu

Betonarme sistemlerde dönme kapasitesinin değeri çeşitli etkenlere bağlıdır.

Bunların başlıcaları,

- ✦ Betonarme betonu ve beton çeliğinin σ - ϵ diyagramlarını belirleyen ϵ_{cu} ve ϵ_{su} sınır birim boy değişimleri,
- ✦ Betonarme betonunun ϵ_{cu} sınır boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- ✦ Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları,
- ✦ Eğilme momenti diyagramının şeklidir.

Betonarme yapı sistemlerinde mafsal dönmesinde şekil değiştirme kapasitesi küçük olan beton etkili olmaktadır, çelik yapı sistemlerinde ise, dönme kapasitesi genellikle büyük değerler alabilmektedir. Diğer taraftan performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etken olmaktadır.

Plastik mafsal hipotezinin esasları

- ✦ Kesitteki moment değeri artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti $M=M_p$ olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki, ϕ_p , plastik dönmesi artarak $\max \phi_p$ kapasitesine erişince kesit kullanılmaz duruma gelir.
- ✦ Plastik mafsallar arasında eleman doğrusal-elastik olarak davranır.

- ✦ Kesite eğilme momenti ile birlikte eksenel kuvvetinde etkimesi halinde, M_p , plastik momenti yerine, kesitteki, N , normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment, M_p , değeri esas alınır.

4.4. Performans Kavramına Dayalı Tasarım

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bu yöntemin yeni yapıların tasarımında kullanılabileceği söz konusu olmuştur. Geleceğin deprem yönetmeliklerinde, klasik kuralların yanında daha ayrıntılı incelemeyi gerektiren performans kavramına dayalı boyutlama ilkelerinin bulunacağı tahmin edilmektedir. Performansa dayalı tasarım, klasik tasarımın genişletilmesi olarak görülebilir.

Yeni yapı tasarımında elastik ötesi davranışın tek bir R_a deprem yükü azaltma katsayısı ile göz önüne alan yöntemle benzetilmektedir. Bu yöntemde tersten hareket edilerek her eleman için (tüm sistem için değil) bir etki/kapasite oranı (deprem yükü azaltma katsayısı) hesaplanarak, öngörülen sınır değerle karşılaştırılmaktadır. Bu sınır kabul edilebilecek hasar seviyesine bağlı öngörülmektedir. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme esaslı değerlendirmenin esas alındığı yöntemlerde ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Gerçekte deprem yönetmeliklerinde tanımlanan sınır durumlar ile bir performans seviyesi tanımlanmıştır. Performansa dayalı tasarımda belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans seviyesinin incelenmesi söz konusu olabilir.

Diğer bir açıdan deprem yönetmeliklerinin oluşumu incelenirse yirmi yıldan daha önce bile performans seviyesinin tanımlandığı görülebilir. Yapının küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri Can Güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlatması gibi performans seviyeleri hedeflenmiştir. Performansa dayalı tasarımda bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanarak kabul edilmiştir. Alışıla gelen depreme dayanıklı yapı

tasarımında “Can Güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesine karşılık geldiği kabul edilen durum için tasarım yapılır. Performansa dayalı tasarımda ise ek performans seviyeleri ön görülür ve bunların sağlanması için tasarım yöntemleri veya sınır durumları tanımlanır.

4.5. Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme Yöntemi

Yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesi, genelleştirilmiş doğrusal olmayan statik çözümleme yöntemini niteleyen, artımsal itme ile çözümleme kullanılarak temsil edilir. Yapının mümkün olan (sahip olduğu mevcut) kapasitesi, deprem talebi ile kıyaslanarak yapının kabul edilebilir performansı incelenir. Doğrusal olmayan statik çözümleme yönteminin birincil üç elemanının tanımlaması aşağıda belirtilmiştir:

Bir yapının kapasite eğrisinin adım adım gelişimi, ATC 40’a göre İndirgenmiş Talep Spektrumu, FEMA 356’ya göre Hedef Deplasman Katsayıları kullanılarak ve benzer yaklaşımla Deprem Yönetmeliği (2007) de ise eşit yerdeğiştirme kuralından yararlanılarak yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler ve performans noktasının/hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi ve kabul edilebilir performans için bir sonraki kontrolü içerir.

4.6. Doğrusal Olmayan Yöntem İle İlgili Kavramlar

Talep :

Yapıya etkiyen deprem hareketini temsil eder. Doğrusal olmayan analiz yönteminde, talep, yapının maruz kalması beklenen yerdeğiştirme veya şekildeğiştirme yaklaşımıyla temsil edilmektedir. Bu durum doğrusal elastik yöntemde kesit etki/kapasite oranlarının esas alınmasına karşı gelir.

Talep spektrumu :

Kapasite spektrumu yönteminde yer hareketini temsil etmek için kullanılan indirgenmiş deprem spektrumudur.

Kapasite :

Yaygın olarak beton elemanların tasarımında kullanılan, beklenen sınır dayanımıdır (eğilme, kesme veya eksenel yüklemeye). Kapasite, genellikle eleman veya yapının kapasite eğrisi üzerinde akma noktasındaki dayanımıdır. Şekildeğiştirme kontrollü

bileşenlerde kapasite, elastik sınırın ötesinde genellikle pekleşme şekildeğiştirmesinin etkilerini içermektedir.

Kapasite eğrisi :

Bir yapıda, V , toplam kesme kuvvetine karşı yapının, en üst katındaki yatay yerdeğiştirmenin, aynı eğri üzerinde gösterilmesidir. Bu genellikle Statik İtme (Kapasite) Eğrisi olarak tanımlanır.

Kapasite spektrumu :

Kapasite spektrumu, kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirmesi ($V-d$) koordinatlarının, spektral ivme-spektral yerdeğiştirme (S_a-S_d) koordinatlarına dönüştürülmesidir.

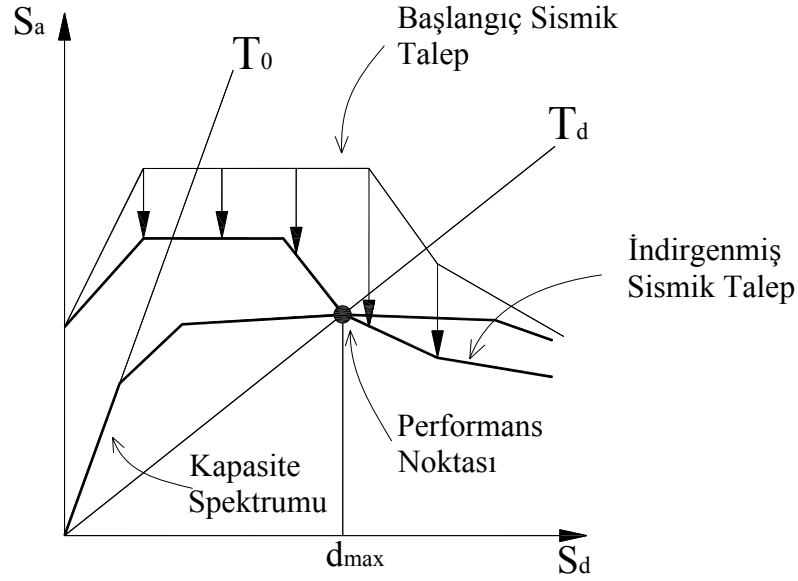
Kapasite spektrumu yöntemi :

Yapıda tepki spektrumunu (talep spektrumu) temsil eden, depremin taleplerine karşılık gelen tepe yerdeğiştirmesiyle birlikte mevcut veya güçlendirilmiş bir yapının beklenen sismik performansı ile deprem spektrumunun kesişmesinin grafiksel olarak gösterimini sağlayan doğrusal olmayan bir analiz yöntemidir. Kesişim noktası performans noktasıdır, performans noktası üzerindeki yerdeğiştirme koordinatı, d_p , yapıda belirtilmiş sismik risk seviyesine ait tahmini talep yerdeğiştirmesini verir.

En büyük yerdeğiştirme, belirli bir depremle veya yer hareketinin yoğunluğuyla doğrudan ilişkilidir ve yapı için hasar durumunu gösterir. Hasar durumları yapıdaki tüm elemanların şekil değıştirmelerinden meydana gelir. Talebin, beklenen bir performans hedefi için kabuledilebilirlik sınırları ile karşılaştırılması ve her bir eleman için eksikliklerin belirlenmesine yardımcı olur.

Kapasite spektrum yöntemini içeren doğrusal olmayan statik yöntem, geleneksel tasarım yöntemleriyle karşılaştırıldığında karmaşık görünebilir. Fakat bazı üstün özellikleri de bulunmaktadır.

Doğrusal olmayan yerdeğiştirmeler sönümü artırır ve talebi azaltır. **Şekil 5.4**'te gösterilen Kapasite Spektrum Yöntemi'nde, elastik spektrum eğrisi, performans noktasında beklenen hasar göz önüne alınarak azaltılır ve kapasite eğrisi ile kesişimi sağlanır.



Şekil 4.5 : İndirgenmiş Talep Spektrumu

Kapasite spektrumu yöntemi, sismik talebi başlangıçta %5 indirgenmiş elastik tepki spektrumu ile nitelendirir. Bu spektrum, spektral ivmeyi, spektral yerdeğiştirmenin bir fonksiyonu olarak gösteren spektral eksenlerde çizilir. Bu düzen bir yapı için, talep spektrumunun, kapasite eğrisi üzerinde olmasına izin verir. Talep ve kapasite spektrumunun kesişimi, eğer kapasitenin doğrusal aralığında kesişirse, yapının gerçek yerdeğiştirmesi olarak belirlenebilir; fakat bu bazı doğrusal olmayan davranışları içeren çoğu analiz için normal bir durum değildir, her analiz doğrusal olmayan kısımlar içermektedir.

Kapasite ve talebin eşit olduğu noktayı bulmak için, mühendis başlangıç varsayımı olarak kapasite spektrumu üzerinde bir nokta belirler. Mühendis bu noktadaki spektral ivme ve yerdeğiştirmeyi kullanarak, belirlenmiş nokta ile alakalı histerik enerji dağılımını izah eden %5 indirgenmiş elastik spektrumuna uygulamak için kullanacağı, ek hasar sönümlerini içeren, indirgeme faktörlerini hesaplar. Bu indirgeme faktörleri talep spektrumunun aşağı çekilmesini etkilemektedir. Eğer indirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştiği nokta, başlangıçta varsayılan noktanın üzerinde veya yeterince yakınındaysa, o nokta kapasitenin, talebe eşit olduğu yerdeki “performans noktası” için çözümdür. Eğer kesişim noktası sonuç olarak başlangıçta varsayılan noktaya yeterince yakın değilse, ek sönüm her noktada değişeceği için, mühendis bu iki nokta arasında bir yerde yeni bir nokta belirler ve performans noktası için bir çözüme ulaşana kadar, işlemi tekrarlayarak devam eder.

İlk olarak, kapasitenin meydana getirilmesi ve kapasite ile talebin karşılıklı bağıllığının doğrudan bilinmesi, mühendise yapının gerçek performansı hakkında etkili bir kavrayış kazandırmaktadır. Bu, mühendise geleneksel yöntemlere göre daha fazla artırılmış seviyede gerekli deneyim ve yargılama imkânı sağlamaktadır.

Kapasitenin talebe eşit olduğu performans noktası, belirli bir deprem sıklığı için bir yapıdaki hasar durumunu belirleyen nihai durumu nitelemektedir.

Süneklik :

Yapısal bir bileşenin, elemanın veya sistemin önemli dayanım kaybına ya da ani göçmeye uğramadan akma noktasının (elastik sınırın) ötesinde büyük yerdeğiştirmelere, birkaç tekrarlı şekil değiştirmeye maruz kalabilme yeteneğidir. Bu elemanlar sadece akmadan sonra etkili rijitlik azalmasına maruz kalırlar ve genellikle “şekildeğiştirme kontrollü” veya “sünek elemanlar” olarak gösterilirler.

Süneklik talebi :

Elastik sınırın ötesinde şekildeğiştirmenin (dönme veya yerdeğiştirme) boyutu olarak gösterilir. Sayısal olarak en büyük şekildeğiştirmenin, akma şekildeğiştirmesine oranı olarak ifade edilir (ϵ_u/ϵ_y).

Gevrek kesit veya eleman :

Sünek olmayan davranış gösterir ve genellikle elastik sınırın ötesinde dayanım azalmasına maruz kalırlar. Bunlar genelde kuvvet-kontrollüdür.

Akma (etkili akma) noktası :

Kapasite spektrumu boyunca en büyük kapasiteye ulaşıldığı, doğrusal-elastik şekildeğiştirme ilişkisinin sona erdiği ve etkili rijitliğin azaldığı noktadır. Hemen hemen bütün elamanlar veya birkaç bileşenden meydana gelen sistemlerin tümünde, etkili akma noktası (kapasite spektrumunun iki doğrulu temsilinde) yeterli sayıda her bir bileşenin veya elemanın aktığı ve bütün yapının elastik olmayan şekildeğiştirme yapmaya başladığı nokta olarak kabul edilir.

Rijitlik kaybı :

Doğrusal sınırın ötesindeki şekildeğiştirmelere, birden fazla maruz kalan bileşenlerin veya yapının dayanımındaki kaybı gösterir. Dayanımı bu şekilde azalmış elemanlar genel olarak “kuvvet-kontrollü”, “gevrek” veya “sünek olmayan” olarak bilinir. Bu

elemanların eğilme, kesme veya eksenel yüklerinin bir kısmı veya tamamı yapısal sistemdeki diğer, daha sünek, bileşenlere yeniden dağıtılmalıdır.

Şekildeğiştirme kontrollü :

Doğrusal sınırlarını sünek davranış içerisinde aşabilen ve aşmasına izin verilmiş bileşenleri, elemanları veya sistemleri gösterir. Bu bileşenlerde kuvvet veya gerilme seviyeleri akma noktası ötesindeki şekildeğiştirmelere nazaran daha önemsizdir.

Kuvvet kontrollü :

Elastik sınırlarını aşmalarına izin verilmeyen, gevrek davranış gösteren elemanlar için kullanılır. Bu sınıftaki elemanlar genellikle “gevrek” veya “sünek olmayan” olarak gösterilir. Bu elemanlar sınırlı akma-ötesi şekildeğiştirmesinden sonra önemli derecede dayanım kaybına maruz kalırlar.

Performans esaslı yöntem:

Performans yükleme durumunu elde etmek için yapısal değerlendirme aralıklarının ifade edildiği yöntemdir.

Doğrusal olmayan statik (analiz) yöntemi :

Statik itme analizi, yapının sahip olduğu yatay yerdeğiştirme yeteneğini temsil eden kapasite eğrisini oluşturmakta kullanılır. Tanımlanmış sismik risk düzeyine göre yapıdaki yerdeğiştirmeyi gösteren analiz yöntemidir. Bu iki değer karşılaştırılarak yapının kabuledilebilir performans seviyesi oluşturulur.

Bir yapı veya yapısal eleman için kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini veya kapasite eğrisini belirlemek için kullanılan yöntem artımsal statik yöntemidir. Analizde daha önceden tanımlanmış bir modelde, bir yapının bilgisayar modelinde, yatay yük uygulanmasına ihtiyaç vardır. Artımlı olarak yapı itilir, her artımda uygulanan toplam yatay kesme kuvveti ve bununla ilişkili olan yatay yerdeğiştirme grafiği yapı sınır duruma ulaşıncaya ya da göçme koşuluna varıncaya kadar çizilir.

Hedef yerdeğiştirme :

Yerdeğiştirme katsayısı yönteminde, hedef yerdeğiştirme, kapasite spektrumu yöntemindeki performans noktasına eşittir. Hedef yerdeğiştirme bir katsayılar dizisi kullanılarak hesaplanır.

Performans noktası :

Kapasite spektrumu yönteminde, kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişimidir. (Performans noktasındaki yerdeğiştirme, katsayı yöntemindeki hedef yerdeğiştirmeye eşittir).

Performans seviyesi :

Yapıda oluşan fiziksel hasar ile belirlenen, sınırlandırılmış bir hasar durumu veya koşuludur. Bina sakinlerinin Can Güvenliğini tehdit eden hasar durumunu ve depremden sonra binanın kullanılabilirliğini belirleyen seviyedir. Bir binanın performans seviyesi yapısal performans seviyesi ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimidir.

Binanın beklenen sismik performansdır (performans seviyesi). Genellikle belirli bir sismik risk için izin verilen (veya kabul edilebilir) en büyük yapısal veya yapısal olmayan hasar olarak tanımlanır.

Yerdeğiştirme esaslı davranış :

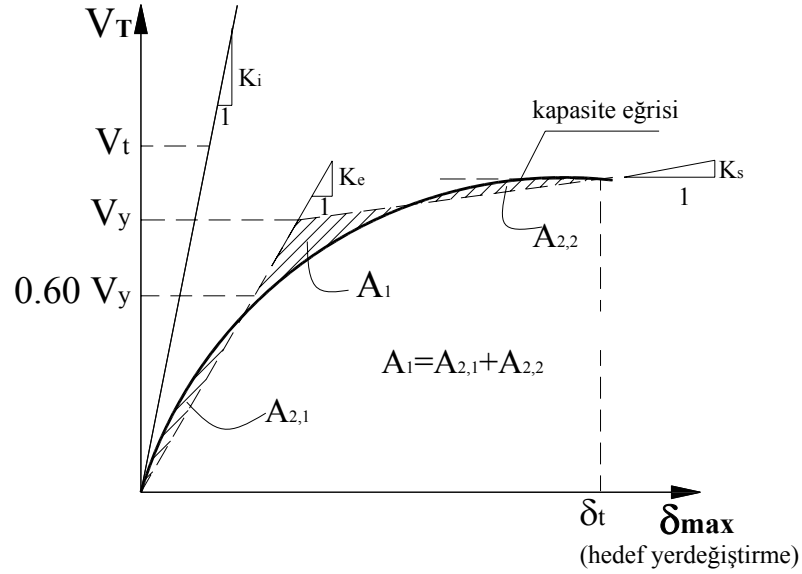
Analiz yöntemlerine göre, doğrusal olmayan analiz yöntemi gibi, temeli daha gerçeğe yakın davranışı değerlendirmeye dayanan ve genellikle elastik olmayan, deprem hareketinden dolayı oluşan yatay yerdeğiştirmeler ve şekil değiştirmeleri esas alan davranıştır.

Yerdeğiştirme katsayısı yöntemi :

Yapıdaki deplasman talebini tahmin edebilmek için sayısal bir yol sağlayan doğrusal olmayan analiz yöntemidir. Kapasite eğrisi ve bir düzeltme faktörleri serisini veya katsayıları çift eğrilik ile temsil ederek hedef yerdeğiştirmeyi hesaplamaya yarar. Kapasite eğrisinde hedef yerdeğiştirme üzerindeki nokta, kapasite spektrumu yöntemindeki performans noktasına eşittir.

Yöntemin esası, kapasite spektrum yöntemine benzer olarak, kapasite ve talebin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yer değiştirme talebi grafik olarak değil sayısal bir biçimde belirlenmektedir. Yer değiştirme katsayısı yönteminde ilk olarak, yapıya ait taban kesme kuvvetinin en üst kat yerdeğiştirmesine bağlı olarak değişimini gösteren kapasite eğrisi oluşturulur. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal titreşim periyodu dikkate alınır. Sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında yapının doğrusal olmayan

analizi yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri, elastik rijitliği K_e , elastoplastik rijitliği K_s 'yi temsil eden iki doğru parçası ile idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite eğrilerinin altında kalan alanların eşit olması esas alınır. Ayrıca K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kestiği noktanın ordinatının 0,60 katı olması esas alınır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 : Kapasite Eğrisi ve İdealleştirilmesi

Statik itme analizi sonunda, elde edilen “taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme” itme eğrisinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi gerekir. Modal yer değiştirme talebi, modal tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan en büyük yer değiştirmesine karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme $S_{di}(T_e)$ ye eşittir. Bu büyüklük, eşdeğer doğal periyoda T_e karşı gelen doğrusal spektral yer değiştirmenin $S_{de}(T_e)$ 4.6 ile tanımlanan C_1 ve C_2 katsayıları ile çarpılarak elde edilmektedir.

$$S_{di}(T_e) = C_1 C_2 S_{de}(T_e) \quad (4.6)$$

C_1 katsayısı

(4.7)

$$C_1 = 1 + (R_y - 1)/3,6 \quad T_e < 0,2s \text{ için} \quad (4.7a)$$

$$C_1 = 1 + (R_y - 1)/(90 T_e^2) \quad 0,2s \leq T_e \leq 1,0s \text{ için} \quad (4.7b)$$

$$C_1 = 1 \quad T_e > 1,0s \text{ için} \quad (4.7c)$$

C₂ katsayısı

(4.8)

$$C_2 = 1 + (R_y - 1)^2 / 32 \quad T_e < 0,2s \text{ için} \quad (4.8a)$$

$$C_2 = 1 + (R_y - 1)^2 / (80 T_e^2) \quad 0,2s \leq T_e \leq 1,0s \text{ için}$$

(4.8b)

$$C_2 = 1 \quad T_e > 1,0s \text{ için} \quad (4.8c)$$

Bu bağıntılarda yer alan R_y (dayanım azaltma katsayısı) ise **Denklem 4.9** ile elde edilir.

$$R_y = S_{ac}(T_e) / a_y \quad (4.9)$$

Modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinin ardından hedef yerdeğiştirme elde edilir. Daha sonra, tepe yerdeğiştirmesi hedef yerdeğiştirmesine eşit oluncaya kadar taşıyıcı sistem itilir.

Kısaca özetlemek gerekirse, yer değiştirme katsayısı yönteminde, hedef yerdeğiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekir. Başlangıçta seçilen ve sistemin etkin doğal periyodunun hesabına esas olan, δ_t , yer değiştirme ile hesap sonunda bulunan değerlerin birbirine yeterince yakın olması durumunda hedef yer değiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir. Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirme bulunduktan sonra performans hedefinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği kontrol edilir. Bunun için sisteme ait büyüklüklerin değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Performansı belirlenecek olan yapı sisteminin doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi için modelleme parametrelerine uyulmalıdır.

Birincil elemanlar :

Performans noktasında yapının yatay kuvvet direncinin ve dayanımının önemli bir bölümünü sağlayan yapısal bileşenler veya elemanlardır. Bu elemanlara, deprem etkilerine karşı, tekrarlı doğrusal olmayan tepkilerden sonra, yatay kuvvetleri karşılamak için ihtiyaç duyulur.

İkincil elemanlar :

Birincil elemanların yatay yük karşılama sisteminde ihtiyaç duyulmayan ya da olmayan yapısal bileşenler veya elemanlardır. Fakat ikincil elemanlara düşey yükleri taşımakta ihtiyaç duyulabilir ve bazı yatay yükleri karşılayabilirler.

Sismik Risk (Deprem Düzeyi):

Yer hareketi deprem için öngörülen ölçüdür.

Sismik riskin yöntembilimde üç standart seviyesi öngörülür.

Kullanılabilirlik Depremi (Servis Depremi-SD) : 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %50 olan deprem

Tasarım Depremi (TD) : 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan deprem

En Büyük Deprem (EBD) : 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2 olan deprem

4.7. Performans Hedefleri

4.7.1. Performans Hedefinin Oluşturulması

Belirli bir sismik risk seviyesi için kesin bir performans seviyesinin elde edilmesi, performans hedefinin elde edilmesinde önemlidir.

Yapılarda deprem sonucunda meydana gelen kayıp, üç tip olarak sınıflandırılabilir.

Can Güvenliği : Yoldan geçenler ve bina sakinleri için ölüm ve yaralanmalardır.

Sermaye Kayıpları : Onarım maliyetleri veya binanın veya içeriğinin yeniden yapılması ile ilgili kayıplardır.

İşlevsel Kayıplar : Devlet gelirindeki kayıp veya depremden sonra işlev yeteneğindeki yetersizliklerle alakalı masraflardaki artışlardır.

Bir yapı için performans seviyesi, deprem boyunca, potansiyel kayıpların varlığı ve boyutlarıyla ölçülür. Açıkça, performans seviyesi her depremin büyüklüğüyle değişir.

Bir performansın amacı, belirli deprem düzeyi için bir yapının performansın kesin seviyesinin elde edilmesidir. Örneğin, mal sahibi, En Büyük Deprem düzeyinde Can Güvenliği'ni ve Servis Deprem düzeyi etkilerinden sonra Hemen Kullanım'ı amaçlayabilir.

4.7.2. Temel Güvenlik Hedefleri

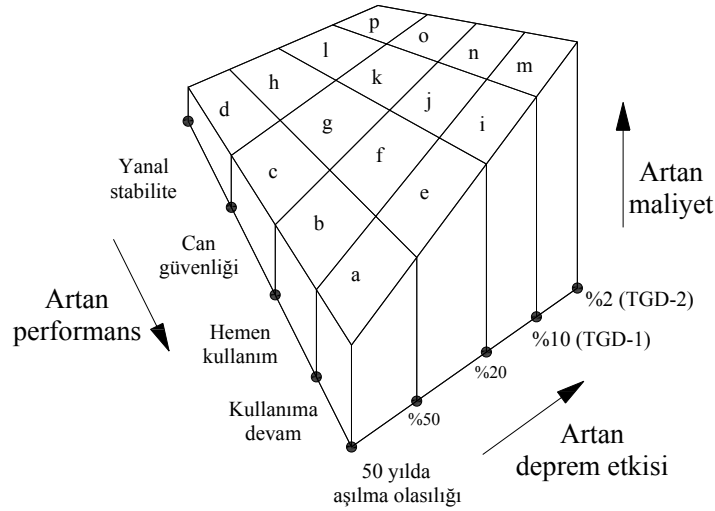
Sismik performans hedefi, verilen bir deprem etkisi için istenilen bir yapı performans seviyesinin seçilmesidir. Temel güvenlik amacı, genel olarak, yer hareketinin Tasarım Depremi Seviyesi için, Can Güvenliği, En Büyük Deprem Seviyesi için ise Yapısal Stabilitenin gerçekleşmesidir.

Geniş çeşitlilik gösteren yapı performans seviyeleri, yer hareketinin çeşitli seviyeleriyle birleştirilerek çeşitli performans hedefleri oluşturulabilir.

4.7.3. Temel Performans Hedefleri

Bir performans seviyesi, belirli yer hareketi için yapıda tatmin edici sınırlandırılmış hasar koşullarını tanımlar. Sınır koşullar yapının içindeki fiziksel hasarlar olarak tanımlanır. Yapının kullanıcılarının, hasardan meydana gelen, yaşam tehdidi ve sonraki depremlerde kullanılabilirlik durumudur.

Yapı performans seviyesini yapısal performans seviyesi ve yapısal olmayan performans seviyesi beraberce oluşturur. Yapısal ve yapısal olmayan sistemlerin performansları birbirinden bağımsız olarak belirlenir.



Şekil 4.7 : Performans Hedeflerinin Sınıflandırılması

Performans hedefi; belirli bir yer hareketi için beklenen yapı performansıdır.

Yapının bütün hasar durumunu belirlemek için yapının yapısal ve yapısal olmayan performans seviyesinin birleşiminden oluşan performans seviyeleri bilinmelidir. Performans hedefi, beklenen yapı performans seviyesi ile verilen bir yer hareketinin birleşiminden oluşmaktadır.

4.7.3.1. Yapısal Performans Seviyeleri

Deprem Yönetmeliği (2007) de yalnızca yapısal elemanlar esas alınmaktadır. Bu konuların değişik ve ayrıntılı incelendiği FEMA 273 ve 356'ya gözetildiğinde **Tablo 4.2'**de altı standart yapısal performans seviyesi olduğu görülmektedir.

- ✦ YP-1, Hemen Kullanım
- ✦ YP-2, Hasar Kontrolü
- ✦ YP-3, Can Güvenliği
- ✦ YP-4, Sınırlı Güvenlik
- ✦ YP-5, Yapısal Stabilit 
- ✦ YP-6, Değerlendirme Dışı

Hemen Kullanım, YP-1 : Deprem sonrası sadece çok kısıtlı hasarları içeren seviyedir. Yapıda ana düşey ve yatay kuvvetlere direnç gösteren ana sistemler deprem öncesi niteliklerini ve kapasitelerini hemen hemen s rd r rl r. Yapısal g  m lerden dolayı hayati tehdit ve söz konusu yaralanmalar göz ardı edilebilir seviyededir. Yapı sınırsız giriş çıkış ve kullanım için güvenlidir.

Hasar kontrolü, YP-2 : Bu terim tam olarak belirli bir seviye değildir, deprem sonrası hasar durumları için, (YP-1), Hemen Kullanım ve (YP-3), Can Güvenliği hasar seviyeleri arasında değişken bir aralıktır. Birçok durum için Can Güvenliği seviyesinin ötesinde yapı hasarının sınırlandırılmasını sağlar. Hasar kontrolüne örnek olarak, tarihi yapıların temel mimari özelliklerinin korunması veya değerli içeriklerin korunmasını kapsar.

Bu hasar kontrol aralığı, bazen sınırlı hasar durumu olarakta bilinir. Hemen Kullanım ve Can Güvenliği arasında bir performans seviyesine de imkân sunmaktadır.

Can Güvenliği, YP-3 : Deprem sonrası hasar durumlarından yapıda temel hasarların meydana geldiği ama kısmi veya toplu göçmenin gerçekleşmediği durumdur. Yapıda oluşan hasar seviyesi, yapısal stabilit  seviyesine göre daha azdır. Ana yapısal bileşenler yerlerinden çıkmamış veya devre dışı kalmamıştır. Yapının içinde ve dışında herhangi bir hayati tehlike yoktur. Ama deprem süresince yaralanmalar meydana gelebilir, yapısal hasardan dolayı hayati tehdit içeren yaralanmaların seviyesi çok düşüktür. Uzun yapısal tamiratlardan sonra yapının tekrar kullanımı istenebilir, aynı zamanda hasarın onarımı ekonomik olmayabilir.

Sınırlı Güvenlik, YP-4 : Bu terim tam olarak belirli bir seviye değildir, deprem sonrası hasar durumları için, (YP-3), Can Güvenliği'nden daha kötü ve (YP-5) Yapısal Stabilit  Hasar Seviyesi'nden daha iyi olan bir aralıktır. Can Güvenliği seviyesinin bütün yapısal gereksinimlerini karşılamayan ama yapısal stabilit 

seviyesinden daha iyi olan bir güçlendirme seçeneği sağlar. (Bu aralıkta kullanılacak yapısal olmayan performans seviyesi, hasar kontrolünün hedefine bağlıdır.)

Yapısal Stabilité, YP-5 : Bu seviye deprem sonrası yapısal sistemin kısmen veya topluca göçmesini sağlayacak yapısal hasar seviyesini sınırlar. Yapıda çok büyük hasar meydana gelir, potansiyel olarak yatay yük taşıyıcı elemanlarının rijitlik ve mukavemetlerinde ciddi azalmalar olur. Ama yerçekimine karşı yükleri taşıyan temel bileşenler, düşey yük etkilerini taşımaya devam ederler. Yapı toplam stabilitesini sürdürür, yapının içinde ve dışında cisimlerin düşme risklerinden dolayı önemli yaralanmalar meydana gelebilir ve önemli artçı depremler yapının göçmesine önderlik edebilir.

Bu performans seviyesi için,

- ✦ Oluşan hasar muhtemelen teknik açıdan ve ekonomik açıdan onarılamaz seviyelerdedir.
- ✦ Düşmelerden meydana gelen riskler bu performans seviyesinin gerçekleşmesini engellemez.
- ✦ Bu seviye en büyük deprem hareketi için korunan yapısal stabilitenin belirli değerlendirmelerine imkân sağlar.

Değerlendirme Dışı, YP-6 : Bu bir performans seviyesi değildir, sadece yapısal olmayan sismik değerlendirmenin yapılacağı durumlarda fikir sağlamaktadır.

Tablo 4.2 : Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
YP - 1		Hemen Kullanım performans seviyesi
	YP - 2	Hasar kontrolü performans seviyesi
YP - 3		Can Güvenliği performans seviyesi
	YP - 4	Sınırlı güvenlik performans seviyesi
YP - 5		Yapısal stabilité performans seviyesi
YP - 6		Yapısal performansın göz önüne alınmadığı durum

4.7.3.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Tanımlamalarda beş standart yapısal olmayan performans seviyesi olduğu **Tablo 4.3**'te görülebilir.

YOP-A, Kullanıma hazır

YOP-B, Hemen Kullanım

YOP-C, Can Güvenliği

YOP-D, Azaltılmış risk

YOP-E, Değerlendirme dışı

Kullanıma Hazır, YOP-A : Yapısal olmayan eleman ve sistemlerin genellikle yerinde, işlevsel olduğu deprem sonrası hasar durumudur. Ama bazı küçük kesintiler ve temizlikler gerekebilir, bütün donanım ve makine aksamı çalışır durumdadır.

Hemen Kullanım, YOP-B : Yapısal olmayan eleman ve sistemlerin genellikle yerinde olduğu deprem sonrası hasar durumudur. Özellikle hasardan veya içeriklerin yerdeğiştirmelerinden kaynaklanan bazı küçük kesintiler ve temizlikler gerekebilir, ancak makine aksamı ve donanım bir yerlere ankre edilmiş veya raptedilmiş olmalıdır, kuvvetli sarsıntıdan sonra bu donanım ve aksamın işlevsel yetenekleri göz önüne alınmamalıdır, kullanım ve işlevselliklerinde sınırlamalar gerçekleşebilir. Sismik güvenlik durumu etkili değildir.

Can Güvenliği, YOP-C : Bu deprem sonrası hasar durumu, yapısal olmayan bileşen ve sistemlerde göz önüne alınacak hasarları içerebilir, ama göçme ve yapı içinde veya dışında fazla cisim düşmesinden dolayı meydana gelecek sert yaralanmaları içermez. İkincil risk olarak yüksek basınçtan kırılan toksik veya yangın söndürme borulama sistemi çalışmıyor olabilir. Yapısal olmayan sistemler, donanım ve makineler onarılmadan veya eski yerlerine yerleştirilmeden işlevsel olmayabilirler. Ama deprem süresince yaralanmalar gerçekleşebilir, yapısal olmayan hasardan dolayı hayatı tehdit edecek yaralanma riski çok düşüktür.

İndirgenmiş Hasar, YOP-D : Bu deprem sonrası hasar durumu, yapısal olmayan bileşenler ve sistemlerde kapsamlı hasarı içerebilir, ama göçmeyi ve parapetler, harici yığma duvarlar, giydirme elemanları ile geniş, ağır tavanlar gibi büyük ve ağır cisimlerin düşmesinden dolayı bir insan topluluğunu ciddi manada yaralanmasına sebep olacak hasarları içermez. Fakat ciddi yaralanmalar meydana gelebilir, yapı içinde veya dışında büyük sayıda insanı tehlikeye atacak risk çok düşüktür.

Göz Ardı Edilebilir, YOP-E : Yapısal olmayan elemanlar, yapısal tepkiye etkisi olanların dışındakiler, değerlendirilmezler. Bu bir performans seviyesi değildir, basit durumlarda boşluklu yığma duvarlar ve diğer ağır bölmeler gibi yapısal davranışa doğrudan bir etkisi olmadığı halde yapısal olmayan elemanların incelenmesinde ve değerlendirilmesinde bir gösterim imkânı sağlamaktadır.

Tablo 4.3 : Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Performans Seviyesi	Tanım
YOP - A	Kullanıma devam performans seviyesi
YOP - B	Hemen Kullanım performans seviyesi
YOP - C	Can Güvenliği performans seviyesi
YOP - D	İndirgenmiş hasar performans seviyesi
YOP - E	Yapısal olmayan performansın göz önüne alınmadığı durum

4.7.3.3. Yapı Performans Seviyeleri

Yapısal performans seviyesi ve yapısal olmayan performans seviyesinin birleştirilmesiyle elde edilir. Yapı performans seviyesi bir yapı için beklenen sınırlı hasar durumunu tam olarak tanımlamaktadır. **Tablo 4.4**'te olası birleşimler gösterilmiştir. En sık karşılaşılan dört yapı performans seviyesi aşağıda verilmiştir.

Kullanılabilir, 1-A : Bu performans seviyesi, işlevsellikle alakalıdır. Binanın yapısındaki hasar sınırlıdır, bu yüzden kullanım güvenliği sorun değildir ve herhangi bir onarım en düşük seviyededir, ciddi aksaklıklar olmadan kullanıcılar bina dışına taşınabilirler. Benzer şekilde, yapısal olmayan sistem ve içeriklerdeki işlevsellikle alakalı hasarlar en küçük seviyededir ve yapıdaki işlevleri tehlikeye sokmaz.

Hemen Kullanım, 1-B : Bu performans seviyesi, gerekli özellikler için çok geniş kullanılan bir kıstası gösterir. Sonuç olarak yapının sistemi ve boş alanlarının kullanılabilir olması istenir, birincil veya yedekte olan bütün hizmetlerin sürekliliği sağlanmayabilir. Yapısal olmayan içerikler hasara uğrayabilir.

Can Güvenliği, 3-C : Bu performans seviyesinin amacı, yapısal hasardan, cisimlerin düşmelerinden veya yapısal olmayan bina bileşenlerinin devrilmesinden kaynaklanan

can güvenliğini tehdit eden durumların gerçekleşme olasılığını olabildiğince düşük olan bir hasar durumu gerçekleştirmektedir.

Yapısal Stabilité, 5-E : Bu hasar durumu, bina ana çerçevelerine veya yatay yük taşıyıcı sistemine hitap eder ve sadece yatay yükler altındaki stabiliteyi içerir. Artçı depremlerde göçme gerçekleşebilir.

Yapı içinde ve dışında, giydirmeden oluşan düşme risklerinden, yapısal veya yapısal olmayan hasarlardan dolayı ölümler meydana gelebilir. Yapısal olmayan elemanların, beklenen kuvvetlerden veya yatay yerdeğıştirmelerden dolayı teftişine gerek olmayabilir çünkü bu elemanların performansları büyük derecede gerçekçi olmayabilir.

Tablo 4.4 : Binalar İçin Bazı Önemli Performans Seviyeleri

Bina Performans Seviyesi	YP ve YOP Seviyesi	Tanım
1 - A	YP - 1 YOP - A	Kullanıma devam performans seviyesi. Yedek sistemlerin devreye girmesi ile kullanıma devam ediliyor, çok az hasar mevcuttur.
1 - B	YP - 1 YOP - B	Hemen Kullanım performans seviyesi. İnceleme sonucu binanın kullanılabilir olduğuna karar veriliyor, küçük onarımlar gerekebilir.
3 - C	YP - 3 YOP - C	Can Güvenliğı performans seviyesi. Taşıyıcı sistemin önemli bir kapasitesi kalmış durumda, taşıyıcı olmayan sistemde hasar kontrol altında oluşur.
5 - E	SP - 5 YOP - E	Yapısal stabilite. Bina ancak ayakta duruyor, bunun dışındaki her türlü hasar kabul edilebilir.

4.7.3.4. Olası Diğer Kombinasyonlar

Yapı performans seviyesi, 3-D : Bu seviye Can Güvenliği yapısal performans seviyesi ile yapısal olmayan indirgenmiş risk seviyesinin, (YOP-D) birleşiminden meydana gelir. Böylece yapısal olmayan sistemden oluşacak Can Güvenliği riski önemsenmemektedir. Ama genellikle zayıf, yapısal olmayan elemanlar yerinde kalır, raptedilmemiş veya ankrajlanmamış mekanik/elektrikli donanımlar ve dağıtma sistemleri, bölmeler, çeşitli tavanlar ve aydınlatma elemanları yüksek derecede kesintiye uğrayabilir ve düşme tehlikesi meydana getirebilirler.

Yapı performans seviyesi, 3-B : Bu seviye yapının oturulmasına engel olacak hasar durumuna gelmesini gösterir. Ama hemen hemen bütün yapısal olmayan korumalar, özellikle küçük sallantılarda, ciddi dâhili kesintileri engeller. Bu seviye genellikle bilgisayar uygulamaları gibi kısmi alanlara veya odalara uygulanır, yapıda oturma ve/veya işlevselliğin önemli olduğu durumlarda kullanılır.

Tablo 4.5 : Yapı Performans Seviyeleri

Yapı Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	YP-1 Hemen Kullanım	YP-2 Hasar Kontrolü (Aralık)	YP-3 Can Güvenliği	YP-4 Sınırlı Güvenlik (Aralık)	YP-5 Yapısal Stabilite	YP-6 Değerlendirme Dışı
YOP-A Kullanıma Hazır	1-A Kullanıma Hazır	2-A	DD	DD	DD	DD
YOP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	DD	DD	DD
YOP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
YOP-D Azaltılmış Risk	DD	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
YOP-E Değerlendirme Dışı	DD	DD	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilite	Uygulanamaz
Lejand						
	Sıkça Söz Edilen Yapı Performans Seviyeleri (Yapısal Y-Yapısal Olmayan YO)					
	YP-YOP'un Diğer Olası Birleşimler					
DD	YP-YOP'un Değerlendirme Dışı Birleşimleri					

4.8. Deprem Etki Seviyeleri

Bir bölgedeki yer sarsıntısına bağlı sismik risk, üç deprem etki seviyesinde incelenebilir. (Tablo 4.6)

- ✦ Kullanılabilirlik (Servis) Depremi,
- ✦ Tasarım Depremi,
- ✦ En Büyük Deprem,

Mevcut yapıların sismik niteliklerinin değerlendirilmesi ve sismik eksikliklerinin ve bu eksikliklerin büyüklüklerinin belirlenmesi, deprem düzeylerine bağlı olarak yapı hakkında toplanan bilgiye dayanmaktadır.

Deprem etkileri, istenilen bir performans seviyesiyle birleşerek performans hedefini oluştururlar. Deprem etkileri, belirli bir yer sarsıntısının seviyesi ile birlikte verilmiş bir gerçekleşme olasılığı vasıtasıyla (probabilistik yaklaşım), en büyük sarsıntının koşulları içinde belirli bir fay kaynağından belirli bir büyüklükte tek bir olaydan beklenen durum (deterministik yaklaşım) olarak ifade edilebilir. Deprem etki seviyesi, tasarımda kullanmak için mühendislik niteliklerinin koşulları içinde ifade edilir. Bu amaç için bir tepki spektrumu veya yer hareketinin gerçeğe uygun kayıtlarının eşdeğer serileri kullanılır.

Kullanılabilirlik Depremi (Servis Depremi) : 50 yıllık dönemde aşılma olasılığı %50 olan yer sarsıntısı seviyesi olarak tanımlanır. Kullanılabilirlik Depremi'nin tekrarlanma periyodu yaklaşık olarak 75 yıldır.

Tasarım Depremi : 50 yıllık dönemde aşılma olasılığı %10 olan yer sarsıntısı seviyesi olarak tanımlanır. Tasarım Depremi'nin tekrarlanma periyodu yaklaşık olarak 474 yıldır.

En Büyük Deprem: 50 yıllık dönemde aşılma olasılığı %2 olan, yer sarsıntısı seviyesi olarak tanımlanır. En Büyük Deprem'in tekrarlanma periyodu yaklaşık olarak 2475 yıldır.

Tablo 4.6 : Gözönüne Alınabilecek Deprem İçin Parametreler Tablosu

Aşılma Olasılığı	Esas Alınan Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
50%	50 yıl	72 yıl
10%	50 yıl	474 yıl
2%	50 yıl	2475 yıl

4.9. Kapasite Eğrisi

4.9.1. Davranışın Modellenmesi

Kapasite eğrisi yapının bir doğrultuda itildiği zaman yatay hareketinin grafiğidir. Başlangıçta grafik yapı doğrusal hareket ettiği için doğrusaldır. Eleman kesitlerinin akmaya başladığı kısımda, yapı yumuşamaya başladığından grafik yatıklaşmaya başlar. Mühendis bu eğriyi, yapı modelinin girdileri ile yapının bütün eleman ve bileşenlerinin doğrusal olmayan davranışlarından oluşturur. Bu genellikle bir bilgisayar ve yapısal analiz programı yardımıyla yapılır. Mühendis depremin talebini karşılayan her bir yapı parçasının kuvvet-yerdeğiştirme niteliklerini belirler. Bu parçalar geometrik olarak bir araya getirilerek yatay yükü karşılayan bütün sistemin temsil edilmesi sağlanır. Sonuç modeli dinamik özellikleri belirlenmiş, sabit oranla artan yüklemeye maruz bırakılır. Yapının doğrusal olmayan kapasite eğrisine karşılık gelen yer değiştirme tanımlanır. Kapasite eğrisinin meydana getirilmesi, herhangi bir sismik talepten bağımsız belirlenir. Bu durum, geleneksel yöntemlerdeki taban kesme kapasitesinin yerini almaktadır.

Yatay bir yük olarak temsil edilen deprem yapıyı yatay olarak yerdeğiştirmeye zorlarsa, yapının buna tepkisi kapasite eğrisi üzerindeki bir noktayla temsil edilir. Eğri üzerindeki bir nokta yapıdaki elastik ötesi şekil değiştirmeleri yani bir hasar durumunu belirler, yapının bütün elemanlardaki şekil değiştirmeler, yapının toplam yer değiştirmesinin oluşmasına katkı sağlarlar.

4.9.2. Kapasite Eğrisinin Hazırlanışı

Deprem yükleri taşıyıcı sistemi tekrarlanan ve yön değiştiren biçimde zorlar. Deprem etkisi gibi dinamik bir etki sonucu ortaya çıkan çevrimli omurga eğrisinin, deprem etkisini temsil eden bir yatay yükleme altında oluşturulabileceği söylenebilir. Sistemin doğrusal olmayan davranışını temsil eden ve deprem durumunda beklenen

düşey yüklerin varlığı ile elde edilen bu eğri $V_b-\Delta N$ “Yatay Yük Yerdeğiştirme Eğrisi (Kapasite Eğrisi)” olarak adlandırılır. Sistem elemanlarının davranışına bağlı olarak bu eğri basitleştirilebilir. **Şekil 5.4**'te birinci kısım elastik, ikinci ve üçüncü kısımlar ise sünek bir davranışa karşı gelmektedir.

Yatay yük-yerdeğiştirme eğrisinin elastik bölgesinde davranış doğrusaldır. Ancak, betonda çatlama, donatıda akma ve bazı kesitlerin taşıma gücüne erişmesi sonucu ortaya çıkan plastik şekil değiştirmelerle sistemin davranışı yumuşar ve eğrinin eğimi azalır. Yüksekliği az ve düzenli binalarda deprem etkisinin oluşmasına birinci mod çok daha etkili olduğu için yatay yük dağılımında birinci mod esas alınır ve taşıyıcı sisteme uygulanacak dış yük için idealleştirilmiş bir yayılım kabul edilir. Çözümde yerdeğiştirmenin bina yüksekliğince değişiminde birinci mod etkin olacağı için sadece en üst katın yerdeğiştirmesinin göz önüne alınması yeterlidir. Yatay yükün uygulanması sırasında yapıda $G+nQ$ gibi düşey yüklerin var olduğu kabul edilerek ve yatay yük adım adım artırılarak taşıyıcı sistem çözümü yapılır. Her adımda kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu oluşan rijitlik değişimi göz önüne alınır. Plastik şekildeğiştirmelerin kesitin belirli bir noktasında yoğunlaştığı kabulüne dayanan “plastik mafsal kabulü” kullanılarak çözümleme basitleştirilebilir.

4.9.3. Performans Noktasının Bulunuşu

Yapının bir parçasının kapasitesi ile maruz kaldığı depremden gelen talep birbirinden bağımsız değildir. Bu karşılıklı bağımlılığın bir kaynağı kapasite eğrisinin kendisinden açıkça bellidir. Yapının talebi arttığı zaman eleman kesitleri akmaya başlayacak ve rijitliği azalacaktır. Buna bağlı olarak periyodu uzayacaktır. Kapasite eğrisinin, tepki spektrumu eksenlerine dönüştürülmesi bu durumun kolayca anlaşılmasını sağlamaktadır. Sismik talep periyoda bağlı olduğu için, yapı akmaya başladıkça talepte değişecektir. Kapasite ve talep arasındaki karşılıklı bağımlılığın ikinci kaynağı ise etkili sönümdür. Bir yapı sismik talebe tepki gösterirken akarsa, enerjiyi histerik sönümle azaltır. Çevirimli akma boyunca geniş, durağan histerik döngüye sahip olan yapılar, mukavemet ve rijitlik kaybından dolayı küçük döngülere sahip yapılara nazaran daha fazla enerji dağıtır. Mademki dağılan enerjinin yapının içinde depolanmasına gerek yok, o zaman sönüm yerdeğiştirme talebini azaltan bir etkidir.

Yerdeğiştirmeler arttığında, yapının periyodu uzamaktadır. Bu kapasite spektrumuna doğrudan yansıtılmaktadır. Bileşen şekil değiştirmeleri, doğrudan hasarla alakalı

olan, performans değerlendirmesi için kuvvetlerden daha faydalı parametrelerdir. Doğrusal olmayan statik yöntemdeki hasar durumları, arzulanan performansa bağlı olan kabul edilebilirlik sınırları ile kıyaslamak için yapı bileşenlerinin şekil değiştirmelerini esas alır.

4.9.4. Performansın Gerçekleşmesi

Bir deprem talebi için performans noktası bir kereliğine tahmin edildiğinde, mühendis kabul edilebilirlik ölçütlerini kullanarak, sonuç performansını kontrol edebilir. Performans iki seviyede kontrol edilir. Birincisi, her performans hedefi için yapının yerdeğiştirmesine karşılık için genel sınırlar vardır. Mesela, bir yapının çatı katı deprem boyunca Can Güvenliği için 10 cm. hareket edebilir, aynı yapı için çatı yerdeğiştirmesi daha sık olan deprem de performans hedefindeki hasar kontrolünü sağlayabilmek için 5 cm. ile sınırlandırılabilir. Benzer şekilde, mühendis genel performans hedefine bağlı kabuledilebilirlik sınırlarına karşılık kendi içindeki yapısal elemanları kontrol eder. Elemanların kabul edilebilirlik sınırları kendi doğası elemanların özelliklerine bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Mesela elastik olmayan dönmeler kiriş elemanları için kabuledilebilirlik parametresidir.

4.10. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemin Kıyaslanması

Yeni teknoloji, mühendislere, yapının potansiyel sismik nitelikleri hakkında daha gerçekçi bir görünüm kazanmasına izin verir. Doğrusal olmayan statik yöntem, yapının deprem hareketine karşı verdiği tepki esnasında elemanların çatlamaya başladıktan ve akmaya ulaşmalarından sonra neler olduğunun anlaşılmasını sağlayan, doğrusal olmayan bir çözümlemeyi teşkil eder. Bu yöntemin geleneksel doğrusal statik yöntemlerden farkı; geleneksel yöntemler, mühendisin, sismik kuvvetleri indirgeyerek, yapıyı hasarsız kalma seviyesindeki kabulleri altında tasarlamasına izin vermesidir. Ama bu bazen gerçekçi olmayabilir veya yanıltıcı olabilir. Bu yaklaşım yeni yapılar için ve küçük, basit, düzenli mevcut yapılar için iyi sonuçlar verebilir. Doğrusal olmayan statik yöntemin üstünlüğü, mevcut yapılara uygulandığında, yapının faydalı özelliklerini ortaya koyarken aynı zamanda eksikliklerini de belirlemesidir. Yapıya ait ayrıntılı bilgilerin elde edilmesi en önemli n şarttır. Bunun yanında yeni yaklaşım her yapı için uygun olmayabilir.

Bazı yapılar, doğrusal olmayan statik yöntemle güvenmek için çok karmaşık olabilir. Bu durumlar yapının, örnek deprem boyunca, doğrusal olmayan davranışında zaman-tanım alanında çözümlemesini gerektirebilir. Bu tür özelleştirilmiş çözüm gerektirebilen yapılar yüksek seviyede düzensiz veya karmaşıktır.

Bir diğer taraftan doğrusal olmayan statik çözümleme yönteminin kullanılabildiği basit yapılarda zaman-tanım alanında çözümleme gibi çözümlemeler gerekli değildir. Bu yöntemin uygulanabilirliğini belirlenmekte zor olmayan ve pratik kuralları vardır. Aşağıdaki niteliklerden bir veya daha fazlasını sağlayan yapılar bu yöntem için uygun olarak düşünülebilir. Ancak bu yöntemde statik itme analizi sonuçları ile zaman-tanım alanında yapılan elastik ötesi çözümün çok farklı sonuçlar verdiği unutulmamalıdır.

- ✦ Küçük boyut,
- ✦ Düşük yükseklik (bir veya iki kat),
- ✦ Karmaşık olmayan (düzenli) yapısal sistemler,
- ✦ Düşük kullanım,
- ✦ Yapı hakkında çok az bilgi,

Bu durumlar için, basitleştirilmiş, doğrusal elastik yöntemi kullanmak ta yeterli olabilir.

Bazı durumlarda, basitleştirilmiş yöntemler belirli sismik eksiklikleri belirleyemez. Mesela, perde duvarlı yapılarda, perde duvarlar çatladığında veya zeminde konumu değiştiğinde kolonlar aşırı yerdeğiştirmelere ve göçmeye maruz kalabilir. Basitleştirilmiş yöntemler genel olarak bu eksiklikleri belirleyemeyecektir. Basitleştirilmiş yöntemler aşırıya gitmeyen tasarımlarda iyi sonuç verebilir.

Sismik performans hedefinin iki önemli bölümü vardır;

- ✦ Hasar durumu,
- ✦ Risk seviyesi,

Hasar durumlarını belirleyen “Can Güvenliği” ve “Hemen Kullanım” durumu, belirli sismik hasar seviyeleri ile ilişkilendirilmeden performans hedefini teşkil edemezler. Bu durumda performans hedefi belirli bir riski temsil eder.

Geleneksel güçlendirme tasarımı teknikleri yapının depreme karşı olan elastik ötesi kapasitesini, yeni yapıların tasarımında olduğu gibi sisteme özgü tek bir deprem

yükü azaltma katsayısı ile gözönüne alır. Yapıların elastik çözülerek tek bir R_a katsayısının kullanılması mühendisin işini kolaylaştırmakta ancak yaklaşıklığı azaltmaktadır.

Doğrusal olmayan yaklaşım belirli bir deprem süresince yapının gerçek davranışına daha gerçekçi yaklaşımlar yapmayı sağlayabilir.

Doğrusal olmayan çözümleme yöntemi, bize yapının ilk önce hangi bölümünün devre dışı kalacağını gösterebilir. Yük ve yerdeğiştirme arttığında, bazı elemanlar akmaya ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeye başlarlar. Kapasite grafiği “eğrisi” yapının kapasitesinin temsilini kolaylıkla gösterir. Birkaç alternatif teknik, belirli bir depremden gelecek talep veya zemin hareketinin şiddeti ile kapasite eğrisini ilişkilendirerek, eğri üzerinde, kapasite ve talebin eşit olduğu bir noktanın meydana gelmesini sağlar. Bu nokta, performans noktası, belirli bir yer hareketi için yapının gerçek yerdeğiştirmesinin tahminidir. Mühendis bu performans noktasını kullanarak, yapının ilişkili hasar durumunu nitelendirebilir ve bunu istenen performans hedefiyle kıyaslayabilir. Bu yöntem, mühendise yapının sismik performans niteliklerini daha iyi anlamasına ve daha etkili, ekonomik güçlendirme yapmasına yardımcı olur.

Doğrusal olmayan bir analiz yönteminin doğası, yapısal dinamik ve malzeme mekaniği prensiplerinin temel anlayışına sahip olmayı gerektirir.

Doğrusal olmayan çözümleme için yöntemler, bazı yapıların ayrıntılı analizi için, hepsi için değil, geleneksel basitleştirilmiş yöntemlere bir alternatiftir. Yapıları ayıran bu farkla geleneksel elastik yöntemler, elastik olmayan analizden daha faydalı olabilmektedir. Her yapı kendine özel niteliklere sahiptir. Sadece tecrübeli mühendisler, geleneksel yöntemlerin ne zaman gerekli olduğuna karar verebilirler.

Doğrusal olmayan yöntemler, ciddi yargılamalar yapabilmek için bileşen özellikleri hakkında bazı hükümler ve modelleme tekniklerini bilmeyi gerektirir.

Günümüze kadar birçok güçlendirme tasarımı ve yapımı, yeni binaların tasarımında kullanılan ve yapı yönetmeliklerinde belirtilmiş, basitleştirilmiş eşdeğer yatay kuvvet çözümleme yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemler, yapının yer hareketi tarafından maruz kaldığı gerçek kuvvetleri doğrudan vermezler. Daha önemlisi yapılar deprem yer hareketine elastik olmayan bir şekilde tepki verecektir, doğrusal elastik eşdeğer yatay yük yöntemleri, en büyük yerdeğiştirmenin belirlenmesinde doğrudan sonuç sağlamazlar.

Performans esaslı yöntemde ise, değerlendirme ve güçlendirme tasarım kistası, performans hedefi olarak ifade edilirler. Yapı belirli bir deprem hareketine maruz bırakıldığında istenilen sismik performans seviyesini belirleyen yöntemdir. Kabul edilebilir performans, yapının deprem sarsıntısından beklenen yapısal ve/veya yapısal olmayan hasar seviyesi ile ölçülür. Hasar akma ötesindeki koşullarda, betonarme yapılarda bulunan çeşitli yapısal bileşenler ve elemanların elastik olmayan şekildeğiştirme sınırları ile ifade edilir. Analitik yöntemde, yapıdaki elastik ötesi şekildeğiştirmeler için, basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analiz metodu içeren bir yöntem kullanır.

Belirsizliğin kaynağının altında, sismik yer hareketinin niteliği, malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve yapısal davranışın kabul edilebilir sınırlarının belirlenmesi yatmaktadır.

Performans-esaslı yöntem bu belirsizlikleri ortadan kaldıramaz ve kaldırmaz. Ama basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik çözümlemenin kullanılması geleneksel doğrusal çözümleme yöntemlerine göre belirsizliklere, daha çok şey bilerek ve daha doğru bir yaklaşım yapılmasını sağlar. Yöntem her bir yapısal bileşenin akma ötesi davranışının bilinmesinde, eleman rijitlik ve dayanımındaki azalmanın tahmininde, zemin etkilerinin temsil edilmesinde genellikle güvenli tarafta kalmakta ve yapının deprem hareketine verdiği tepkiden oluşan gerçeğe yakın şekildeğiştirmelerin tahmini ve yaklaşımında üstünlük sağlamaktır.

Sonuç olarak, kabulleri çerçevesinde, doğrusal olmayan yöntem, beklenen yapı davranışının değerlendirilmesinde ve önerilmiş güçlendirme tasarımının oluşturulmasında faydalı ve güvenilir bir tasarım aracı olarak görülebilir.

4.11. Güçlendirme ve Değerlendirme Kavramı

Mevcut yapıların değerlendirme ve güçlendirme tasarımı için yöntem aşağıda adım adım sunulmuştur.

Yöntemin birincil bileşenleri, değerlendirme ve güçlendirme yönteminin çeşitli adımlarında kullanılanlar aşağıdaki maddeleri içerir:

- ✦ Sismik performansın hedefinin kurulması için sismik performans seviyelerinin ve sismik talep ölçüsünün belirlenmesi,

- ✦ Mevcut durumun tekrar gözden geçirilmesi için yol göstermek, eksikliklerin belirmesinde hazırlayıcılık, bir güçlendirme stratejisini formülize etmek, uygun bir kalite temin etme programının kurulmasını sağlamak,
- ✦ Güçlendirme performansının gerçekleşmesi için mevcut yapıların beklenen sismik performansı ve sismik kapasitesinin detaylı olarak incelenmesinin değerlendirilmesinde kullanılan analitik yöntemler ve tekniklerin belirlenmesi,
- ✦ Modellemede kullanmak için malzeme nitelik kuralları ve kabulleri, kapasitelerin atanması ve kabul edilebilir performansın değerlendirilmesi.

5. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL İNCELEMELER

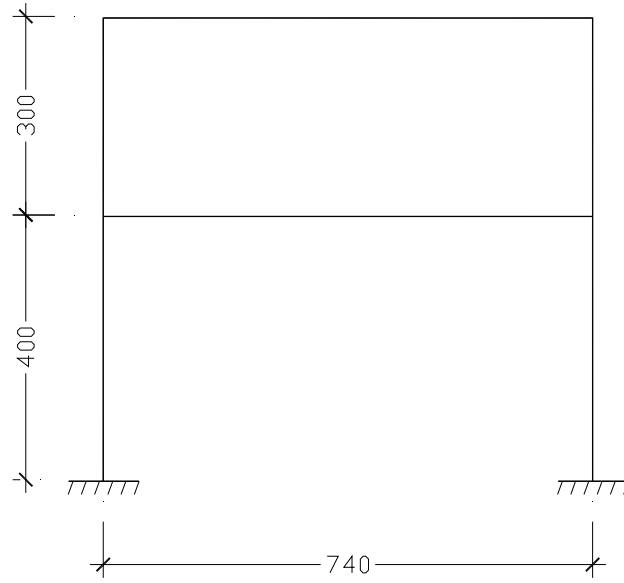
5.1 Düzlem Çerçeve Sistem Modeli

5.1.1 Doğrusal Yöntem İle Boyutlandırma

Bu bölümde, kullanılan yöntemlerin ara hesap adımları ve yönetmelik kurallarını ayrıntılı ve basit olarak göstermek amacıyla, doğrusal yöntem ile Deprem Yönetmeliği (2007) kurallarına göre tasarlanmış tek açıklıklı iki katlı bir çerçeve sistemin En Büyük Deprem etkileri altında doğrusal ve doğrusal olmayan davranışının ve taşıyıcı sistem performansının belirlenmesi amacıyla yapılan sayısal incelemeler bulunmaktadır.

Deprem Yönetmeliği (2007) de öngörülen deprem etkileri esas alınarak boyutlandırılan bu taşıyıcı sistemin yine aynı yönetmelikte tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansı bulunmuş ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde, incelenen taşıyıcı sistem modeli tanıtılmakta, boyutlandırma ve performans değerlendirmesi aşamalarında elde edilen sayısal sonuçlar verilerek tartışılmaktadır.

a) Sistem geometrisi ve karakteristikleri



Şekil 5.1 : Çerçeve Sistem Geometrisi (cm)

Ön görülen sistem boyutları ;

Kolon boyutları : $65 \times 65 \text{ cm}$

Kiriş boyutları : $50/80 \text{ cm}$

Döşeme kalınlığı : 15 cm (betonarme plak döşeme)

1.kat yüksekliği : $4,00 \text{ m}$

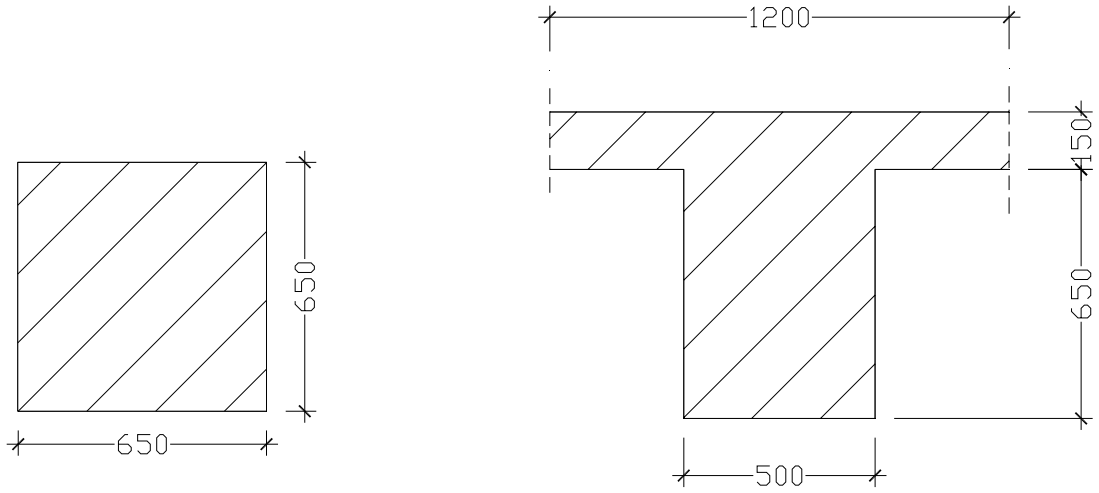
2.kat yüksekliği : $3,00 \text{ m}$

Çerçeve açıklığı : $7,40 \text{ m}$

Düzleme dik açıklık : $5,90 \text{ m}$

i) Eleman kesitleri ve malzeme karakteristikleri

Çerçeve için seçilen ön boyutlar ve tipik kolon-kiriş kesitleri Şekil 5.2’de verildiği gibidir.



Şekil 5.2 : Tipik Kolon ve Kiriş Kesitleri (mm)

Beton karakteristikleri

beton sınıfı	: C25
malzeme emniyet katsayısı	: $\gamma_{mc} = 1,50$
karakteristik basınç dayanımı	: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
direk çekme dayanımı	: $f_{ctk} = 0,35\sqrt{25} = 1,75 \text{ MPa}$
elastisite modülü	: $E_c = 3250\sqrt{25} + 14000 = 30250 \text{ MPa}$

Betonarme çeliğinin karakteristikleri

çelik sınıfı	: S420
malzeme emniyet katsayısı	: $\gamma_{ms} = 1,15$
karakteristik çekme dayanımı	: $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$
elastisite modülü	: $E_s = 2,00 \times 10^5 \text{ MPa}$

ii) Depremsellik karakteristikleri

deprem yükü azaltma katsayısı	: $R_a = 8,0$	(yük. süneklikli çerçeve sistem)
etkin yer ivmesi katsayısı	: $A_0 = 0,40$	(I. derece deprem bölgesi)
bina önem katsayısı	: $I = 1,40$	(okul, yatakhane vb.)
zemin sınıfı	: Z2	
spektrum karakteristik periyotları	: $T_A = 0,15 \text{ s}$, $T_B = 0,40 \text{ s}$	
hareketli yük katılım katsayısı (n)	: 0,60	(okul, yatakhane vb.)

b) Ön boyut kontrolleri

i) Döşemeler

Düzgün yayılı yük taşıyan ve uzun kenarının kısa kenarına oranı iki ve ikiden küçük olan betonarme plaklar, iki doğrultuda çalışan plaklar olarak adlandırılırlar.

$$m = \frac{l_u}{l_k} = \frac{7,40}{5,90} = 1,25 < 2,00 \quad \text{çift doğrultuda çalışan döşeme} \quad (5.1)$$

$$\alpha_s = \frac{\text{sürekli kenar toplam uzun.}}{\text{toplam kenar uzun.}} = \frac{7,40}{(7,40 + 5,90)} = 0,56 \quad (5.2)$$

İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerin kalınlığı aşağıdaki değerlerden az olmaz.

$$h \geq_{\max} (\text{denk 5.3, } 8\text{cm}) \quad m = \frac{l_u}{l_k} = \frac{7,40}{5,90} = 1,25 < 2,00$$

$$h = 0,15m \geq h_{\min} = \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} (1 - \alpha_s) = \frac{5,25}{15 + \frac{20,00}{1,25}} \times \left(1 - \frac{0,56}{4,00}\right) = 0,146\text{ m} \quad \checkmark \quad (5.3)$$

$$h = 0,15m \geq 0,08\text{ m} \quad \checkmark$$

ii) Kirişler

Kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır. Gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir.

$$b_w \geq_{\max} (25\text{cm}, b_w + h_k)$$

$$b_w = 500\text{ mm} > 250\text{ mm} \quad \checkmark$$

$$b_w = 500\text{ mm} \leq b_c + h_k = 650 + 800 = 1450\text{ mm} \quad \checkmark \quad (5.4)$$

Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den daha az, kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından daha fazla olmayacaktır.

$$\max(3h, 300\text{ mm}) \rightarrow 800 > 3 \times 150 = 450\text{ mm} \text{ ve } 800 > 300\text{ mm} \quad \checkmark$$

Kiriş yüksekliği, serbest açıklığın 1/4'ünden daha fazla olmamalıdır.

$$h \leq \frac{l_n}{4} \rightarrow 800 \text{ mm} < \frac{6750}{4} = 1687 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kiriş elemanında sehim gerektirmeyen yükseklik/açıklık oranı en elverişsiz basit kiriş için l/10 olmalıdır.

$$h \geq \frac{l}{10} \rightarrow \frac{740}{10} = 740 \text{ mm} < 800 \text{ mm} \quad \checkmark$$

iii) Kolonlar

Dikdörtgen kesitli kolonların en küçük boyutu 250 mm'den ve enkesit alanı 75000 mm²'den daha az olmayacaktır.

$$\min(b_x, b_y) = 250 \text{ mm} \rightarrow b_x = b_y = 650 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$A_c = 650 \times 650 = 422500 \text{ mm}^2 > A_{c\min} = 75000 \text{ mm}^2 \quad \checkmark$$

c) **Yük analizi**

Plak zati ağırlığı	(d=15 cm)	: 0,15 × 25 = 3,75	kN / m ²
Sıva	(d=2 cm)	: 0,02 × 18 = 0,36	kN / m ²
Şap	(d=5 cm)	:	0,08 kN / m ²
Kaplama (karo mozaik)	:	:	0,02 kN / m ²
Sabit yükler	:	g = 4,41	kN/m ²
Hareketli yükler	:	q = 3,50	kN/m ²
g+q = 4,41+3,50= 7,91 kN/m ²			

d) **Kat ağırlıkları**

Aşağıdaki işlemlerde taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların alansal ağırlıklarından çizgisel ağırlıklara geçilerek kat ağırlıkları hesaplanmıştır.

i) 1. kat ağırlığı

$$\text{Döşemeden gelen yük} : 5,90 \times 4,41 = 26,02 \text{ kN / m}$$

$$\text{Kiriş zati ağırlığı} : \left(\frac{5,90 \times 2}{7,40} + 1 \right) \times (0,50 \times 0,65 \times 25) = 21,08 \text{ kN / m}$$

$$\text{Kolon zati ağırlığı} : \left(\frac{0,65 \times 0,65 \times 25 \times 3,50}{7,40} \right) \times 2,00 = 10,00 \text{ kN / m}$$

$$g = 57,10 \text{ kN/m}$$

$$q = 5,90 \times 3,50 \cong 21,00 \text{ kN/m}$$

$$g+q = 57,10 + 21,00 \approx 78,00 \text{ kN/m}$$

$$p_d = 1,40g + 1,60q = 1,4 \times 57,1 + 1,6 \times 21 = 113,54 \text{ kN / m} \quad (5.5)$$

$$g + nq = 57,1 + 0,6 \times 21 \cong 70 \text{ kN / m} \quad (5.6)$$

$$W_1 = 70 \times 7,4 \cong 514 \text{ kN} \text{ (1. kat toplam ağırlığı)}$$

i) 2. kat ağırlığı

$$\text{döşemeden gelen yük} : 5,90 \times 4,41 = 26,02 \text{ kN / m}$$

$$\text{kiriş zati ağırlığı} : \left(\frac{5,90 \times 2,00}{7,40} + 1,00 \right) \times (0,50 \times 0,65 \times 25,00) = 21,08 \text{ kN / m}$$

$$\text{kolon zati ağırlığı} : \left(\frac{0,65 \times 0,65 \times 25 \times 1,50}{7,4} \right) \times 2 = 4,28$$

$$g = 26,02 + 21,08 + 4,28 = 51,38 \text{ kN/m}$$

$$q = 5,90 \times 3,50 \cong 21 \text{ kN/m}$$

$$g+q = 51,38 + 21 = 72,38 \text{ kN/m}$$

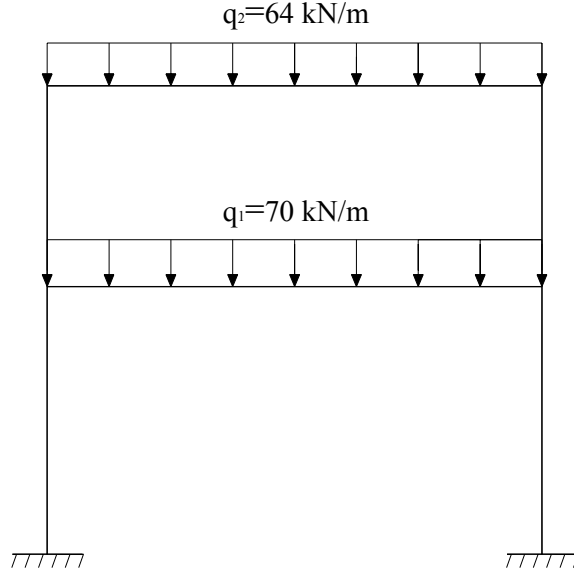
$$P_d = 1,4g + 1,6q = 1,4 \times 51,38 + 1,6 \times 21 \cong 106 \text{ kN / m}$$

$$g + nq = 51,38 + 0,6 \times 21 = 64 \text{ kN / m}$$

$$W_2 = 64 \times 7,4 \cong 475 \text{ kN} \text{ (2. kat toplam ağırlığı)}$$

e) Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile taban kesme kuvveti hesabı

Sistemin düzlem çerçeveden meydana gelmesi, kat yüksekliğinin az olması, gibi sebeplerden dolayı deprem kuvvetlerinin hesabında Eşdeğer Deprem Kuvveti Yöntemi kullanılacaktır. Yapıya yatay yükler etkidiğinde birinci kat açıklığında $q_1 = 70 \text{ kN/m}$, ikinci kat açıklığında ise $q_2 = 64 \text{ kN/m}$ yayılı yükün bulunduğu göz önünde bulundurularak hesap yapılacaktır. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3 : Yayılı Kat Ağırlıklarının Gösterimi

i) Periyot hesabı

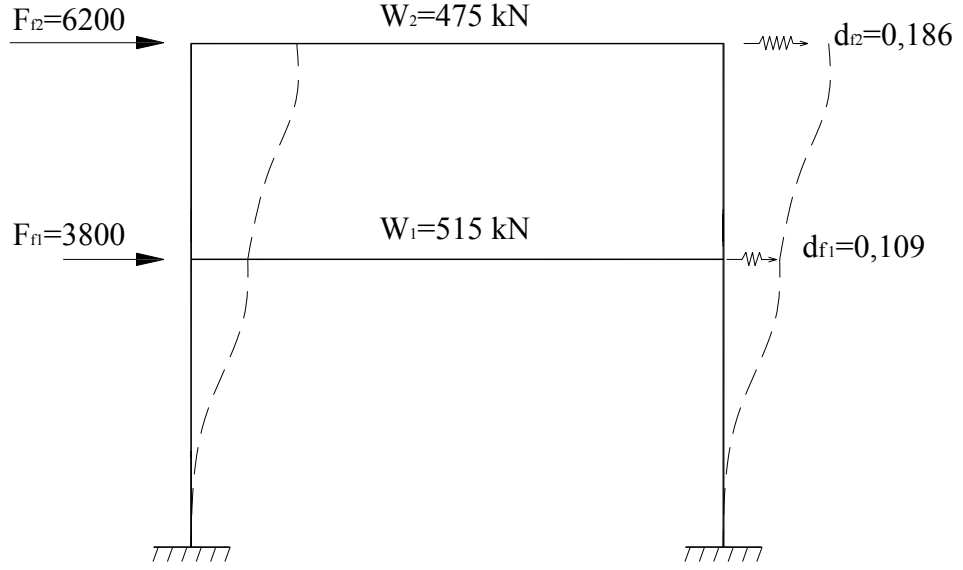
Katlara etkitilecek yatay fiktif kuvvet oranları aşağıdaki denklemden faydalanılarak bulunabilir. (Şekil 5.4)

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (5.7)$$

Birim yük değeri olarak 1000 kN seçilmiştir.

$$F_{f2} = \frac{515 \times 4,00}{515 + 475} \times 1000 = 3800 \text{ kN} \rightarrow k_1 = \frac{F_{f1}}{F_{f1} + F_{f2}} = \frac{3800}{3800 + 6200} = 0,38 \quad (5.7a)$$

$$F_{f2} = \frac{475 \times 7,00}{515 + 475} \times 1000 = 6200 \text{ kN} \rightarrow k_2 = \frac{F_{f2}}{F_{f1} + F_{f2}} = \frac{6200}{3800 + 6200} = 0,62 \quad (5.7b)$$



Şekil 5.4 : Fiktif Yüklemeler ve Yerdeğiştirmeler

Fiktif kuvvet yüklemeleri altında oluşan fiktif yerdeğiştirme oranları analiz programı yardımı ile aşağıda verildiği gibi bulunmuştur.

$$d_{f1} = 0,1517 \text{ m}, \quad d_{f2} = 0,0965 \text{ m}$$

Binanın deprem doğrultusundaki hâkim doğal periyodu hesaplanırken Ragleigh Oranı'ndan faydalanılmıştır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hâkim doğal periyodu, aşağıdaki denklem ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = \frac{2\pi}{g} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}}} \quad (5.9)$$

$$T_1 = 2\pi \times \sqrt{\frac{\frac{515}{9,81} \times (0,0965)^2 + \frac{475}{9,81} \times (0,1517)^2}{3800 \times 0,0965 + 6200 \times 0,1517}} = 0,22 \text{ s}$$

ii) Taban kesme kuvveti ve kat kesme kuvvetlerinin bulunması

$$T_1 > T_A \quad \longrightarrow \quad R_a(T_1) = 8,00 \quad (5.9a)$$

$$T_A < T_1 < T_B \quad \longrightarrow \quad S(T_1) = 2,50 \quad (5.9b)$$

$$A(T_1) = A_0 IS(T_1) = 0,40 \times 1,40 \times 2,50 = 1,40 \quad (5.10)$$

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti), V_t , **Denklem 5.11** ile belirlenecektir.

$$V_t = \frac{W_i A(T_1)}{R} = \frac{990 \times 1,40}{8} = 173,25 \text{ kN} > 0,1 A_0 IS(T_1) W_i \quad (5.11)$$

$$V_t = 0,1 \times 0,4 \times 1,4 \times 990 = 55,44 \text{ kN}$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in aşağıdaki denklem ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t = 0,0075 \times 2,00 \times 173,25 = 2,60 \text{ kN}$$

(5.12)

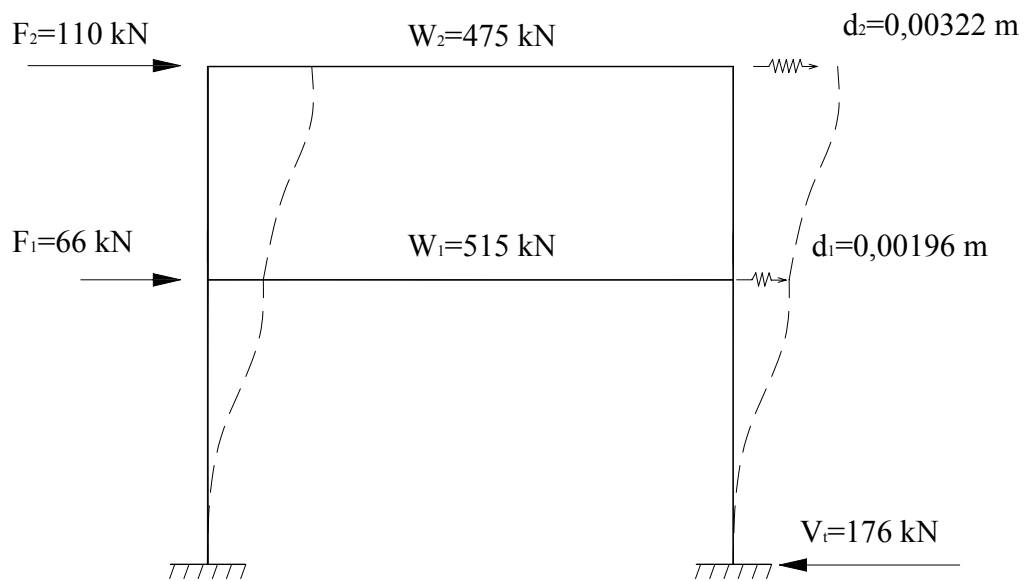
$$\sum V_t - \Delta F_N = 173,25 - 2,60 = 170,65 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri **Denklem 5.13a**, **5.13b** ve **5.13c** ile bulunabilir:

$$F_1 = V_t k_1 = 170,65 \times 0,38 = 64,85 \text{ kN} \quad (5.13a)$$

$$F_2' = V_t k_2 = 170,65 \times 0,62 = 105,8 \text{ kN} \quad (5.13b)$$

$$F_2 = F_2' + \Delta F_N = 105,8 + 2,6 = 108,4 \text{ kN} \quad (5.13c)$$



Şekil 5.5 : Eşdeğer Kat Kesme Kuvvetleri ve Yatay Yerdeğiştirmeleri

f) Kesit tesirlerinin hesabı

i) Hesaba esas yük birleşimleri

Sistemin çerçeve olarak idealleştirilmesi ve düzlem çerçeve hesabı yapılmasından dolayı çerçeveye dik doğrultudaki deprem etkilerinin yük birleşimlerine etkisi göz ardı edilmiştir.

Çerçeve sistem geometrisi ve yükleme bakımından simetriktir. Bu yüzden negatif deprem etkilerine ait yük birleşimleri oluşturulmamıştır.

$$1- 1,0G+1,0Q+1,0E$$

$$2- 0,9G+1,0E$$

$$3- 1,4G+1,6Q$$

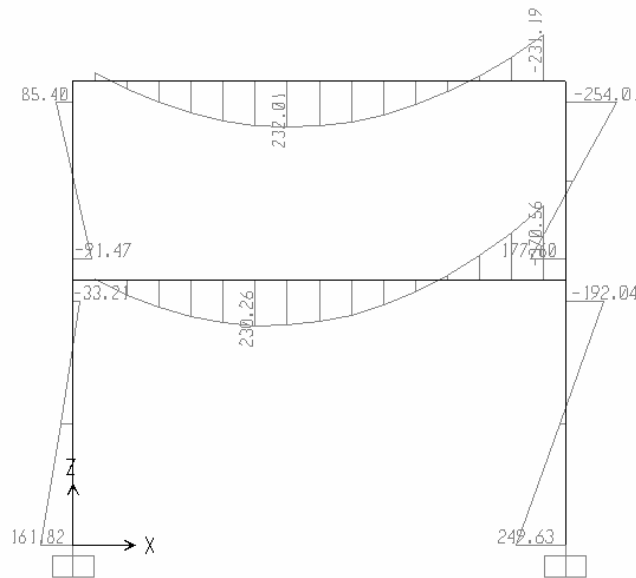
G : Sabit yükler

Q : Hareketli yükler

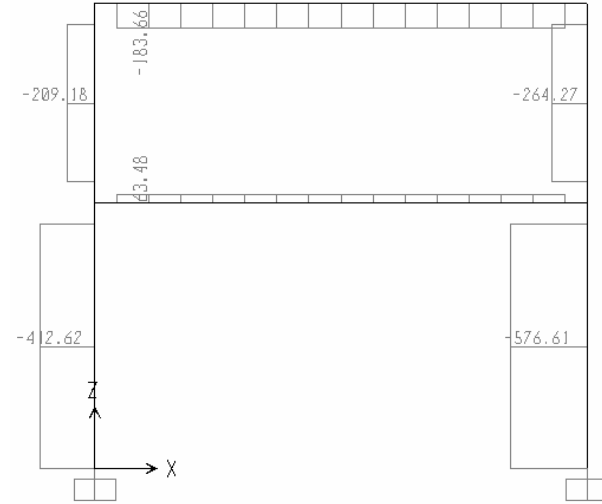
E : Deprem yükleri

ii) Kesit tesiri diyagramları

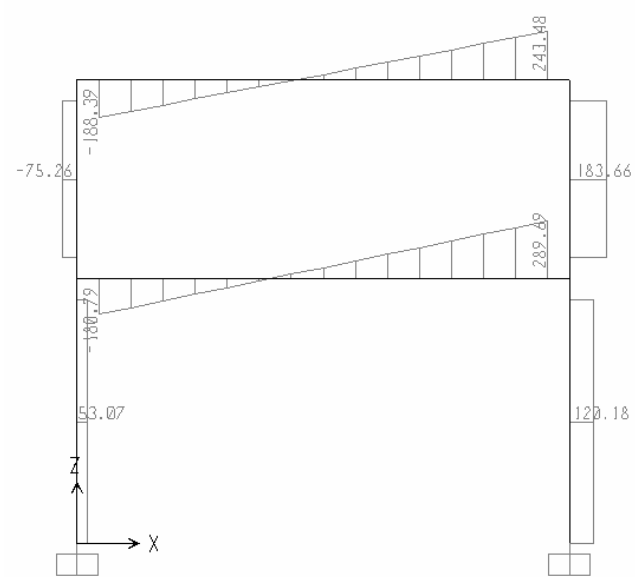
1,0G+1,0Q+1,0E yük birleşimi



Şekil 5.6a : Çerçeve Sistem Moment Diyagramı M (kNm)

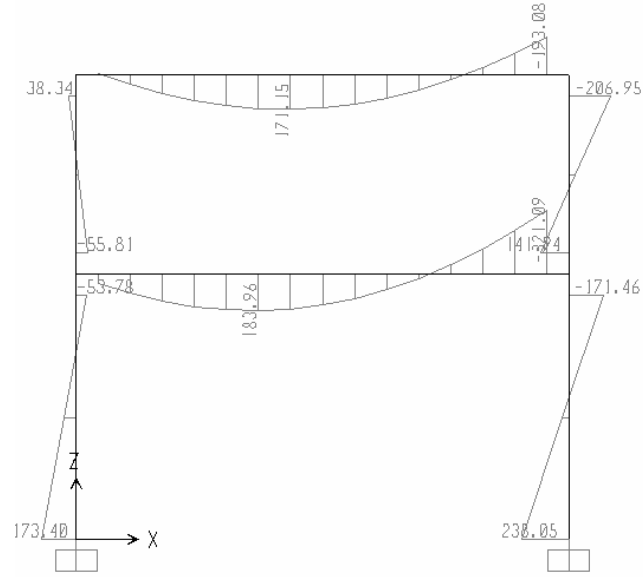


Şekil 5.6b : Çerçeve Sistem Eksenel Kuvvet Diyagramı N (kN)

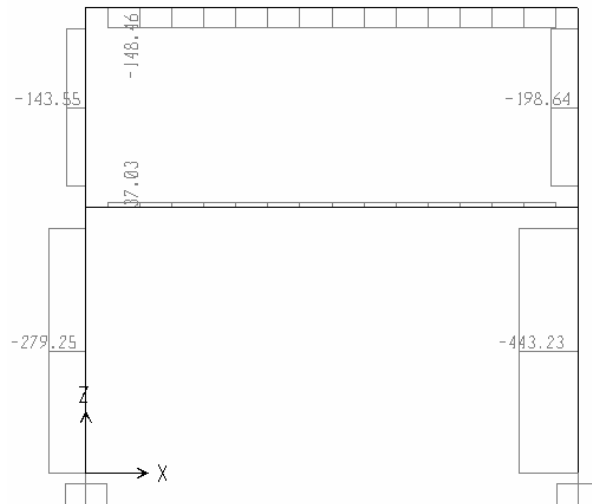


Şekil 5.6c : Çerçeve Sistem Kesme Kuvveti Diyagramı V (kN)

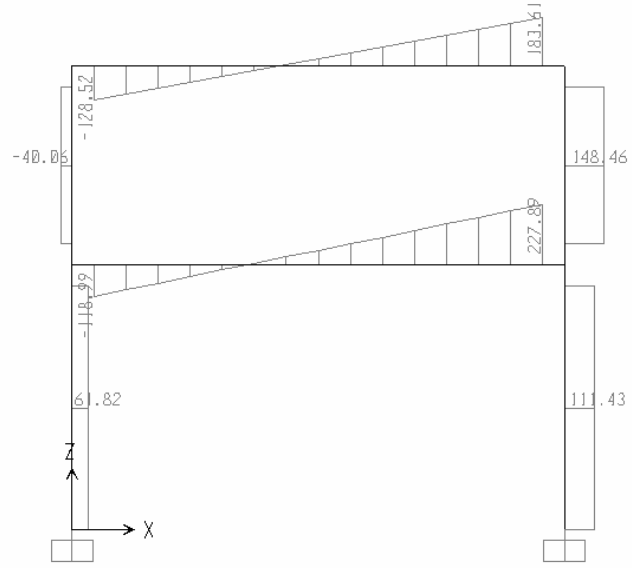
0,9G+1,0E yük birleşimi



Şekil 5.7a : Çerçeve Sistem Moment Diyagramı M (kNm)

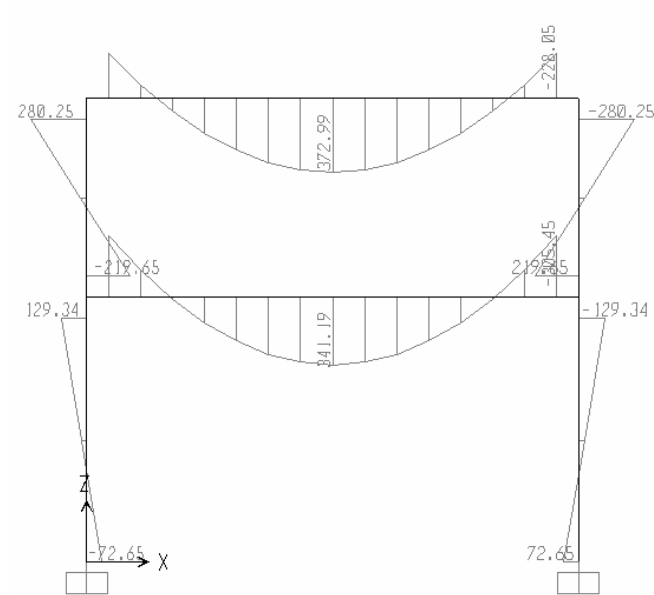


Şekil 5.7b : Çerçeve Sistem Eksenel Kuvvet Diyagramı N (kN)

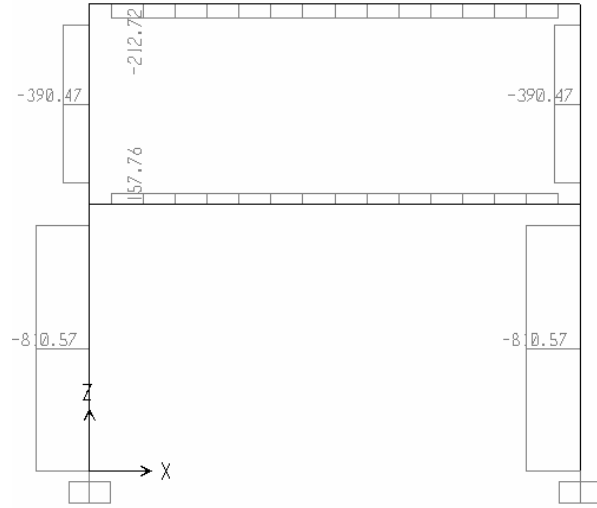


Şekil 5.7c : Çerçeve Sistem Kesme Kuvveti Diyagramı V (kN)

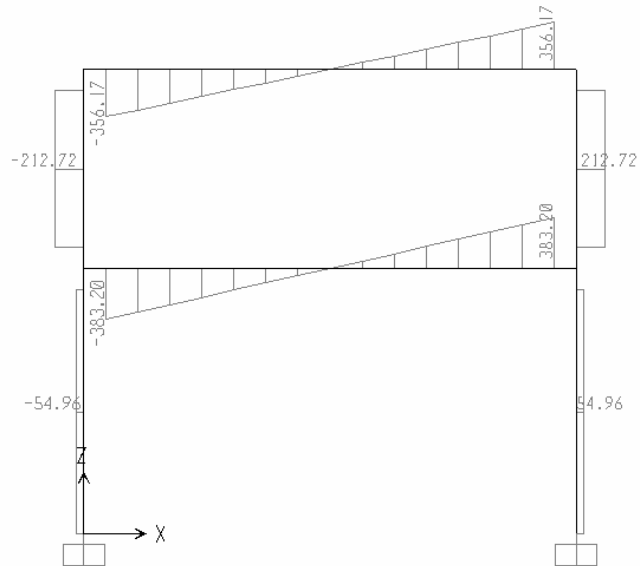
1,4G+1,6Q yük birleşimi



Şekil 5.8a : Çerçeve Sistem Moment Diyagramı M (kNm)



Şekil 5.8b : Çerçeve Sistem Eksenel Kuvvet Diyagramı N (kN)



Şekil 5.8c : Çerçeve Sistem Kesme Kuvveti Diyagramı V (kN)

g) Betonarme kesit hesabı

Kesit hesapları en elverişsiz yüklemeler altında oluşan kesit tesirlerine göre ve en elverişsiz kesitler için yapılacaktır.

i) Kiriş kesiti için hesap

i-1) Mesnet kesitinde hesap

Eğilme hesabı

$$M_m = -371 \text{ kNm} (1,0G+1,0Q+1,0E)$$

$$f_{ck} : 25 \text{ MPa}, \quad f_{yk} : 420 \text{ MPa}, \quad d : 750 \text{ mm}, \quad h_f : 150 \text{ mm}, \quad b_w : 500 \text{ mm}$$

$$A_s = 1438 \text{ mm}^2 \text{ (1. kat kirişi)}$$

i-2) Açıklık Kesitinde Hesap

$$M_{\max} = 373 \text{ kNm}$$

Basınç bloğunun tabla içinde olup olmadığı kontrol edilmelidir.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)} \rightarrow a = \frac{A_s f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w} \quad (5.14)$$

$a = h_f = 150 \text{ mm}$ seçilirse

$$A_s = \frac{373 \times 10^6}{365 \times \left(750 - \frac{150}{2} \right)} = 1514 \text{ mm}^2 \rightarrow a = \frac{1514 \times 365}{0,85 \times 16,67 \times 500} = 78 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

Basınç bloğu derinliği tabla içinde bulunmaktadır. Bu durumda dikdörtgen kesit hesabı geçerlidir.

$$A_s = 1408 \text{ mm}^2$$

Kesme hesabı

$$V_d = 289,69 \text{ kN (G+Q+E)}$$

Sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$\frac{V}{2} = \frac{289,69}{2} = 145 \text{ kN} > V^E = 55 \text{ kN} \rightarrow V_c \neq 0$$

$V_c=0$ olmadığı için faktörlü düşey yük birleşiminden oluşan kesme kuvveti daha elverişsizdir. Bu durumda kesme tasarımı düşey yükler altında yapılacaktır.

$$V_d = 383,20 \text{ kN (1,4G+1,6Q)}$$

Kirişlerdeki basınç aksinel kuvveti $N \approx 0$ alınarak hesap yapılacaktır. ($\gamma=0$)

Kritik kesme kuvveti, (V_{cr}), **Denklem 5.15** ile hesaplanabilir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N}{A_c} \right) = 0,65 \times \frac{1,75}{1,50} \times 500 \times 750 \times 10^{-3} \cong 285,00 \text{ kN} \quad (5.15)$$

Genel olarak betonun kesme dayanımına katkısı **Denklem 5.16** ile hesaplanır.

$$V_c = 0,8 \times V_{cr} = 0,8 \times 285 \cong 228 \text{ kN} \quad (5.16)$$

$$V_s = V_d - V_c \rightarrow 383 - 228 = 155 \text{ kN} \text{ olarak elde edilir.}$$

Etriye donatısının kesme dayanımına katkısı, (V_s), **Denklem 5.17** ile hesaplanır.

$$V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} d, \quad (5.17)$$

Bu durumda kesme donatısının aralığı, (s),

$$s = \frac{A_{sw}}{V_d} f_{yd} d = \frac{78,50 \times 2}{155 \cdot 10^3} \times 365 \times 750 = 277 \text{ mm} \text{ olarak elde edilir.}$$

ii) Kolon kesiti için hesap

Kolon eğilme donatılarının hesabı taşıma gücü yöntemi ve yaklaşık mertebelere göre yapılmıştır.

$$m = \frac{M_d}{0,85bh^2 f_{cd}} \quad (5.18)$$

$$n = \frac{N_d}{0,85bh f_{cd}} \quad (5.19)$$

$$n < 0,35 \text{ olması halinde} \quad \mu = 2,49m + 1,44n^2 - 1,29n \quad (5.20)$$

$$k_2 = \frac{(m/n)^{0,80} + 0,20}{(m/n) + 0,20} \quad (5.21)$$

$$A_s = k_1 k_2 \mu b h \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5.22)$$

m : eğilme momenti oranı

n : aksenal kuvvet oranı

α : paspayı oranı

k_1 : donatı yerleşim durumu katsayısı

k_2 : paspayı oranı katsayısı

μ : mekanik donatı oranı

i-1) Eğilme hesabı

Kolonlarda eğilme kapasitelerinin bulunmasında aksenal yük durumu etkili olacağından en olumsuz iki yük birleşimi için hesap yapılmıştır.

1,40 G + 1,60 Q kombinasyonu için hesap

M=280 kNm, N=-390 kN

$$m = \frac{280 \times 10^6}{0,85 \times 650 \times 650^2 \times 16,7} = 0,072$$

$$n = \frac{390 \times 10^3}{0,85 \times 650 \times 650 \times 16,7} = 0,065$$

$$\alpha = 0,93 \quad k_1 \approx 1,15 \quad k_2 = \frac{(0,072 / 0,065) \times 0,80 / 0,93 + 0,2}{(0,072 / 0,065) + 0,2} = 0,88$$

$n < 0,35$ durumu için

$$m = 0,072 \quad \mu = 2,49 \times 0,072 + 1,44 \times (0,065)^2 - 1,29 \times 0,065 = 0,102$$

$$A_s = 1,15 \times 0,88 \times 0,102 \times 650 \times 650 \times \frac{16,7}{365} = 1992 \text{ mm}^2$$

1,0 G +0,6 Q +1,0E kombinasyonu için hesap

$$M=-254 \text{ kNm} \quad N=-264 \text{ kN}$$

$$m=0,065 \quad n=0,044 \quad k_1 \approx 1,15 \quad k_2=0,88$$

$n < 0,35$ durumu için

$$m=0,065$$

$$\mu = 2,49 \times 0,065 + 1,44 \times (0,044)^2 - 1,29 \times 0,044 = 0,108$$

$$A_s = 1,15 \times 0,82 \times 0,108 \times 650 \times 650 \times \frac{16,67}{365} = 1965 \text{ mm}^2$$

i-2) Kesme hesabı

$$V_d \approx 213,00 \text{ kN}$$

Kolon sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve aynı zamanda $N_d \leq 0,05 A_c f_{ck}$ koşulunun sağlanması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

Betonarme bir kesitin kesmede çatlama dayanımı, daha kesin hesaba gerek duyulmadığı durumlarda aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir. Eksenel kuvvetin basınç olması durumunda $\gamma=0,07$ alınacaktır. Bu hesapta eksenel kuvvet terk edilecektir. Bu durumda $\gamma=0$ olur.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b d \left(1,00 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right)$$

$$V_{cr} = 0,65 \times \frac{1,75}{1,50} \times 650 \times 650 \times 10^{-3} \cong 321 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,80 V_{cr} = 0,80 \times 321 \cong 257 \text{ kN}$$

$$V_s = V_d - V_c \rightarrow 213 - 257,00 < 0 \text{ olarak elde edilir .}$$

Bu durumda minimum enine donatı koşulları uygulanacaktır.

h) Donatı seçimi ve yerleşimi

i) Kiriş kesiti donatısı

Gerekli boyuna donatı alanı

mesnette : 1438 mm^2

açıklıkta : 1408 mm^2

Sınır donatı koşulları

Minimum çekme donatısı alanı **Denklem 5.23** ile hesaplanır.

$$A_{s \min} = 0,8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 0,8 \times \frac{1,17}{365} \times 500 \times 750 \cong 960 \text{ mm}^2, \quad (5.23)$$

Maksimum çekme donatısı alanı **Denklem 5.24** ile hesaplanır.

$$A_{s \max} = 0,02 b_w d = 0,02 \times 500 \times 750 = 7500 \text{ mm}^2 \quad (5.24)$$

dengeli donatı alanı **Denklem 5.25** ile hesaplanır.

$$A_{sb} = 0,85 A_{s \max} = 0,85 \times 7500 = 6375 \text{ mm}^2, \quad (5.25)$$

Minimum gövde donatısı alanı **Denklem 5.26** ile hesaplanır.

$$A_{sl \min} = 0,001 \times 500 \times 750 = 375 \text{ mm}^2 \quad (5.26)$$

Etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150 mm'yi aşmayacaktır.

$$s \leq_{\max} (h/4, 8\phi, 150 \text{ mm})$$

$$\frac{h}{4} = \frac{800}{4} = 200 \text{ mm} \quad 16 \times 8 = 128 \text{ mm}$$

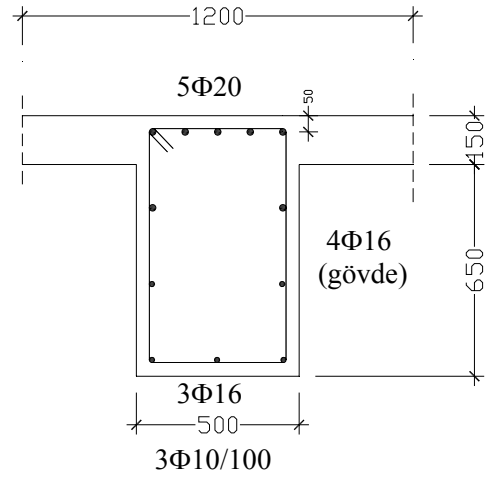
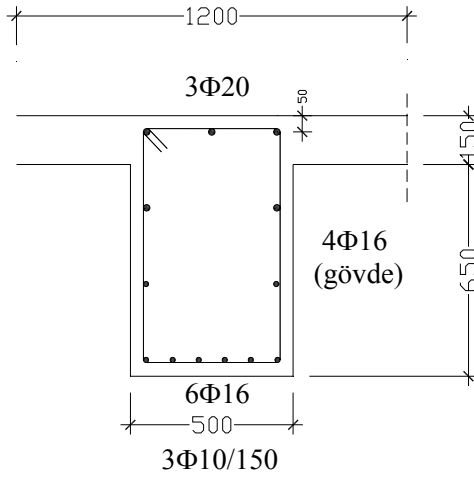
Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerindeki taşıyıcı sistemlerde, kiriş mesnedindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olamaz.

$$2A_s' \geq A_s$$

Seçilen donatı çap ve alanları

mesnet donatısı	: 3 $\Phi 20$ + 2 $\Phi 18$	$(A_{sb} > 1444 \text{ mm}^2 > A_{s \min}) \checkmark$
açıklık donatısı	: 7 $\Phi 16$	$(A_{sb} > 1407 \text{ mm}^2 > A_{s \min}) \checkmark$
kesme donatısı	: $\Phi 10/100$ -150 mm	$(s < s_{\max}) \checkmark$
gövde donatısı	: 2 $\Phi 16$	$(402 \text{ mm}^2 > A_{sl \min}) \checkmark$

Seçilen kiriş donatılarına ait kesit donatı detayı çizimleri **Şekil 5.9a** ve **5.9b**'de gösterilmektedir.



Şekil 5.9a : Tipik Kiriş Açıklık Kesiti

Şekil 5.9b : Tipik Kiriş Mesnet Kesiti

$$2A_s' \geq A_s \rightarrow 2,00 \times 4,00 \times 201 = 1608 > 3 \times 314 + 2 \times 251 = 1444 \text{ mm}^2 \checkmark$$

ii) Kolon kesiti donatısı

Gerekli donatı alanı

$$\text{boyuna donatı alanı} : A_s = 1992 \text{ mm}^2 < A_{s\min} = 4225 \text{ mm}^2$$

Sınır donatı koşulları

Kolonlarda boyuna donatı oranı kesitin %1'inden az, %4'ünden fazla olmayacaktır. En az donatı, dikdörtgen kesitli kolonlarda 4Φ16 veya 6Φ14 olmalıdır.

$$A_{s\min} = 0,01b_x b_y = 0,01 \times 650 \times 650 = 422500 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = 4\phi 16 = 4 \times 201 = 804 \text{ mm}^2 \quad \text{veya}$$

$$A_{s\min} = 6\phi 14 = 6 \times 154 = 924 \text{ mm}^2$$

Sarılma bölgelerinde Φ8'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Bu bölgede, boyuna doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun 1/3'ünden ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, a, etriye çapının 25 katından fazla olmayacaktır.

$$\phi_{\min} = 8 \text{ mm} \quad s \leq_{\min} \left(\frac{b_{\min}}{3}, 100 \text{ mm} \right), \quad s \geq 50 \text{ mm}, \quad a \leq 25\phi$$

Kolon orta bölgesinde $\Phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Kolon boyunca etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, a, etriye çapının 25 katından daha fazla olmayacaktır.

$$\phi_{\min} = 8 \text{ mm}, \quad s \leq_{\min} \left(\frac{b_{\min}}{2}, 200 \text{ mm} \right), \quad s \geq 50 \text{ mm}, \quad a \leq 25\phi$$

Etriyeli kolonlarda $N_d < 0,20 A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerinde minimum enine donatı alanı **Denklem 5.28a, 5.28b ve 5.28c**'den en elverişsiz olanın en az 2/3'ünü sağlayacaktır.

$$0,20 A_c f_{ck} = 0,20 \times 650 \times 650 \times 25 \times 10^{-3} = 2113,00 \text{ kN} > N_d = 576,61 \text{ kN}$$

$$A_{sh} \geq 0,3 s b_k \left[\left(\frac{A_c}{A_{ck}} \right) - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \frac{2}{3} \quad (5.28a)$$

$$A_{sh} > 0,3 \times 100 \times 570 \times \left[\left(\frac{650^2}{570^2} \right) - 1 \right] \times \frac{25}{420} \times \frac{2}{3} = 204 \text{ mm}^2 \quad (5.28b)$$

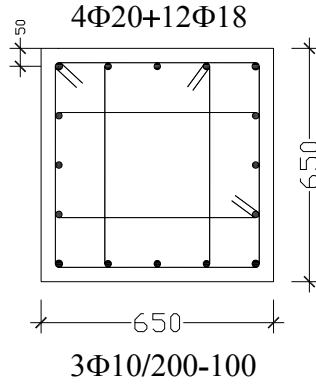
$$A_{sh} \geq 0,075 s b_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \frac{2}{3} = 0,075 \times 10 \times 570 \times \frac{25}{420} \times \frac{2}{3} = 170 \text{ mm}^2 \quad (5.28c)$$

Seçilen donatı

$$\text{boyuna donatı : } 4\phi 20 + 12\phi 18 \rightarrow A_s = 1256 + 3048 = 4304 \text{ mm}^2 > A_{s\min} \checkmark$$

$$\text{enine donatı : } \phi 10 (\text{dört kollu}) / 200 - 100 > A_{sh\min}, \quad s < s_{\max}$$

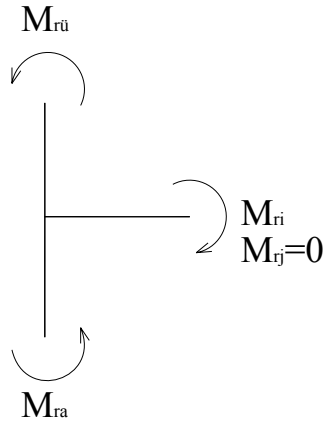
Kolon kesitine ait nihai donatı çizimi **Şekil 5.10**'da verilmiştir.



Şekil 5.10 : Tipik Kolon Kesiti

i) Kuvvetli kolon kontrolü

Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır. (Denklem 5.29)



Şekil 5.11 : Çerçeve Düğüm Noktası Moment Gösterimi

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1,20(M_{ri} + M_{rj}) \quad (5.29)$$

i) Kiriş eğilme kapasitesinin hesabı

ii-1) Kiriş eğilme kapasitesi hesabı

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_{cd} b_w} \rightarrow = \frac{1444 \times 365}{0,85 \times 16,67 \times 500} = 75 \text{ mm} \quad (5.30)$$

$$M_{ri} = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1444 \times 365 \times \left(750 - \frac{75}{2} \right) \times 10^{-6} \cong 376 \text{ kNm} \quad (5.31)$$

$$M_{rj} = 0$$

ii-1) kolon eğilme kapasitesi hesabı

Kolon elemanın kare geometriye sahip olması ve bütün kenarla eşit donatı bulunması nedeni ile ve kolondaki bütün donatıların aktığı varsayımı yapılarak kolon eğilme kapasiteleri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$M_{rü} \rightarrow N_d = 144 \text{ kN} \text{ (basınç)}$$

$$a = \frac{144 \times 10^3}{0,85 \times 16,67 \times 500} = 20 \text{ mm}$$

$$M_{rü} \cong \left[\frac{4304}{2} \times 550 \times 365 + 144 \times 10^3 \times \left(\frac{650}{2} - \frac{20}{2} \right) \right] \times 10^{-6} \cong 432 \text{ kNm}$$

$$M_{ra} \rightarrow N_d = 280 \text{ kN} \text{ (basınç)}$$

$$a = \frac{283 \times 10^3}{0,85 \times 16,67 \times 500} = 40 \text{ mm}$$

$$M_{rü} \cong \left[\frac{4304}{2} \times 550 \times 365 + 280 \times 10^3 \times \left(\frac{650}{2} - \frac{40}{2} \right) \right] \times 10^{-6} \cong 518,00 \text{ kNm}$$

$$M_{ra} + M_{rü} = 518 + 432 = 950,00 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ra} + M_{rü}}{M_{ri}} = \frac{950}{376} = 2,53 > 1,20 \quad (5.32)$$

Yapılan hesapların sonucunda kolonların kirişlerden kuvvetli olduğu gösterilmiştir. Bu durumda hesap yapılan düğüm noktasına bağlanan çubuklarda oluşacak ilk mafsallın kirişte olacağı anlaşılmaktadır.

j) **Kirişlerin kesme güvenliği kontrolü**

Kirişlerde enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için ayrı ayrı ve elverişsiz sonuç verecek şekilde **Denklem 5.33** ile bulunacaktır, aşağıdaki denklem ile bulunacaktır. Kiriş uçlarındaki pekleşmeli moment kapasiteleri, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pi} \approx 1,4M_{ri}$ ve $M_{pj} \approx 1,4M_{rj}$ olarak alınabilir.

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{(M_{ri} + M_{rj})}{l_n} \quad (5.33)$$

i) 1. kat kirişi için hesap

Sol mesnet üst donatısının ve aynı deprem yönü ile uyumlu olarak sağ mesnet alt donatısının çekmeye çalışması durumu için hesap aşağıdaki gibidir.

Sol mesnet kesiti üst donatısı ile plastik moment kapasitesi **Denklem 5.34a** ve **5.34b** ile hesaplanabilir,

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w} = \frac{1444 \times 365}{0,85 \times 16,7 \times 500} = 75 \text{ mm}$$

$$M_{ri} = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) \rightarrow 1444 \times 365 \times \left(750 - \frac{75}{2} \right) \times 10^{-6} = 376 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = 1,40 M_{ri} = 1,40 \times 376 = 527 \text{ kNm} \quad (5.34)$$

Sağ mesnet kesiti alt donatısı ile plastik moment kapasitesi hesabı,

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0,85 f_{cd} b_w} = \frac{804 \times 365}{0,85 \times 16,7 \times 500} = 41 \text{ mm}$$

$$M_{rj} = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) = 804 \times 365 \times \left(750 - \frac{41}{2} \right) \times 10^{-6} = 214 \text{ kNm}$$

$$M_{pj} = 1,40 M_{rj} = 1,40 \times 214 = 300 \text{ kNm}$$

düşey yüklerden oluşan kesme kuvveti talebi,

$$p_d = 57,10 + 21,00 = 78,10 \text{ kN / m}$$

$$V_{dy} = \frac{78,10 \times (7,40 - 0,65)}{2} = 264 \text{ kN}$$

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{(M_{ri} + M_{rj})}{l_n}$$

$$V_e = 264 + \frac{(300 + 527)}{6,75} = 387 \text{ kN}$$

Yukarıda hesaplanan kesme kuvveti, V_e , aşağıdaki **Denklem 5.35a** ve **5.35b**'deki koşulların her ikisini de sağlayacaktır.

$$V_e \leq 0,22 b_w d f_{cd} = 387 \text{ kN} < 0,22 \times 500 \times 750 \times 16,67 \times 10^{-3} = 1375 \text{ kN} \quad \checkmark \quad (5.35a)$$

Betonun ezilme kontrolü sağlandığı için kolon kesitinin büyütülmesine gerek olmadığı gösterilmiştir.

$$V_e \leq V_r \quad (5.35b)$$

Kiriş enine donatısının, V_e , kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS-500'e göre belirlenecektir. Ancak, kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V^{EQ} = 54,45 \text{ kN} \quad V^{G+nQ+E} = 180,79 \text{ kN} \rightarrow \frac{V^{EQ}}{V^{G+nQ+E}} = 0,30 < 0,50 \quad \checkmark$$

Kirişlerdeki basınç aksenal kuvveti $N \approx 0$ alınarak hesap yapılacaktır. ($\gamma=0$)

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N}{A_c} \right) = 0,65 \times 1,17 \times 500 \times 750 \times 10^{-3} = 285,00 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} = \frac{2 \times 113}{150} \times 365 \times 750 \times 10^{-3} = 413,00 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_s = 228 + 413 = 641 \text{ kN}$$

$$V_r = 641 \text{ kN} > V_e = 387 \text{ kN} \quad \checkmark$$

1. kat kirişinin kesme güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

ii) 2. kat kirişi için hesap

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{(M_{ri} + M_{rj})}{l_n}$$

$$M_{ri} = 376 \text{ kNm} \quad M_{rj} = 214 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = 527 \text{ kN} \quad M_{pj} = 300 \text{ kN}$$

düşey yüklerden oluşan kesme kuvveti talebi,

$$p_d = 51,38 + 21,00 = 72,38 \text{ kN / m}$$

$$V_{dy} = \frac{72,38 \times (7,40 - 0,65)}{2} = 244 \text{ kN}$$

$$V_e = 244 + \frac{(300 + 527)}{6,75} = 367 \text{ kN}$$

$$V_e \leq 0,22 b_w d f_{cd} = 367 \text{ kN} < 0,22 \times 500 \times 750 \times 16,67 \times 10^{-3} = 1375 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V^{EQ} = 27,55 \text{ kN} \quad V^{G+nQ+E} = 188,39 \text{ kN} = \frac{V^{EQ}}{V^{G+nQ+E}} = 0,15 < 0,50 \quad \checkmark$$

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,17 \times 500 \times 750 \times 10^{-3} = 285 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,80 V_{cr} = 0,80 \times 285 = 228 \text{ kN}$$

$$V_s = 413 \text{ kN}$$

$$V_r = 641 \text{ kN}$$

$$V_r = 641 \text{ kN} > V_e = 367 \text{ kN} \quad \checkmark$$

2. kat kirişinin kesme güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

k) Kolonların kesme güvenliği kontrolü

Kolonlarda enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , **Denklem 5.36** ile hesaplanacaktır.

$$V_e = \frac{(M_a + M_{\bar{u}})}{l_n} \quad (5.36)$$

Kuvvetli kolon kontrolünün sağlanmış olmasına karşın 5.36'da M_a veya $M_{\bar{u}}$ 'nin hesabı, güvenli tarafta kalmak üzere kolonların uçlarındaki momentler, kolonların plastik moment kapasiteleri olarak hesaplanacak ve M_a ve/veya $M_{\bar{u}}$ olarak kullanılacaktır. Plastik moment kapasiteleri, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pa} \approx 1,4M_{ra}$ ve $M_{p\bar{u}} \approx 1,4M_{r\bar{u}}$ olarak alınabilir. M_{pa} ve $M_{p\bar{u}}$ momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan N_d eksenel kuvvetleri gözönüne alınacaktır.

Temele bağlanan kolonların alt ucundaki M_a momenti de plastik moment kapasiteleri olarak hesaplanacaktır.

1. kat kolonları için hesap

$$N_d = 577 \text{ kN}$$

$$a = \frac{N_d}{0,85 f_{cd} b} = \frac{577000}{0,85 \times 16,7 \times 650} = 63 \text{ mm}$$

$$M_{ra} \cong M_{r\bar{u}} = \left[\frac{4304}{2} \times 550 \times 365 + 577 \times 10^3 \times \left(\frac{650}{2} - \frac{63}{2} \right) \right] \times 10^{-6} = 602 \text{ kNm}$$

$$M_{pa} \cong M_{p\bar{u}} \cong 1,40M_{r\bar{u}} \rightarrow 1,40 \times 602 = 843 \text{ kN}$$

$$V_e = \frac{843 + 843}{3,20} = 527 \text{ kN}$$

Hesaplanan kesme kuvveti, V_e , düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti V_d 'den daha küçük olmayacaktır.

$$V_e = 527 \text{ kN} > V_d = 120 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Hesaplanan kesme kuvveti, V_e , aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

$$V_e \leq 0,22 A_w f_{cd}$$

$$V_e = 527 \text{ kN} \leq 0,22 \times 650 \times 600 \times 16,7 \times 10^{-3} = 1430 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Betonun ezilme kontrolü sağlandığı için kolon kesitinin büyütülmesine gerek olmadığı görülmüştür.

$$V_e \leq V_r \quad V^{EQ} = 87 \text{ kN} \quad V^{G+nQ+E} = 120 \text{ kN} = \frac{V^{EQ}}{V^{G+nQ+E}} = 0,73 > 0,50$$

$$N_d = 577 \text{ kN} > 0,05 A_c f_{ck} = 0,05 \times 650 \times 650 \times 25 \times 10^{-3} = 528 \text{ kN}$$

Yalnızca deprem kuvvetinden oluşan kesme kuvveti talebi, depremin ve düşey yüklerin ortak etkisinden oluşan kesme kuvveti talebinin yarısından daha büyüktür. Fakat tasarım eksenel kuvveti N_d 'nin $0,05 A_c f_{ck}$ değerinden küçük olması koşulu sağlanmadığı için betonun kesme kuvvetine katkısı V_c hesaplarda göz önüne alınacaktır.

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,17 \times 650 \times 600 \times \left(1 + 0,07 \times \frac{577000}{650 \times 650} \right) \times 10^{-3} = 325 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,80 V_{cr} = 0,80 \times 325 = 260 \text{ kN}$$

Kolon orta bölgesinde etriye alanı sarılma bölgesi ile aynı değere sahip olmasına rağmen etriye aralığı bu bölgede daha büyük olduğundan daha küçük kesme kapasitesine sahip olan kolon orta bölgesinde kesme güvenliği kontrol edilecektir.

Kesme donatısının kesme kuvveti kapasitesine katkısı,

$$V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d = \frac{4 \times 78,50}{200} \times 365 \times 600 \times 10^{-3} = 344 \text{ kN}$$

kesitin toplam kesme kuvveti kapasitesi,

$$V_r = V_c + V_s = 260 + 344 = 604 \text{ kN}$$

$$V_r = 604 \text{ kN} > V_e = 527 \text{ kN} \quad \checkmark$$

1. kat kolonlarının kesme güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

2. kat kolonları için hesap

$$N_d = 265 \text{ kN}$$

$$a = \frac{265000}{0,85 \times 16,67 \times 650} = 29 \text{ mm}$$

$$M_{ra} \cong M_{r\ddot{u}} = \left[\frac{4304}{2} \times 550 \times 365 + 265 \times 10^3 \times \left(\frac{650}{2} - \frac{29}{2} \right) \right] \times 10^{-6} = 514 \text{ kNm}$$

$$M_{pa} \cong M_{p\ddot{u}} \cong 1,40 \times 514 = 720 \text{ kNm}$$

$$V_e = \frac{720 + 720}{2,20} = 655 \text{ kN}$$

$$V_e = 655 \text{ kN} > V_d = 265 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_e = 655 \text{ kN} \leq 0,22 \times 650 \times 600 \times 16,67 \times 10^{-3} = 1430 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V^{EQ} = 54 \text{ kN} \quad V^{G+nQ+E} = 184 \text{ kN} \quad \frac{V^{EQ}}{V^{G+nQ+E}} = 0,30 < 0,50 \quad \checkmark$$

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,17 \times 650 \times 600 \times 10^{-3} \left(1 + 0,07 \times \frac{265000}{650 \times 650} \right) = 284 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,80 V_{cr} \rightarrow 0,80 \times 284 = 227 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_s \rightarrow 227 + 344 = 571 \text{ kN}$$

$$V_r = 571 \text{ kN} < V_e = 655 \text{ kN} \quad \checkmark$$

2. kat kolonlarının kesme güvenliğinin sağlanmadığı görülmüştür.

Bu durumda etriye aralığı ve etriye kol sayısı sabit tutulup etriye çapı 12mm yapılarak hesap tekrarlanacaktır.

$$V_s = \frac{4 \times 113}{200} \times 365 \times 600 \times 10^{-3} = 495 \text{ kN}$$

$$V_r = 227 + 495 = 722 \text{ kN}$$

$$V_r = 722 \text{ kN} > V_e = 665 \text{ kN} \quad \checkmark$$

2. kat kolonlarının kesme güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

1) Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme güvenliği kontrolü

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme kuvveti, **Denklem 5.37** ile hesaplanacaktır.

$$V_e = 1,25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (5.37)$$

Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafta devam etmediği durumlar için $A_{s2} = 0$ alınacaktır.

$$V_e = 1,25 \times 420 \times 1444 \times 10^{-3} - 53 = 705 \text{ kN}$$

Herhangi bir birleşim bölgesinde **Denklem 5.37** ile hesaplanan kesme kuvveti, gözönüne alınan deprem doğrultusunda hiçbir zaman **Denklem 5.38a** ve **5.38b**'de verilen sınırı aşmayacaktır.

$$\text{Kuşatılmamış birleşimlerde} : V_e \leq 0,60 b_J h f_{cd}$$

(5.38a)

$$\text{Kuşatılmış birleşimlerde} : V_e \leq 0,45 b_J h f_{cd} \quad (5.38b)$$

b_J , kiriş genişliği ile birleşimin derinliğinin toplamını aşamaz,

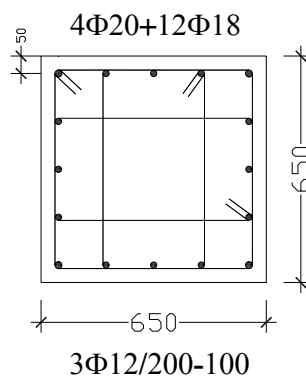
$$b_J \leq b_w + h$$

$$b_J = 325 \times 2 = 650 \text{ mm} < b_w + h = 500 + 800 = 1300 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$V_e = 705 \text{ kN} \leq 0,45 b_J h f_{cd} = 0,60 \times 650 \times 650 \times 16,7 \times 10^{-3} = 4234 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Kolon – kiriş birleşim bölgesinin kesme güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

Kesme güvenliği hesapları yapıldıktan sonra tipik kolon kesiti **Şekil 5.12**'deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.12 : Tipik Kolon Donatısı

m) Düzensizliklerin kontrolü

Sayısal örnekte sadece iki katlı bir çerçeve incelendiğinden planda düzensizlik durumu söz konusu değildir. Düşey doğrultuda düzensizlik durumlarının kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

i) Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0,80 den küçük olması durumunda sistemde Zayıf Kat Düzensizliği bulunmaktadır. Zayıf kat düzensizliğinin bulunduğu yapılarda zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k \quad (5.39) \quad \eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} \quad (5.40)$$

$$\sum A_{e1} = \sum A_{e2} = (0,6 \times 0,6) \times 2 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$\eta_{ci} = \frac{0,72}{0,72} = 1,00 > 0,80 \checkmark$$

Çerçeve sistemde zayıf kat düzensizliğinin bulunmadığı gösterilmiştir.

ii) Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri içi, herhangi bir i'inci kattaki ortalama kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile elde edilen değer Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2'den fazla olması durumunda sistemde Yumuşak Kat Düzensizliği bulunmaktadır. **(Denklem 5.41)**

$$\eta_{ki} = \frac{(\Delta_i/h_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}} \quad \text{veya} \quad \eta_{ki} = \frac{(\Delta_i/h_i)_{ort}}{(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}} \quad (5.41)$$

$$\Delta_1 = d_i - d_{i-1} = 1,7 - 0 = 1,7 \text{ mm} \quad \Delta_2 = 2,7 - 1,7 = 1,0 \text{ mm}$$

$$\eta_{ki} = \frac{1,7}{1,0} = 1,70 < 2,00 \checkmark \quad , \quad \eta_{ki} = \frac{1,0}{1,7} = 0,60 < 2,00 \checkmark$$

Çerçeve sistemde yumuşak kat düzensizliğinin bulunmadığı gösterilmiştir.

n) Etkin görel kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, δ_i etkin görel kat ötelemelerinin, kat içindeki en büyük değeri $\delta_{\max}$, **Denklem 5.42a** ve **5.42b**'deki koşulu sağlamalıdır.

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq 0,02 \quad (5.42a) \quad \delta_i = R\Delta_i = 8 \times 1,7 = 13,6 \text{ mm} \quad (5.42b)$$

$$\delta_2 = 8 \times 1,0 = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_1}{h_1} = \frac{13,6}{4000} = 0,0034 < 0,02 \checkmark, \quad \frac{\delta_2}{h_2} = \frac{8}{3000} = 0,0027 < 0,02 \checkmark$$

Çerçeve sistemde görel kat ötelemeleri sınırı aşılmamaktadır.

5.1.2. Doğrusal Yöntemle Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu bölümde, doğrusal yöntemle tasarımı yapılmış olan düzlem çerçeve sistemin deprem performansının, En Büyük Deprem etkileri altında, doğrusal yöntem ile belirlenerek elde edilen sonuçların irdelenmesi yer almaktadır.

a) Hesap parametreleri

Sistemde yapı yüksekliği boyunca düşey taşıyıcı eleman boyutlarının değişmemesi ve çerçeve düzlemde hesap yapıldığından dolayı planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler bulunmamaktadır.

Deprem etkisinin tanımında, yönetmelikte verilen elastik (azaltılmamış) deprem yükü kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınacaktır. Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır.

Yönetmeliğin tasarım kısmında tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu tanımlanan bu spektrumun yaklaşık olarak yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise yönetmelikte tanımlanan bu spektrumun yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmiştir.

Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesaplanmasında $R_a=1$ alınacak ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılacaktır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1,0 alınacaktır.

Depreme yükü azaltma katsayısı $R_d = 1$ alınacaktır.

Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı : $\lambda = 1,00$ (2 katlı yapı)

Daha önce tasarımı yapılan mevcut yapıya ait bilgi düzeyinin Kapsamlı Bilgi Düzeyini sağladığı varsayımı ile,

Bilgi düzeyi katsayısı $\phi = 1,00$ (**Tablo 5.1**)

Tablo 5.1 : Bilgi Düzeyi Tablosu

Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları	
Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0,75
Orta	0,90
Kapsamlı	1,00

Malzeme dayanımları ile ilgili olarak TS 500’de verilen bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut (karakteristik) malzeme dayanımları kullanılacaktır.

Malzeme güvenlik katsayıları $\gamma_{mn} = \gamma_{ms} = 1,00$

Mevcut yapı insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar tanımına uymaktadır. Bu yüzden yapının performansı belirlenirken 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (En Büyük Deprem) deprem için uygun görülen % 50 arttırılmış spektrum eğrisi kullanılacaktır.

Spektrum arttırma katsayısı (*En büyük deprem için*) = 1,50

b) Taban kesme kuvveti hesabı

$$V_t = A_0 I S(T_1) W_i = 990 \times 0,4 \times 2,5 \times 1,5 = 1485 \text{ kN}$$

$$V_t \geq 0,10 A_0 I W_i = 0,1 \times 0,4 \times 1 \times 990 \times 1 \times 1,5 = 59 < V_t = 1485 \text{ kN}$$

Binanın 2. katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N ’in aşağıdaki denklem ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t = 0,0075 \times 2 \times 1485 = 22 \text{ kN}$$

$$F_1 = V_t k_1 = (1485 - 23) \times 0,38 = 556 \text{ kN}$$

$$F_2 = V_t k_2 + \Delta F_N = (1485 - 23) \times 0,62 + 22 = 907 \text{ kN}$$

c) Kolon ve kirişlerin kırılma tiplerinin belirlenmesi

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılacaktır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığına bağlıdır.

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri **Tablo 7.2** ve **7.4**'te sünek ve gevrek elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir. Sünek kolon ve kirişlerin kritik kesitlerinde, eğilme kapasitesi ile uyumlu kapasite kesme kuvveti V_e 'nin kesme kapasitesi V_r 'yi aşmaması gereklidir. Aşması durumunda bu elemanlar gevrek eleman sınıfında sayılırlar. V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılacaktır. V_r ise TS-500'e göre, tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak hesaplanacaktır.

Mevcut yapıların deprem performanslarının doğrusal yöntem ile incelenmesinde yapı davranış katsayısı $R_a=1,00$ alınmaktadır. Bu sebepten ve hesaba esas sistemin deprem performansının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depreme göre yapılması yapının taban kesme kuvveti talebini artırmaktadır. Bu durum eğilme momenti kapasiteleri eksenel yüke bağımlı olan kolonlarda eksenel yük talebini değiştirmektedir.

Benzer şekilde mevcut yapıların deprem performanslarının doğrusal yöntem ile incelenmesinde malzeme güvenlik katsayıları kullanılmamaktadır.

Bu yüzden eğilme momenti sunumları eksenel yüke ve malzeme kalitesi ile bağımlı olan elemanların eğilme momenti kapasiteleri performansın belirlenmesi kapsamında yeniden hesaplanacaktır.

i) Kirişler için hesap

En büyük eğilme kapasitesine sahip olan alt kat kirişi için hesap yapılacaktır.

$$a_i = \frac{A_s f_{yk}}{0,85 f_{ck} b_w} = \frac{1444 \times 420}{0,85 \times 25 \times 500} = 57 \text{ mm}$$

Basınç bloğunun derinliği basınç donatısına çok yakın olduğundan, basınç donatısı ve döşeme donatısının kirişin eğilme kapasitesine katkısı ihmal edilebilir.

$$M_{ri} = A_s f_{yk} \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1444 \times 420 \times \left(750 - \frac{57}{2} \right) \times 10^{-6} = 438 \text{ kNm}$$

$$a_j = \frac{804 \times 420}{0,85 \times 25 \times 500} = 32 \text{ mm}$$

$$M_{ri} = 804 \times 420 \times \left(750 - \frac{32}{2} \right) \times 10^{-6} = 248 \text{ kNm}$$

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{(M_{ri} + M_{rj})}{l_n}$$

Düşey yüklerden oluşan kesme kuvveti talebi,

$$p_d = 57,10 + 21,00 = 78,10 \text{ kN / m}$$

$$V_e = 264 + \frac{(438 + 248)}{6,75} = 366 \text{ kN}$$

$$366 \text{ kN} \leq 0,22 b_w d f_{ck} < 0,22 \times 500 \times 750 \times 25 \times 10^{-3} = 2063 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Kesme donatısının kesme kuvveti kapasitesine katkısı,

$$V_s = \frac{A_{sw}}{s} f_{yk} d = \frac{2113}{150} \times 420 \times 750 \times 10^{-3} = 475 \text{ kN}$$

$V_s > V_e = 366 \text{ kN}$ olmasından dolayı kesitte eğilme momentinin etkiliği olduğu görülmüştür. Bu durumda güç tükenmesi sünektir.

Kiriş kesitinin kırılma türünün sünek olduğu belirlenmiştir.

ii) Kolonlar için hesap

ii-1) Eğilme kapasitesi hesabı

1. kat kolonları için hesap

$$N_{\max} = 1137 \text{ kN} \text{ (G+nQ+E)}$$

$$n_a = \frac{N}{bh f_{ck}} = \frac{1137000}{650 \times 650 \times 25} = 0,11 < 0,20$$

$$\mu = \frac{A_s}{bh} \frac{f_{yk}}{f_{ck}} = \frac{4307}{650 \times 650} \times \frac{420}{25} = 0,17 \quad k_1 \cong 1,15 \quad k_2 = 0,88$$

$$\frac{\mu}{k_1 k_2} = 2,86m + 2,92n^2 - 1,48n$$

$$\frac{0,17}{1,15 \times 0,88} = 2,86m_a + 2,92 \times 0,11^2 - 1,48 \times 0,11 \Rightarrow m_a = 0,10$$

$$M_{ra} = mbh^2 f_{ck} = 0,1 \times 650 \times 650^2 \times 25 \times 10^{-6} = 687 \text{ kN}$$

2. kat kolonları için hesap

$$N_{\max} = 445 \text{ kN} \text{ (G+nQ+E)}$$

$$n_a = \frac{N}{bh f_{ck}} \rightarrow \frac{445000}{650 \times 650 \times 25} = 0,042 < 0,20$$

$$\mu = \frac{A_s}{bh} \frac{f_{yk}}{f_{ck}} = \frac{4307}{650 \times 650} \times \frac{420}{25} = 0,17 \quad k_1 \cong 1,15 \quad k_2 = 0,88$$

$$\frac{\mu}{k_1 k_2} = 2,86m + 2,92n^2 - 1,48n$$

$$\frac{0,17}{1,15 \times 0,88} = 2,86m_{\bar{u}} + 2,92 \times 0,042^2 - 1,48 \times 0,042 \Rightarrow m_{\bar{u}} = 0,079$$

$$M_{r\bar{u}} = mbh^2 f_{ck} = 0,079 \times 650 \times 650^2 \times 25 \times 10^{-6} = 543 \text{ kN}$$

ii-2) kolonların kırılma tiplerinin belirlenmesi

$$V_e = \frac{(M_a + M_{\bar{u}})}{l_n}$$

$$M_a = M_{ra} = 687 \text{ kNm}$$

$$V_e = \frac{(687 + 687)}{3,2} = 430 \text{ kN}$$

Kesme donatısının kesme kuvveti kapasitesine katkısı

$$V_s = \frac{4 \times 113}{200} \times 420 \times 600 \times 10^{-3} = 567 \text{ kN}$$

$V_s > V_e = 430 \text{ kN}$ olmasından dolayı kesitte eğilme momentinin etkiliği olduğu görülmüştür bu durumda güç tükenmesi sünektir.

Kolon kesitinin kırılma türünün sünek olduğu belirlenmiştir.

d) Eğilme etki / kapasite oranlarının belirlenmesi

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

i) Kolonlar için hesap

Doğrusal elastik yöntemler ile yapılan hesapta, moment-eksenel kuvvet etkisi altındaki kolon ve perde kesitlerinde etki/kapasite oranı (r)'nin belirlenmesi için uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Herhangi bir kolon veya perde kesitinin doğrusallaştırılan moment–eksenel kuvvet etkileşim diyagramı **Şekil 5.13**'te görülmektedir. Şekildeki D noktasının koordinatları, düşey yüklerden meydana gelen M_D - N_D çiftine karşı gelmektedir. D noktasından başlayan ve etkileşim diyagramının dışına çıkan ikinci doğru parçasının yatay ve düşey izdüşümleri ise, $R_a = 1$ için deprem hesabından elde edilen ve depremin yönü ile uyumlu olan M_E - N_E çiftine karşı gelmektedir. (**Şekil 5.13**'te M_E 'nin işaretlerinin farklı olduğu iki durum ayrı ayrı gösterilmiştir). İkinci doğru parçasının etkileşim diyagramını kestiği K noktasının koordinatları, kolon veya perde kesitinin (M_K) moment kapasitesi ve buna karşı gelen (N_K) eksenel kuvvetidir.

Artık moment kapasitesi (M_A) ve buna karşı gelen eksenel kuvvet (N_A) **Denklem 5.43** ve **5.44** ile tanımlanır:

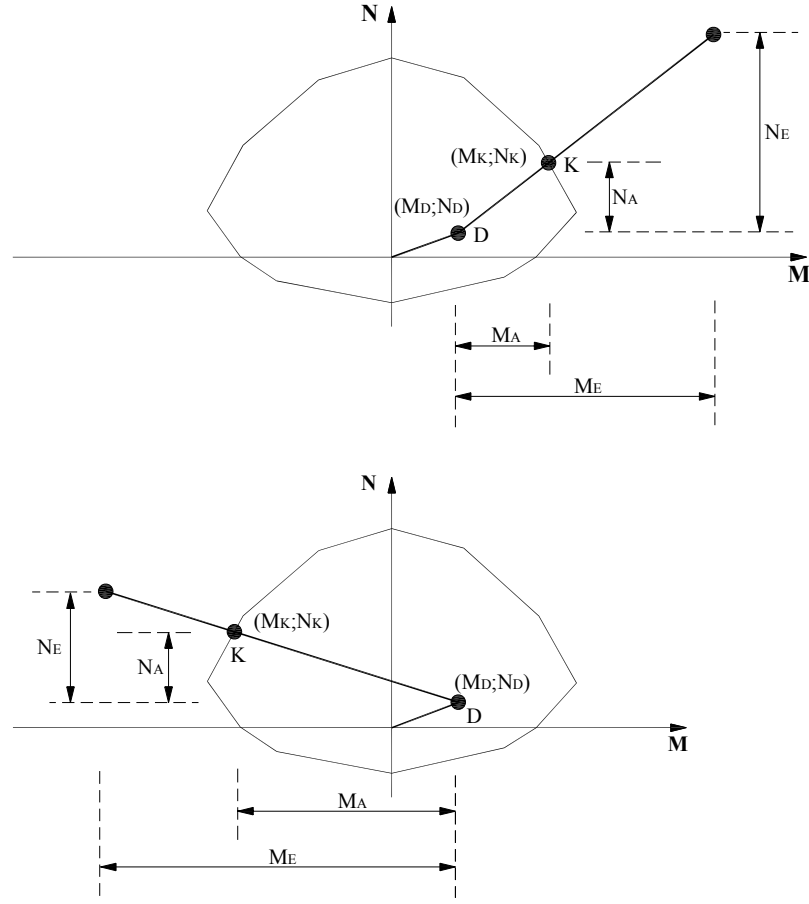
$$M_A = M_K - M_D \quad (5.43)$$

$$N_A = N_K - N_D \quad (5.44)$$

Kolon veya perdenin etki/kapasite oranı ise 5.45 ile tanımlanabilir:

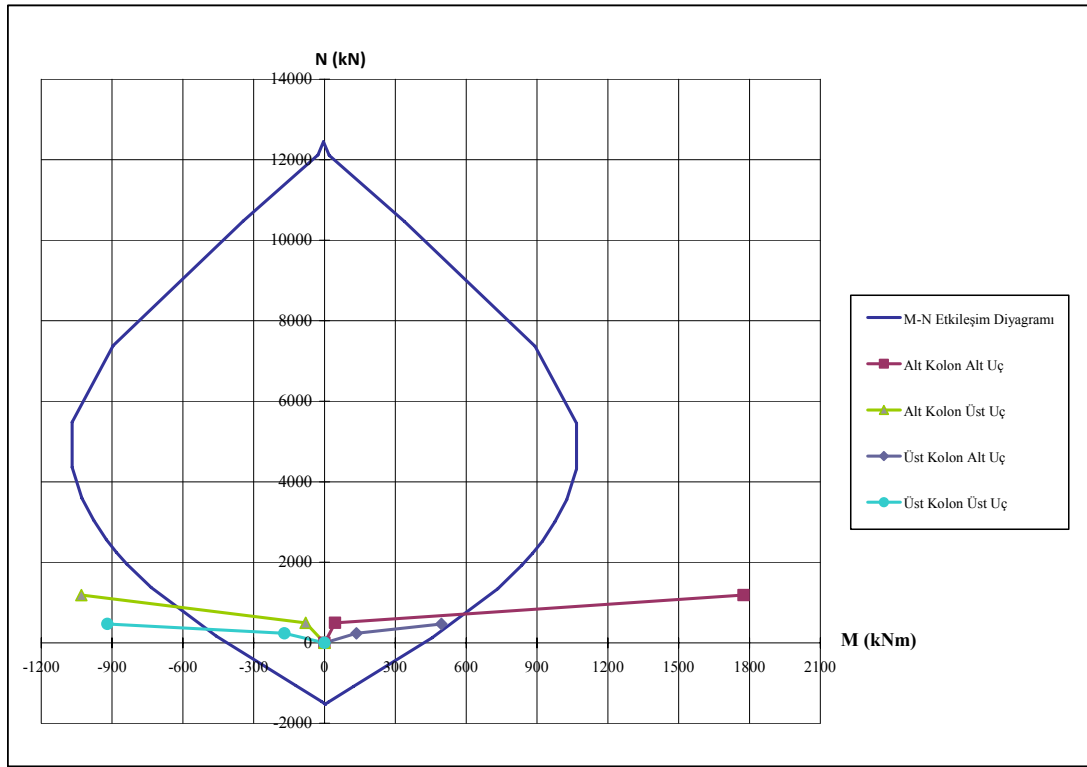
$$r = M_E/M_A = N_E/N_A \leq r_s \quad (5.45)$$

Şekil 5.12'deki K kesişme noktasının koordinatları olan M_K veya N_K 'nin geometrik veya sayısal olarak elde edilmesi durumunda, düşey yük hesabından M_D veya N_D , deprem hesabından ise M_E veya N_E bilindiğine göre, **Denklem 5.45**'ten yararlanılarak kesitin eğilme ve eksenel kuvvet altındaki etki/kapasite oranı doğrudan hesaplanabilir. Kolon kesitinin moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet N_K , hasar sınırlarını tanımlayan **Tablo 7.3**'te gözönüne alınacak olan eksenel kuvvettir.



Şekil 5.13 : Kolon Etki/Kapasite Oranı Şekilleri

Deprem kuvvetlerinin pozitif yönden gelmesi durumunda, idealleştirilmiş M-N etkileşim diyagramına karşılık her bir kolonun alt ve üst ucuna ait M-N talep doğrularının tek bir düzlem üzerinde gösterimi **Şekil 5.14**'teki gibidir.



Şekil 5.14 : Pozitif Deprem Kolon Etki/Kapasite Oranları Grafiği

Akma eğrisi üzerinden okunan moment ve eksenel kuvvet değerleri ile talep kuvvet değerleri **Tablo 5.2**'de verilmiştir.

Tablo 5.2 : Pozitif Deprem Kolon Etki/Kapasite Oranları Tablosu

	M_D (kNm)	M_E (kNm)	M_K (kNm)	M_A (kNm)	N_D (kN)	N_E (kN)	N_K (kN)	N_A (kN)	r
AA	45	1730	600	555	495	690	716	221	3,12
AÜ	-80	-950	-625	-545	495	690	891	396	1,74
ÜA	135	360	-	-	237	231	-	-	-
ÜÜ	-170	-750	-475	-305	237	231	331	94	2,46

i-1 1. kat kolonları

Denklem 5.43, 5.44 ve 5.45'ten faydalanarak

Alt uç

$$N_D = 495 \text{ kN} \quad N_E = 690 \text{ kN} \quad N_D + N_E = 1185 \text{ kN}$$

$$M_D = 675 \text{ kNm} \quad M_E = 1730 \text{ kNm} \quad M_D + M_E = 1775 \text{ kNm}$$

$$M_K = 600 \text{ kNm} \quad N_K = 716 \text{ kN}$$

$$M_A = M_K - M_D = 600 - 45 = 555 \text{ kNm}$$

$$N_A = N_K - N_D = 716 - 495 = 221 \text{ kN}$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} \rightarrow \frac{1730}{555} = \frac{690}{221} = 3,12$$

$$n = \frac{N_K}{b_w df_{ck}} = \frac{716000}{650 \times 600 \times 25} = 0,07$$

$$v = \frac{V_e}{b_w df_{ctk}} = \frac{430000}{650 \times 600 \times 1,75} = 0,63$$

Üst uç

$$N_D = 496 \text{ kN} \quad N_E = 690 \text{ kN} \quad N_D + N_E = 1186 \text{ kN}$$

$$M_D = -80 \text{ kNm} \quad M_E = -950 \text{ kNm} \quad M_D + M_E = -1030 \text{ kNm}$$

$$M_K = -625 \text{ kNm} \quad N_K = 891 \text{ kN}$$

$$M_A = M_K - M_D = -625 + 80 = -545 \text{ kNm}$$

$$N_A = N_K - N_D = 891 - 496 = 396 \text{ kN}$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} = \frac{950}{545} = \frac{690}{396} = 1,74$$

$$n = \frac{N_K}{b_w df_{ck}} = \frac{891000}{650 \times 600 \times 25} = 0,09$$

$$v = \frac{V_e}{b_w df_{ctk}} = \frac{430000}{650 \times 600 \times 1,75} = 0,63$$

i-2 2. kat kolonları

Alt uç

Üst kolon alt ucuna ait doğru parçası kapasite eğrisini kesmemektedir. Bu durumda kesit hasar seviyesi (MN) Hasar Sınırı'nı aşmamaktadır.

Üst uç

$$N_D = 237 \text{ kN} \quad N_E = 231 \text{ kN} \quad N_D + N_E = 468 \text{ kN}$$

$$M_D = -170 \text{ kNm} \quad M_E = -750 \text{ kNm} \quad M_D + M_E = -920 \text{ kNm}$$

$$M_K = -475 \text{ kNm} \quad N_K = 331 \text{ kN}$$

$$M_A = M_K - M_D = -475 + 170 = -305 \text{ kNm}$$

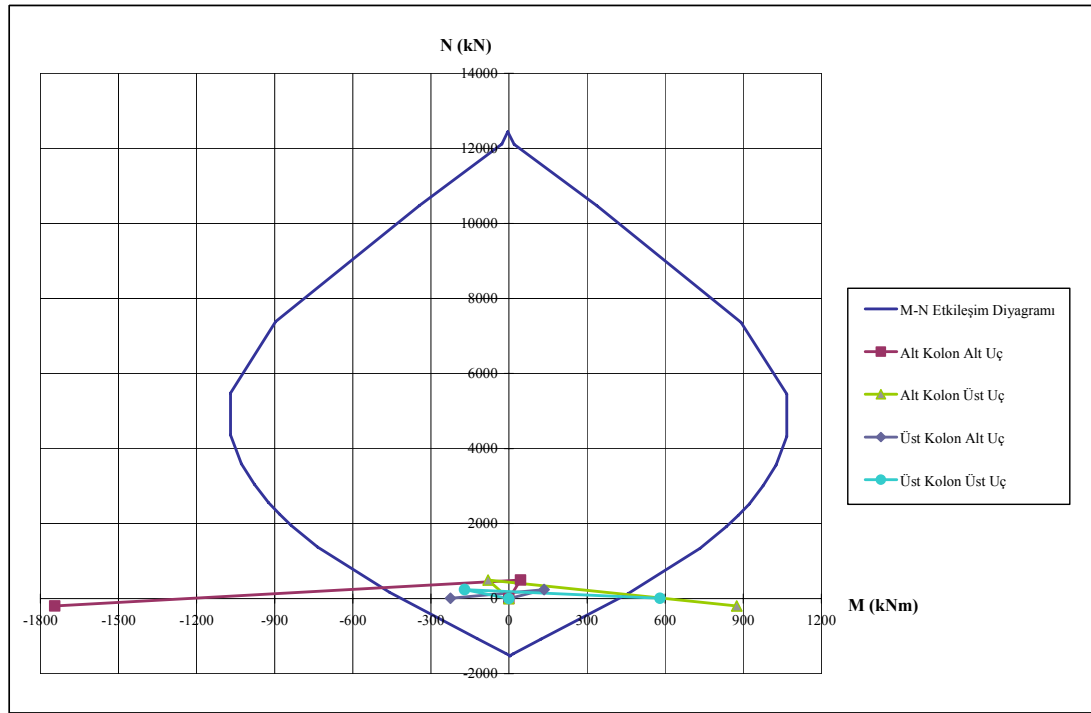
$$N_A = N_K - N_D = 331 - 237 = 94 \text{ kN}$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} = \frac{750}{305} = \frac{231}{94} = 2,46$$

$$n = \frac{N_K}{b_w d f_{ck}} = \frac{345000}{650 \times 600 \times 25} = 0,04$$

$$v = \frac{V_e}{b_w d f_{ctk}} = \frac{389000}{650 \times 600 \times 1,75} = 0,57$$

Deprem kuvvetlerinin negatif yönden gelmesi durumunda idealleştirilmiş M-N etkileşim diyagramına karşılık her bir kolonun alt ve üst ucuna ait M-N talep doğrularının tek bir düzlem üzerinde gösterimi **Şekil 5.15**'teki gibidir.



Şekil 5.15 : Negatif Deprem Kolon Etki/Kapasite Oranları Grafiği

Akma eğrisi üzerinden okunan moment ve eksenel kuvvet değerleri ile talep kuvvet değerleri **Tablo 5.3**'te verilmiştir.

Tablo 5.3 : Negatif Deprem Kolon Etki/Kapasite Oranları Tablosu

	M_D (kNm)	M_E (kNm)	M_K (kNm)	M_A (kNm)	N_D (kN)	N_E (kN)	N_K (kN)	N_A (kN)	r
AA	45	-1790	-525	-570	495	-690	275	-220	3,14
AÜ	-80	955	450	530	495	-690	112	-383	1,80
ÜA	135	-360	-	-	237	-231	-	-	-
ÜÜ	-170	750	-415	-245	237	-231	162	-75	3,06

i-1 1. kat kolonları

Alt uç

$$N_D = 495 \text{ kN} \quad N_E = -690 \text{ kN} \quad N_D + N_E = -195 \text{ kN}$$

$$M_D = 45 \text{ kNm} \quad M_E = -1790 \text{ kNm} \quad M_D + M_E = 1745 \text{ kNm}$$

$$M_K = -525 \text{ kNm} \quad N_K = 275 \text{ kN}$$

$$M_A = M_K - M_D = -525 - 45 = -570 \text{ kNm}$$

$$N_A = N_K - N_D = 275 - 495 = -220 \text{ kN}$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} = \frac{1790}{570} = \frac{690}{220} = 3,14$$

$$n = \frac{N_K}{b_w df_{ck}} = \frac{275000}{650 \times 600 \times 25} = 0,03 \quad v = \frac{V_e}{b_w df_{ctk}} = \frac{430000}{650 \times 600 \times 1,75} = 0,63$$

Üst uç

$$N_D = 495 \text{ kN} \quad N_E = -690 \text{ kN} \quad N_D + N_E = -195 \text{ kN}$$

$$M_D = -80 \text{ kNm} \quad M_E = 955 \text{ kNm} \quad M_D + M_E = 875 \text{ kNm}$$

$$M_K = 450 \text{ kNm} \quad N_K = 112 \text{ kN}$$

$$M_A = M_K - M_D = 450 + 80 = 530 \text{ kNm}$$

$$N_A = N_K - N_D = 112 - 495 = -383 \text{ kN}$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} = \frac{955}{530} = \frac{690}{383} = 1,80$$

$$n = \frac{N_K}{b_w df_{ck}} = \frac{112000}{650 \times 600 \times 25} = 0,01 \quad v = \frac{V_e}{b_w df_{ctk}} = \frac{430000}{650 \times 600 \times 1,75} = 0,63$$

i-2 2. kat kolonları

Alt uç

Üst kolon alt ucuna ait doğru parçası kapasite eğrisini kesmemektedir. Bu durumda kesit hasar seviyesi (MN) Hasar Sınırı'nı aşmamaktadır.

Üst uç

$$N_D = 237 \text{ kN} \quad N_E = -231 \text{ kN} \quad N_D + N_E = 6 \text{ kN}$$

$$M_D = -170 \text{ kNm} \quad M_E = 750 \text{ kNm} \quad M_D + M_E = 580 \text{ kNm}$$

$$M_K = -415 \text{ kNm} \quad N_K = 162 \text{ kN}$$

$$M_A = M_K - M_D = -415 + 170 = -245 \text{ kNm}$$

$$N_A = N_K - N_D = 162 - 237 = -75 \text{ kN}$$

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} = \frac{750}{245} = \frac{231}{75} = 3,06$$

$$n = \frac{N_K}{b_w d f_{ck}} = \frac{162000}{650 \times 600 \times 25} = 0,02$$

$$v = \frac{V_e}{b_w d f_{ctk}} = \frac{389000}{650 \times 600 \times 1,75} = 0,57$$

ii) Kirişler için hesap

i-1) 1. kat kirişi

$$M_{r1} = 438 \text{ kNm}$$

$$M^{g+nq} = -188 \text{ kNm}$$

$$M^{eq} \cong -1543 \text{ kNm}$$

$$r = \frac{1543}{(438 - 188)} = 6,17$$

i-2) 2. kat kirişi

$$M_{r2} = 438 \text{ kNm}$$

$$M_{\ddot{u}}^{g+nq} = -139 \text{ kNm}$$

$$M_{\ddot{u}}^{eq} = -777 \text{ kNm}$$

$$r = \frac{777}{(438 - 139)} = 2,60$$

Deprem momentinin pozitif olması durumunda kirişte alt donatının etkisi göz önüne alınacaktır.

$$a = \frac{A_s f_{ym}}{0,85 f_{cm} b_w} = \frac{804 \times 420}{0,85 \times 25 \times 500} = 32 \text{ mm}$$

$$M_{ri} = M_{rj} = A_s f_{ym} \left(d - \frac{a}{2} \right) = 804 \times 420 \times \left(750 - \frac{32}{2} \right) \times 10^{-6} = 248 \text{ kNm}$$

i-1) 1. kat kirişi

$$M_{r1} = 248 \text{ kNm}$$

$$M^{g+nq} = -188 \text{ kNm}$$

$$M^{eq} \cong 1551 \text{ kNm}$$

$$r = \frac{1551}{(248 + 188)} = 3,56$$

i-2) 2. kat Kirişi

$$M_{r2} = 248 \text{ kNm}$$

$$M^{g+nq} = -139 \text{ kNm}$$

$$M^{eq} = 782 \text{ kNm}$$

$$r = \frac{782}{(248 + 139)} = 2,02$$

e) Kesit hasar seviyelerinin belirlenmesi

Kiriş ve kolon kesitlerinin hesaplanan etki/kapasite oranları, **Tablo 5.4**'te verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak kesit hasar bölgelerini gösteren grafiğe göre elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilecektir.

Tablolardaki V_e , kuvveti deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu, moment kapasitelerinden hesaplanacak, ancak pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine, malzeme dayanımları kullanarak hesaplanan moment kapasiteleri kullanılacaktır.

i) Kolonlar için hesap

Tablo 5.4 : Kolonlar İçin Sınır Etki/Kapasite Oranları Tablosu (r_s)

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları Tablosu (r_s)					
Sünek kolonlar			Hasar sınırı		
$N_K/(A_c f_{cm})$	Sargılama	$V_e/(b_w d f_{ctm})$	MN	GV	GÇ
$\leq 0,10$	Var	$\leq 0,65$	3	6	8
$\leq 0,10$	Var	$\geq 1,30$	2,5	5	6
$\geq 0,40$ ve $\leq 0,70$	Var	$\leq 0,65$	2	4	6
$\geq 0,40$ ve $\leq 0,70$	Var	$\geq 1,30$	1,5	2,5	3,5
$\leq 0,10$	Yok	$\leq 0,65$	2	3,5	5
$\leq 0,10$	Yok	$\geq 1,30$	1,5	2,5	3,5
$\geq 0,40$ ve $\leq 0,70$	Yok	$\leq 0,65$	1,5	2	3
$\geq 0,40$ ve $\leq 0,70$	Yok	$\geq 1,30$	1	1,5	2
$\geq 0,70$	-	-	1	1	1

i-1) 1. kat kolonları

alt uç

$$r_{MN} = 3,00 < r = 3,14 < r_{GV} = 6,00 \quad n = 0,03 \quad v = 0,63$$

kesit hasar bölgesi : Minimum Hasar Bölgesi

kesit hasar sınırı : Hemen Kullanım (MN) hasar sınırının altında.

üst uç

$$r_{MN} = 3,00 > r = 1,08 \quad n = 0,09 \quad v = 0,63$$

kesit hasar bölgesi : Minimum Hasar Bölgesi

kesit hasar sınırı : Hemen Kullanım (MN) hasar sınırının altında.

i-2) 2. kat kolonları

alt uç

kesit hasar bölgesi : Minimum Hasar Bölgesi

kesit hasar sınırı : Hemen Kullanım (MN) hasar sınırının altında.

üst uç

$$r_{MN} = 3,00 < r = 3,06 < r_{GV} = 6,00 \quad n = 0,02 \quad v = 0,57$$

kesit hasar bölgesi : Minimum Hasar Bölgesi

kesit hasar sınırı : Hemen Kullanım (MN) hasar sınırının altında.

ii) Kirişler İçin Hesap

Tablo 5.5 : Kirişler İçin Sınır Etki/Kapasite Oranları Tablosu (r_s)

Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları Tablosu (r_s)					
Sünek kirişler			Hasar sınırı		
$(\rho - \rho')/\rho_b$	Sargılama	$V_e/(b_w d f_{ctm})$	MN	GV	GÇ
$\leq 0,0$	Var	$\leq 0,65$	3	7	10
$\leq 0,0$	Var	$\geq 1,30$	2,5	5	8
$\geq 0,5$	Var	$\leq 0,65$	3	5	7
$\geq 0,5$	Var	$\geq 1,30$	2,5	4	5
$\leq 0,0$	Yok	$\leq 0,65$	2,5	4	6
$\leq 0,0$	Yok	$\geq 1,30$	2	3	5
$\geq 0,5$	Yok	$\leq 0,65$	2	3	5
$\geq 0,5$	Yok	$\geq 1,30$	1,5	2,5	4

i-1) 1. kat kirişi

Daha elverişsiz olan, deprem momentinin negatif olması durumu için hesap yapılacaktır.

$$\rho' = \frac{4 \times 201}{500 \times 800} = 2,01 \times 10^{-3}$$

Dengeli donatı oranı değeri **Denklem 5.46** ile hesaplanabilir.

$$\rho_b = \frac{\rho_{\max}}{0,85} = 0,0235 < \rho_{\max} = 0,02 \quad (5.46)$$

$$\rho = \frac{1444}{500 \times 800} = 3,61 \times 10^{-3} \quad \frac{(\rho - \rho')}{\rho_b} = \frac{(3,61 - 2,01) \cdot 10^{-3}}{23,5 \cdot 10^{-3}} = 0,068 \quad (5.47)$$

$$v = \frac{V_e}{b_w d f_{ctk}} = \frac{366 \times 10^3}{500 \times 750 \times 1,75} = 0,56 < 0,65$$

$$r = 6,17$$

Sargılama : var

$$r_{MN} = 3,00 < 4,25 < r_{GV} = 6,83$$

kesit hasar bölgesi : Belirgin Hasar Bölgesi

kesit hasar sınırı : Hemen Kullanım (MN) ile Can Güvenliği hasar sınırı (GV) arasında Can Güvenliği hasar sınırına yakın.

i-2) 2. kat kirişi

$$\frac{(\rho - \rho')}{\rho_b} = 0,068 \quad v = \frac{V_e}{b_w df_{ctk}} = \frac{346 \times 10^3}{(500 \times 750 \times 1,75)} = 0,53 < 0,65$$

$$r = 2,60$$

Sargılama : var

$$\text{hasar durumu : } r_{MN} = 3,00 > 2,60$$

kesit hasar bölgesi : Minimum Hasar Bölgesi

kesit hasar sınırı : Hemen Kullanım hasar sınırı (MN) nin altında kalmaktadır.

f) Göreli kat ötelemesi kontrolü

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki göreli kat ötelemesi her performans düzeyi için **Tablo 5.6**'yı sağlayacaktır.

Tablo 5.6 : Göreli Kat Ötelemesi Sınırları Tablosu

Görelî Kat Ötelemesi Sınırları			
Görelî kat ötelemesi oranı	Hasar Sınırı		
	Hemen kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin önlenmesi
δ_{ji} / h_{ji}	0,01	0,03	0,04

Bu tabloda $(\delta_i)_{\max}$ ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük göreli kat ötelemesini, h_i ise kat yüksekliğini göstermektedir.

$$2.\text{kat} : \frac{\delta_{i\max}^2}{h_i^2} = \frac{(22,2 - 14,12)}{3000} = 2,7 \times 10^{-3} < 0,02 \quad \checkmark \quad (5.48)$$

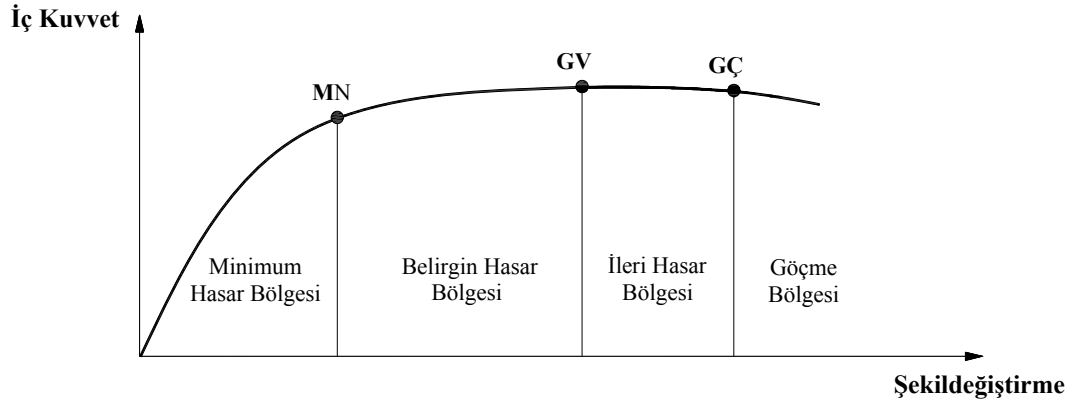
$$1.\text{kat} : \frac{\delta_{i\max}^2}{h_i^2} = \frac{(14,12)}{4000} = 3,5 \times 10^{-3} < 0,02 \quad \checkmark$$

Görelî kat ötelemeleri bakımından yapıda Can Güvenliği sınırları aşılmamaktadır.

g) Yapı performans seviyesinin belirlenmesi

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) dir. Minimum Hasar Sınırı kritik kesitte elastik ötesi sınırın başlangıcını, Güvenlik Sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, Göçme Sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.

Kritik kesiti MN'ye ulaşan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde kabul edilecektir. (Şekil 5.16)



Şekil 5.16 : Kesit Hasar Bölgeleri ve Performans Sınırları Grafiği

İç kuvvetlerin ve şekil değişimlerinin yönetmelikte tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hangi hasar seviyesinde olduklarına karar verilecektir. Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesiti belirler.

i) Kolon kesiti hasar durumları

1. kat kolonları üst uç: Minimum Hasar Bölgesi / alt uç: Belirgin Hasar Bölgesi
2. kat kolonları üst uç: Belirgin Hasar Bölgesi / alt uç: Minimum Hasar Bölgesi

ii) kiriş kesiti hasar durumları

1. kat kirişi sağ uç : Belirgin Hasar Bölgesi / sol uç: Belirgin Hasar Bölgesi
2. kat kirişi sağ uç : Minimum Hasar Bölgesi / sol uç: Minimum Hasar Bölgesi

Mevcut binaların veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans düzeyleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

h) Sonuçlar

Tek açıklıklı iki katlı basit çerçeve yapısının yapılan doğrusal analizi sonucunda,

1. 1. Kat kirişinin bir ucunda, Belirgin Hasar oluşurken diğer ucunda Minimum Hasar meydana gelmektedir. Fakat deprem kuvvetlerinin tersinir olması ve sistemin yükleme ve geometri bakımından simetrik olması nedeni ile bu kirişin diğer ucunda da Belirgin Hasar meydana geldiği, 2. Kat kirişinin ise her iki ucunda Minimum Hasar meydana geldiği,
2. 1. Kat kolonlarının alt ucunda, Belirgin Hasar meydana gelirken, Hemen Kullanım hasar sınırı aşılmadığından Minimum Hasar meydana geldiği, 2. Kat kolonlarının ise üst uçlarında Belirgin Hasar meydana geldiği, alt uçlarında ise Hemen Kullanım hasar sınırı aşılmadığı için Minimum Hasar meydana geldiği belirlenmiştir.
3. 1. ve 2. maddelere dayanarak yapının elemanlarda oluşan hasar durumları bakımından Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı,
4. Yapının görelî kat ötelemeleri bakımından Can Güvenliği öteleme sınırını aşmadığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlara dayanarak sistemin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem (En Büyük Deprem) ve düşey yüklerin ortak etkisi altında Hemen Kullanım Performans seviyesini sağlamadığı, Can Güvenliği Performans Seviyesinin sağladığı belirlenmiştir.

Tablo 5.7 : Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Seviyeleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanım Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, kışlalar vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonu, kültür merkezleri ve spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları vb.)	-	CG	-

5.1.3. Doğrusal Olmayan Yöntemle Performansın Belirlenmesi

Bölüm 5.1. ve 5.1.1'de iki boyutlu, iki katlı ve bir açıklıklı çerçeve sistemin Deprem Yönetmeliği (2007) ye göre doğrusal yöntem ile boyutlandırılması ve doğrusal yöntem ile deprem performansının belirlenmesi incelenmişti. Bu bölümde aynı sistemin Deprem Yönetmeliği (2007) ye göre doğrusal olmayan statik itme analizi ile deprem performansı belirlenecektir.

a) Malzeme özellikleri ve kabulleri

Hasar durumları belirlenecek olan taşıyıcı eleman kesitlerinin davranışları Xtract isimli bir sonlu eleman analiz programı yardımı ile belirlenmiştir. Eleman kesitleri, kesiti çevreleyen kabuk beton, kesitte çekmeye, basınca ve kesmeye çalışan donatılar ve bu donatıların çevrelediği çekirdek beton olmak üzere üç ayrı malzeme olarak modellenmiştir.

Bu modellemede kabuk beton sargısız beton olarak, çekirdek beton ise sargılı beton olarak göz önüne alınmıştır.

Program beton davranışları için Mander Modeli'ni kullanmaktadır.

Doğrusal olmayan elastik yöntemler ile performansın belirlenmesinde, başka bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton için **Şekil 5.17**'deki gerilme şekildeğiştirme bağıntıları kullanılabilir.

Sargılı beton basınç gerilmesi, f_c basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_c 'nin fonksiyonu olarak **Denklem 5.49** ile belirlenmektedir.

$$f_{cc} = \frac{f_{cc} x_r}{r - 1 + x_r^r} \quad (5.49)$$

Buradaki sargılı beton dayanımı, f_{cc} ile sargısız beton dayanımı, f_{co} arasındaki ilişki **Denklem 5.50**'de verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad \lambda_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1,254 \quad (5.50)$$

Burada, f_e etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için **Denklem 5.51**'de verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (5.51)$$

Burada, f_{yw} enine donatı akma dayanımı, r_x ve r_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacımsal oranları, k_e ise **Denklem 5.52**'de tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_o} \right) \left(1 - \frac{A_s}{2b_o h_o} \right)^{-1} \quad (5.52)$$

Burada, a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o , h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir.

Denklem 5.49'daki normalize edilmiş beton birim şekil değıştirmesi, x , ile r değışkenine ilişkin bağıntılar **Denklem 5.53** ve **5.54**'de verilmiştir.

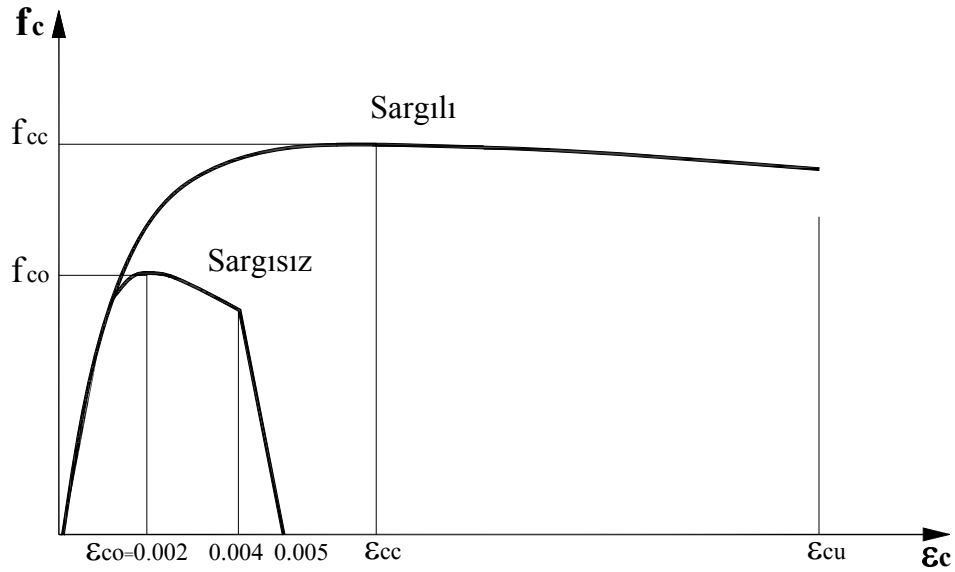
$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad \varepsilon_{co} \cong 0,002 \quad (5.53)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \quad E_{sec} \cong \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (5.54)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirme, ε_c , **Denklem 5.55**'de verilmiştir.

Burada, ρ_s , toplam enine donatı hacımsal oranını (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$), ε_{su} , enine donatı maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirme göstermektedir.

Sargılı beton için verilen **Denklem 5.49**, ε_c , 0,004'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı, $f_e = 0$ ve buna bağlı olarak **Denklem 5.50**'den $\lambda_c = 1$ olacağından, **Denklem 5.53** ve **Denklem 5.54**'te $f_{cc} = f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$ alınır. $\varepsilon_c = 0,005$ 'de $f_e = 0$ olarak tanımlanır. $0,004 < \varepsilon_c \leq 0,005$ aralığında gerilme şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır.



Şekil 5.17 : Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

Malzemelere ait sınır şekildeğiştirme değerleri ile malzeme davranışını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.

i) Beton

i-1) Sargısız beton

sargısız betonun modellenmesinde,

Beton ezilme birim kısalması : $\varepsilon_c = 0,004$

Beton dağılma birim kısalması : $\varepsilon_c = 0,005$

Maksimum gerilmeye karşılık gelen beton birim kısalması, $\epsilon_{cu}=0,002$, olarak gözönüne alınmıştır.

i-2) Sargılı beton

Kolon ve kiriş elemanlarında sargılı beton davranışını etkileyen faktörler farklı olduğundan, sargılı betonun modellenmesi sonucunda,

Kolonlarda;

Maksimum basınç birim şekil değiştirmesi : $\epsilon_{cu}= 0,02$

Sargılı beton basınç dayanımı : 36,75 MPa

Kirişlerde;

Maksimum basınç birim şekil değiştirmesi : $\epsilon_{cu}= 0,018$

Sargılı beton basınç dayanımı : 30,84 MPa

ii) Betonarme çeliği

Çeliğin modellenmesinde,

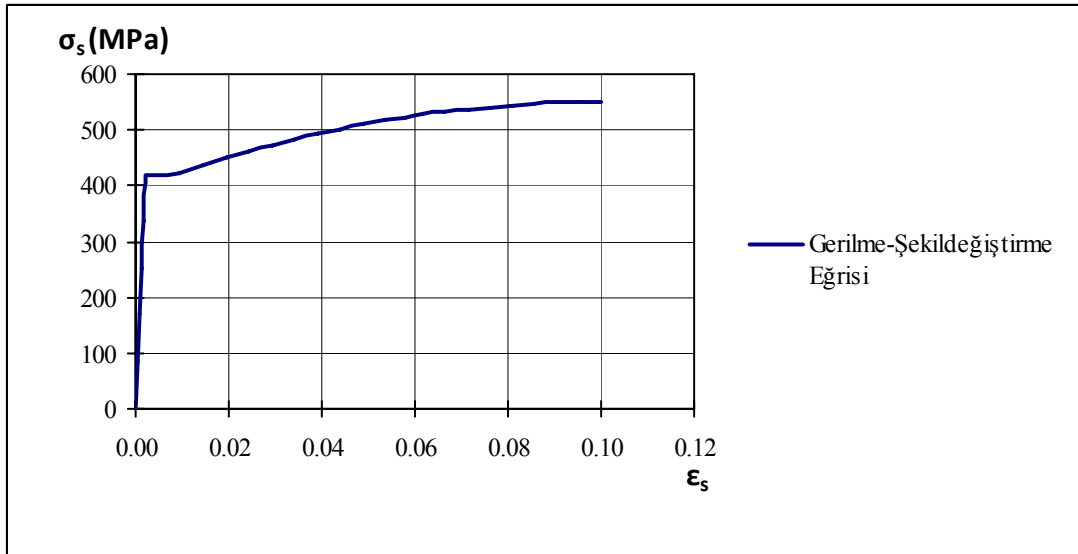
Çelik akma birim uzaması : $\epsilon_s= 0,0021$

Pekleşme başlangıcındaki çelik birim uzaması : $\epsilon_s= 0,008$

Çelik kopma birim uzaması : $\epsilon_s= 0,01$

Çelik akma dayanımı : $f_{sy}= 420$ MPa

Çelik kopma dayanımı : $f_{su}= 550$ MPa



Şekil 5.18 : Hesaba Esas Çelik Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

b) Kesitlerde moment eğrilik analizi

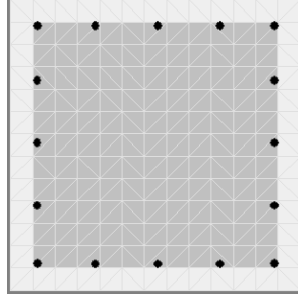
Kesit moment-eğrilik bağıntıları ve kesit akma yüzeyleri Xtract programı ile elde edilmiştir. Bu modellemelerde mevcut malzeme değerleri ve en büyük birim şekil değiştirme değerleri Minimum Hasar Sınırı (MN) için belirlenmiş değerler olarak dikkate alınmıştır.

Beton için : $f_{cm} = 25 \text{ Mpa}$ $\epsilon_c = 0,0035$

Çelik için : $f_{ym} = 420 \text{ Mpa}$ $\epsilon_s = 0,01$

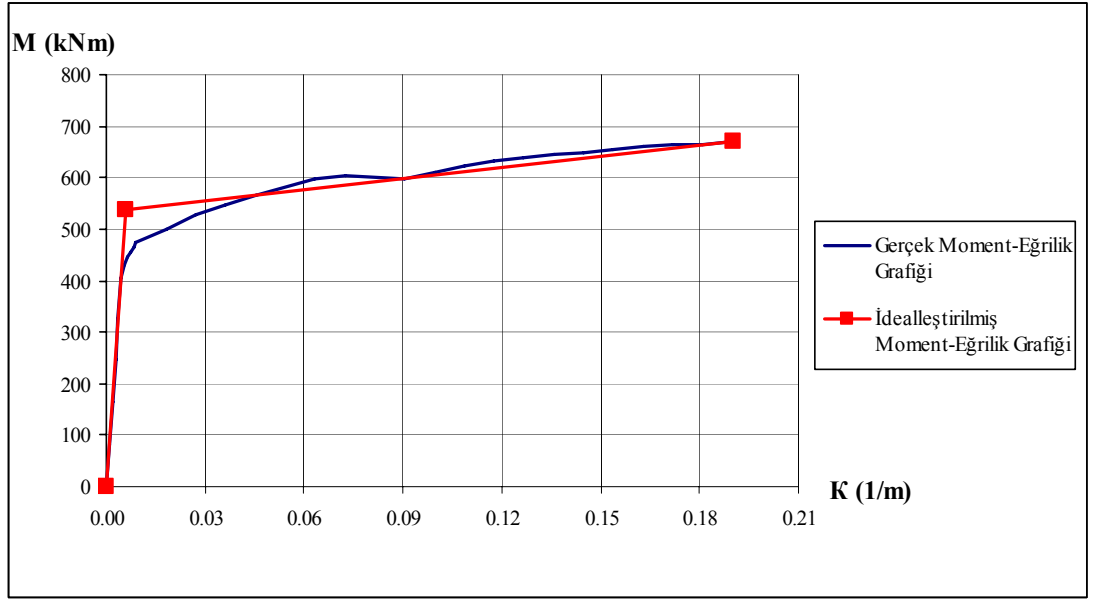
i-) Kolon kesiti için analiz

Şekil 5.19'da çerçeve sisteme ait kolon kesitinin Xtract modeline ait resim görülmektedir.



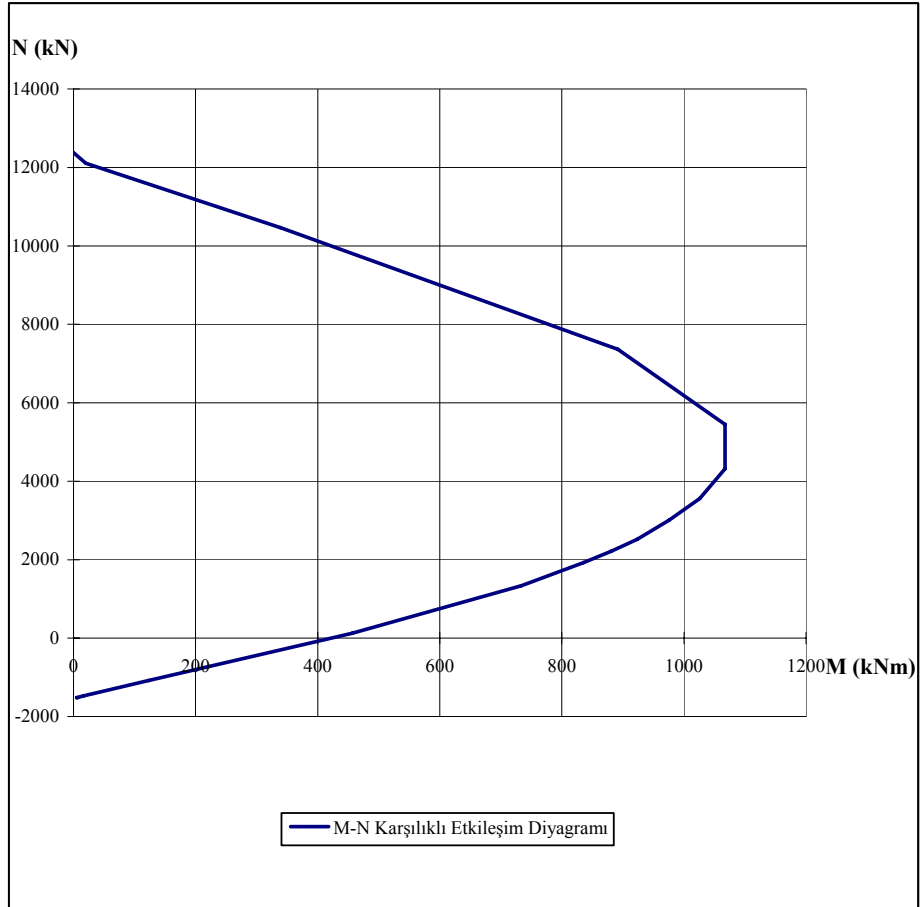
Şekil 5.19 : Xtract Kolon Modeli

Şekil 5.19'da model resmi görünen kolona ait moment-eğrilik diyagramı, **Şekil 5.20**'de verilmiştir. Gerçek moment-eğrilik diyagramı altındaki alan değişmeyecek şekilde ve kesitin akma eğriliğine karşılık gelen akma momentine sadık kalınarak iki doğrulu moment eğrilik grafiği elde edilmiştir.



Şekil 5.20 : İdealleştirilmiş Kolon Moment-Eğrilik Grafiği

Kolon kesitine ait eksenel yük-moment karşılıklı etkileşim diyagramı (kesit eğrisi yüzeyi) **Şekil 5.21**'de görülmektedir.

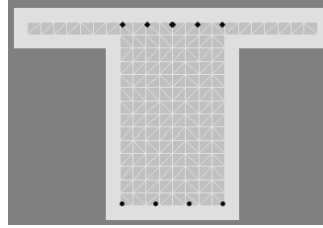


Şekil 5.21 : İdealleştirilmiş Kolon Etkileşim Diyagramı

Bu iki grafik değerlerinden faydalanılarak NHC mafsal özelliği tanımlanarak kolonlara atanmıştır. (Şekil 5.34)

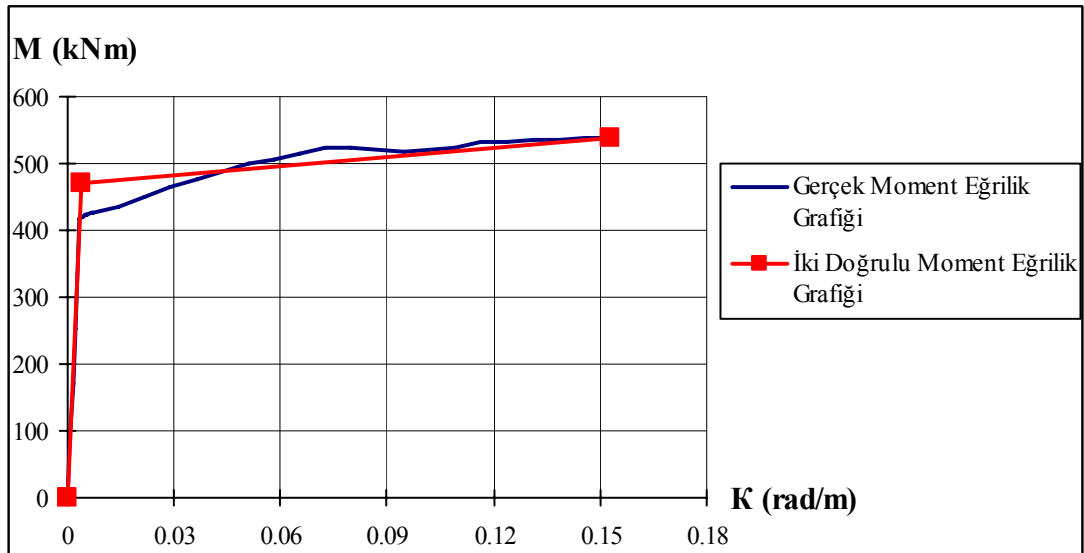
i-) Kiriş kesiti için analiz

Şekil 5.22’de çerçeve sisteme ait kiriş kesitinin Xtract modeline ait resim görünmektedir.



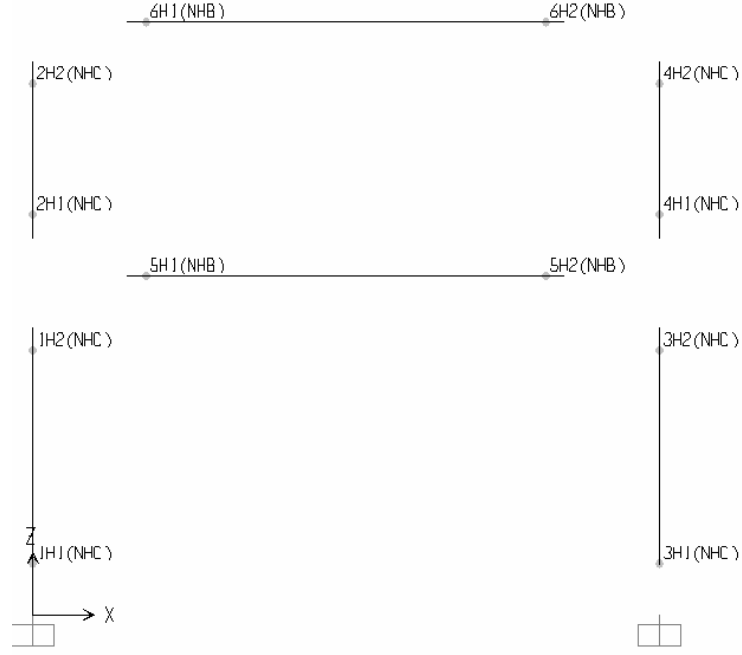
Şekil 5.22 : Xtract Kiriş Modeli

Şekil 5.22’de model resmi görülen kirişe ait moment-eğrilik diyagramı Şekil 5.23’te verilmiştir. Kolon kesitine benzer şekilde iki doğrulu kiriş moment eğrilik elde edilmiştir.



Şekil 5.23 : İdealleştirilmiş Kiriş Moment-Eğrilik Grafiği

Kiriş kesitine ait moment-eğrilik grafiği değerlerinden faydalanılarak NHB mafsal özelliği tanımlanarak kirişlere atanmıştır. (Şekil 5.24)



Şekil 5.24 : Kesitlere Atanan Plastik Mafsal Özellikleri

c) Performans Noktasının Bulunuşu

i) Çatlamış kesit rijitliklerinin belirlenmesi

Kirişlerde : $EI_c = 0,40EI$

Kolonlarda : Kolonların içinde en büyük eksenel kuvvete sahip olan alt kat kolonları için kontrol yapılacaktır, eğer $N_{D\max} / A_c f_{cm} \leq 0,10$ koşulu sağlanıyorsa eksenel kuvveti daha küçük olan diğer kolonlar için kontrol yapılmayacaktır.

$$N_{D\max} = 495 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{D\max}}{A_c f_{cm}} = \frac{495000}{650 \times 650 \times 25} = 0,05 < 0,10$$

Bu durumda bütün kolonlar için $EI_c = 0,40EI$ olarak elde edilir.

ii) Modal değerlerin elde edilmesi

Sistemin ilk iki moduna ait etkin modal kütle değerleri **Tablo 5.8**'de verilmiştir.

Tablo 5.8 : Modal Kütle Değerleri

Mod	Periyot (s)	UX (%)
1	0,3413	0,95
2	0,0945	0,05

Sistemin ilk iki moduna ait modal katılım faktörleri **Tablo 5.9**'da verilmiştir.

Tablo 5.9 : Modal Katılım Faktörleri

Mod	Periyot (s)	U _x (kNs ²)
1	0,3413	-9,81
2	0,0945	2,13

Sisteme ait birinci mod yatay değiştirmeleri **Tablo 5.10**'da verilmiştir.

Tablo 5.10 : Birinci Mod Yatay Yerdeğiştirmeleri

Kat	Mod	d (m)
1	1	-0,077
2	1	-0,120

iii) Statik itme Eğrisinin tanımlanması

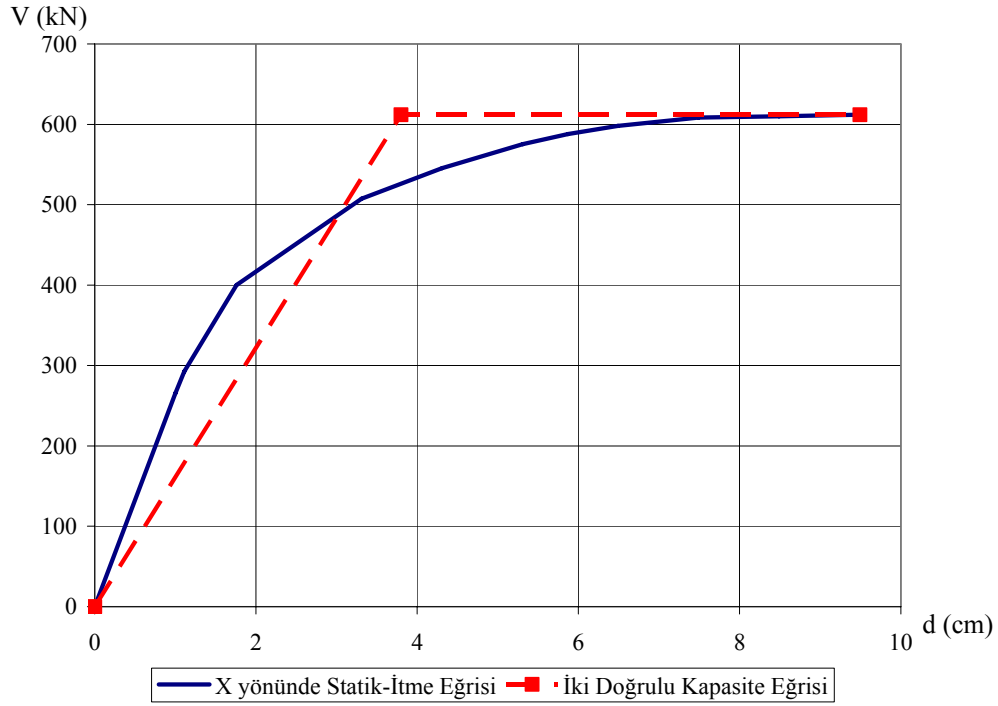
Statik itme eğrisi tanımlanırken yapının tepe yerdeğiştirmesine karşılık taban kesme kuvveti değerlerine ihtiyaç vardır. Bu değerlere karşılık gelen diyagram statik itme eğrisi olarak bilinir. Hesapları kolaylaştırmak için bu eğri iki doğrulu kapasite diyagramına dönüştürölür.

Tablo 5.11'de ilk adım için sistemde izlenen tepe noktası yerdeğiştirmesine karşılık talep edilen taban kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.11 : Tepe Noktası Yerdeğiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti Değerleri

Adım	d (cm)	V (kN)
1	0,00	0,00
2	1,00	265,40
3	1,11	292,59
4	1,76	400,15
5	3,31	507,40
6	4,31	545,47
7	5,31	575,49
8	5,87	587,96
9	6,49	598,05
10	7,49	608,27
11	8,49	610,00
12	9,49	612,00

şekil 5.25'te taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğinin altındaki alan eşit kalacak şekilde iki doğrulu statik itme grafiği tanımlanmıştır.



Şekil 5.25 : Kapasite (Statik-İtme) Eğrisi

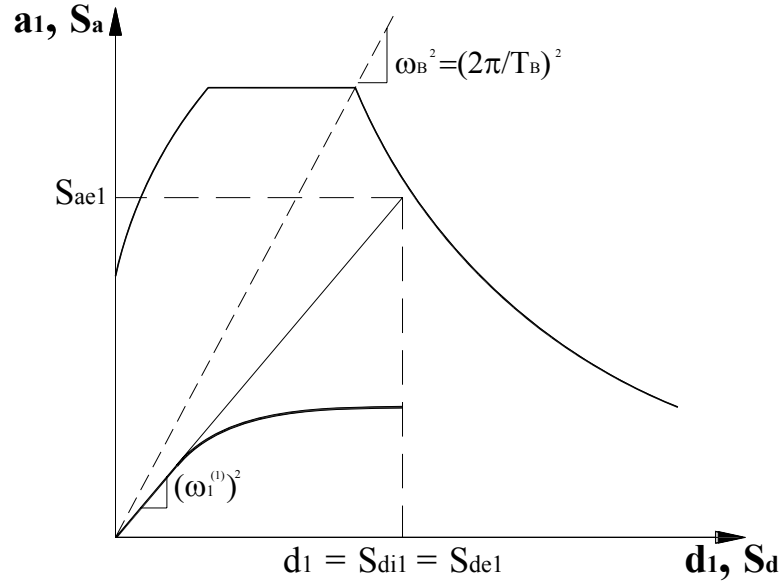
iv) Modal ivme ve modal yerdeğiştirme değerlerinin bulunuşu

Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi değerleri kullanılarak modal ivme değerlerine karşılık gelen modal yerdeğiştirme değerleri **Tablo 5.12**'de elde edilmiştir.

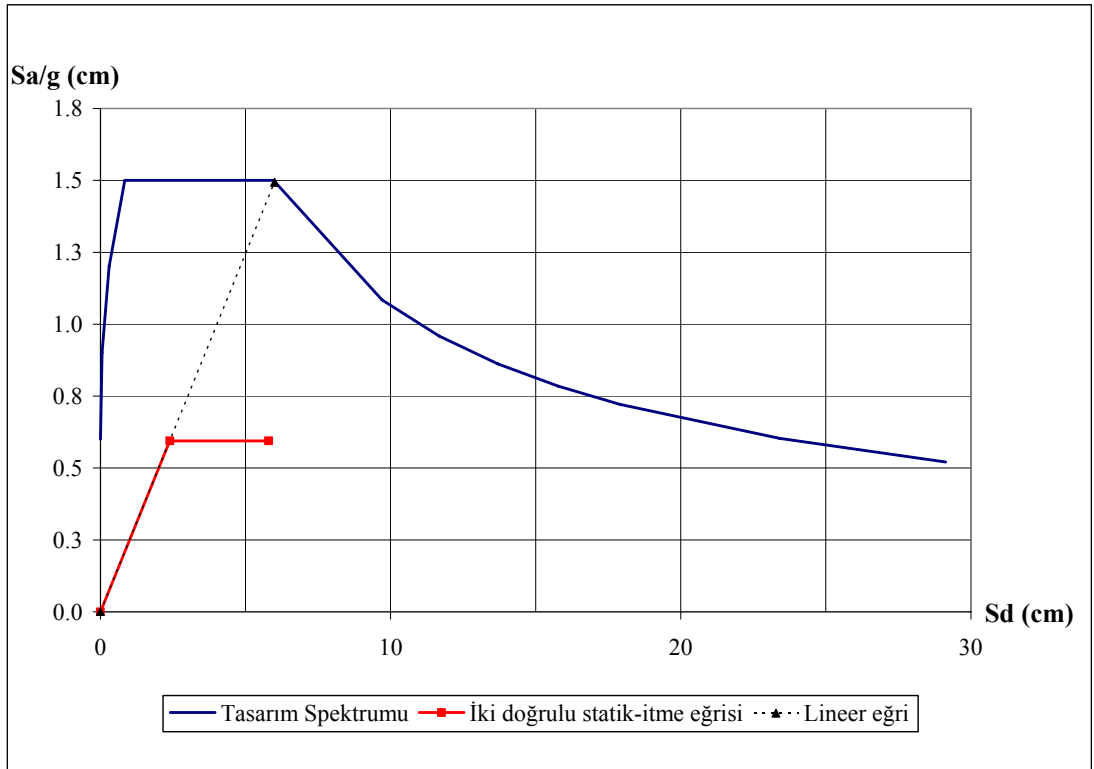
Tablo 5.12 : Modal İvme-Modal Yerdeğiştirme Değerleri

S_d (cm)	$S_a(m/s^2)$
0,00	0,00
0,35	0,31
0,70	0,42
0,94	0,54
1,29	0,60
1,50	0,62
1,84	0,63
2,19	0,65
2,54	0,68
2,82	0,70
3,17	0,72
3,47	0,74

Bu değerlerden faydalanılarak, yapının deprem karakteristiklerine bağlı düşey eksenli spektral ivme, (S_a), ve yatay eksenli spektral yerdeğiştirme, (S_d), olan talep spektrumunu grafiği, iki doğrulu statik itme eğrisi ile birlikte çizilir. İki doğrulu statik itme eğrisinin birinci doğrusunun spektrum grafiğini keştiği noktanın yatay eksen üzerindeki izdüşümü alınarak doğrusal spektral yerdeğiştirme değeri elde edilir. (şekil 5.26-5.27)



şekil 5.26 : Performans Noktasının Bulunuşu



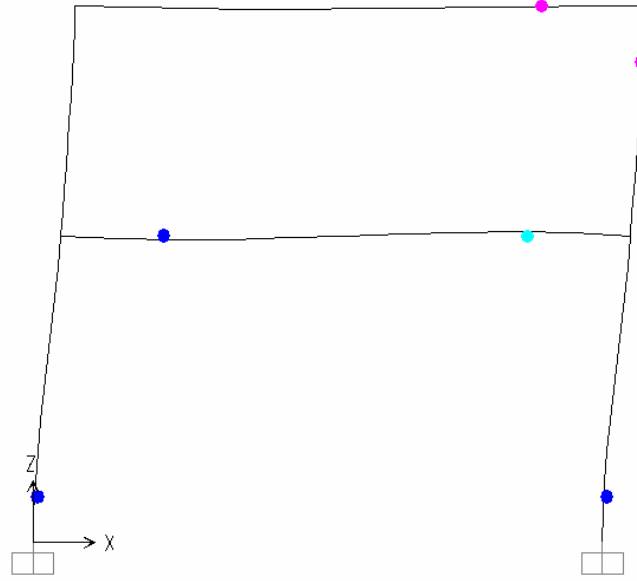
Şekil 5.27 : Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme Grafiği

Tablo 5.13 : Hesap Parametreleri ve Performans Noktası

ω (1/s)	T_e (s)
15,62	0,40
C_{R1}	
1,01	
R_{y1}	$S_{de}(T_e)$
2,444	0,043
$S_{di}(T_e)$	d (m)
0,043	0,059

d) Performans noktasında sisteme ait plastik mafsalları dağılımı

Şekil 5.28’de çerçeve sistemin performans noktasında oluşan plastik mafsalları dağılımı görülmektedir. Şekil üzerindeki mafsalları renkleri analiz programının varsayılan dönme değerlerine karşılık gelen hasar durumlarını göstermektedir. Kesit hasar durumları Deprem Yönetmeliği (2007) ye göre belirleneceği için analiz programı tarafından öngörülen hasar durumları göz ardı edilmiştir.



Şekil 5.28 : Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Dağılımı

e) Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) **Denklem 5.55a, 55b ve 55c**'de tanımlanmıştır:

(a) Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0,010 \quad (5.55a)$$

(b) Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{GV} = 0,0035 + 0,01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0,040 \quad (5.55b)$$

(c) Kesit Göçme Sınırı (GC) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{GC} = 0,0035 + 0,014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,060 \quad (5.55c)$$

Kesitlerde oluşan mafsallardaki plastik dönme değerleri analiz program ile elde edilmiştir.

Kesitlerin akma eğrilikleri ile toplam eğriliğe karşılık gelen sargılı beton ve betonarme çeliğinin birim şekil değiştirmeleri Xtract program yardımı ile bulunmuştur.

i) Kirişler için hesap

i-1) 1. kat kirişi

$$\theta_p = 0,0086 \text{ rad} \quad h = 0,8 \text{ m}$$

Plastik mafsal boyu kesit derinliğinin **Denklem 5.56** ile hesaplanabilir.

$$L_p \cong \frac{h}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ m} \quad (5.56)$$

Eğrilik , birim dönme olarak tanımlandığından, **Denklem 5.57** ile plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik değeri elde edilir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0,0086}{0,4} = 0,0215 \text{ rad / m}$$

(5.57)

$$\phi_y = 0,0041 \text{ rad / m}$$

Plastik eğrilik ile akma eğriliği doğrusal toplanarak **Denklem 5.50** ile toplam eğrilik elde edilir.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y = 0,0215 + 0,0041 = 0,0256 \text{ rad / m}$$

(5.58)

$$\varepsilon_c = 16,94 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_s = 17,10 \times 10^{-3}$$

Bulunan birim şekildeğiştirmeler yönetmelikte belirtilen beton ve çeliğe ait sınır birim değiştirmeleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumları belirlenir. (**Denklem 5.55a-55b- 55c**)

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,0035$$

$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0,01$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0,0035 + 0,01 \times \left(\frac{226}{141} \right) = 0,019 > 0,0135$$

$$(\varepsilon_s)_{GV} = 0,04$$

Sargı miktarını gözönüne alınarak hesaplanan $(\varepsilon_{cg})_{GV}$ değeri yönetmelikte verilen en büyük değeri aştığı için bu değer 0,0135 olarak kullanılacaktır.

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0,004 + 0,014 \times \left(\frac{226}{141} \right) = 0,026 > 0,018 \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,06$$

Sargı miktarını gözönüne alınarak hesaplanan $(\varepsilon_{cg})_{GC}$ değeri yönetmelikte verilen en büyük değeri aştığı için bu değer 0,018 olarak kullanılacaktır.

Sonuç olarak kesitte dönme taleplerinden meydana gelen beton ve çelik birim şekil değiştirme istemleri yönetmelik sınır değerleri ile karşılaştırıldığında,

$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0,01 < \varepsilon_c = 17,10 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{GV} = 0,04$$

$$(\varepsilon_c)_{MN} = 3,50 \times 10^{-3} < \varepsilon_c = 16,95 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{GV} = 18,00 \times 10^{-3} \text{ olduğundan,}$$

Kesit hasarının “İleri Hasar Bölgesi”nde meydana geldiği görülür.

i-2) 2. kat kirişi

$$\theta_p = 0,00020 \text{ rad} \quad h = 0,8 \text{ m} \quad Lp = 0,4 \text{ m}$$

$$\phi_p = 4,75 \times 10^{-4} \text{ rad / m} \quad \phi_y = 0,0041 \text{ rad / m} \quad \phi_t = 4,58 \times 10^{-3} \text{ rad / m}$$

$$\varepsilon_c = 3,00 \times 10^{-3} \quad \varepsilon_s = 3,04 \times 10^{-3}$$

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,0035 \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0,01$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0,0135 \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0,04$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0,018 \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,06$$

$$\varepsilon_c = 3,04 \times 10^{-3} < (\varepsilon_s)_{MN} = 0,01$$

$$\varepsilon_c = 3,00 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{MN} = 3,50 \times 10^{-3} \text{ olduğundan,}$$

Kesit hasarının “Minimum Hasar Bölgesi”nde olduğu belirlenmiştir.

ii) Kolonlar için hesap

ii-1) Alt kat kolonları

Alt kolonların üst uçlarında plastik mafsallık meydana gelmemektedir. Deprem kuvvetleri tersinir ve sistem simetrik olduğundan, sadece kritik kesit için hesap yapılacaktır.

$$\theta_p = 6,41 \times 10^{-3} \text{ rad} \quad h = 0,65 \text{ m} \quad Lp = 0,325 \text{ m}$$

$$\phi_p = 19,70 \times 10^{-3} \text{ rad / m} \quad \phi_y = 6,06 \times 10^{-3} \text{ rad / m} \quad \phi_t = 25,80 \times 10^{-3} \text{ rad / m}$$

$$\varepsilon_c = 12,72 \times 10^{-3} \quad \varepsilon_s = 12,93 \times 10^{-3}$$

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,0035 \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0,01$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0,0035 + 0,01 \times \left(\frac{452}{241} \right) = 0,022 > 0,0135 \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0,04$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0,004 + 0,014 \times \left(\frac{451}{241} \right) = 0,030 > 0,018 \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,06$$

$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0,01 < \varepsilon_c = 12,93 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{GV} = 0,04$$

$$(\varepsilon_c)_{MN} = 3,50 \times 10^{-3} < \varepsilon_c = 12,72 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{GV} = 18,00 \times 10^{-3} \text{ olduğundan,}$$

Kesit hasarının “Belirgin Hasar Bölgesi”nde oluştuğu belirlenmiştir.

ii-2) Üst kat kolonlar

Üst kolonların alt uçlarında plastik mafsallık meydana gelmemektedir.

$$\theta_p = 3,35 \times 10^{-3} \text{ rad} \quad h = 0,65 \text{ m} \quad L_p = 0,325 \text{ m}$$

$$\phi_p = 10 \times 10^{-3} \text{ rad / m} \quad \phi_y = 6,06 \times 10^{-3} \text{ rad / m} \quad \phi_t = 16,40 \times 10^{-3} \text{ rad / m}$$

$$\varepsilon_c = 7,86 \times 10^{-3} \quad \varepsilon_s = 7,97 \times 10^{-3}$$

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,0035 \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0,01$$

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0,0035 + 0,01 \times \left(\frac{452}{204} \right) = 0,026 > 0,0135 \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0,04$$

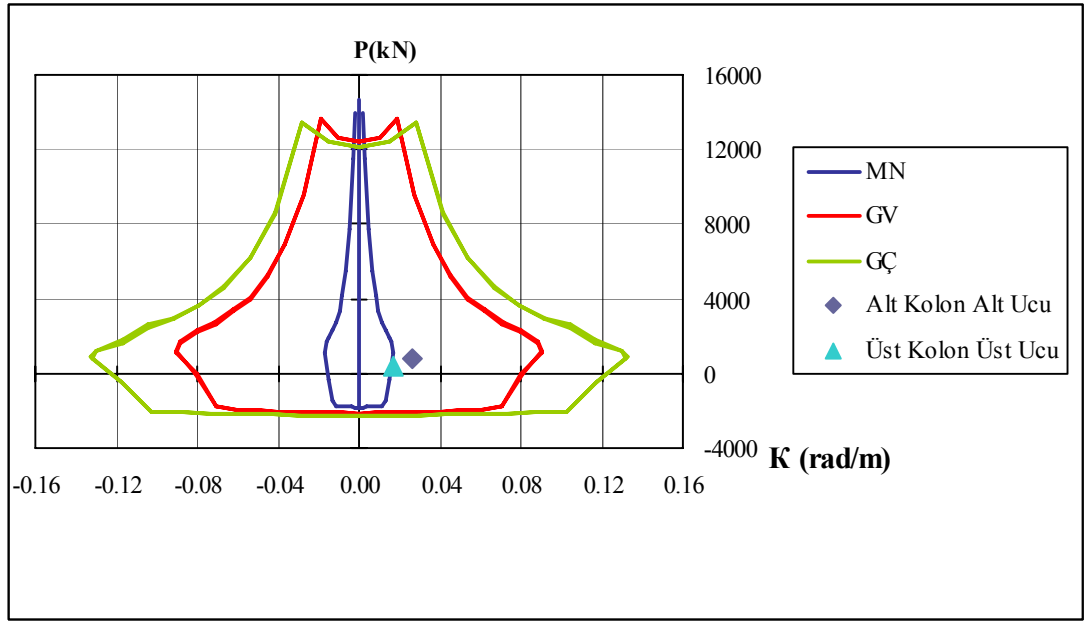
$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0,004 + 0,014 \times \left(\frac{451}{204} \right) = 0,035 > 0,018 \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,06$$

$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0,01 < \varepsilon_c = 7,97 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{GV} = 0,04$$

$$(\varepsilon_c)_{MN} = 3,50 \times 10^{-3} < \varepsilon_c = 7,86 \times 10^{-3} < (\varepsilon_c)_{GV} = 18,00 \times 10^{-3} \text{ olduğundan,}$$

Kesit hasarının “Belirgin Hasar Bölgesi”nde meydana geldiği görülür.

Kolonlarda meydana gelen kesit hasarları, eksenel yük-eğrilik grafiği kullanılarak pratik bir yolla da bulunabilir. (Şekil 5.29)



Şekil 5.29 : Kolon Kesiti İçin Eksenel Yük-Eğrilik Grafiği

Şekil 5.29'daki grafikte, her bir hasar sınırına ait eksenel yük-eğrilik eğrileri görülmektedir. Kolonlarda meydana gelen toplam dönme ve bu dönmelere karşılık gelen eksenel kuvvet değerleri kullanılarak kolon kesitlerinin hangi hasar sınırları arasında kaldığı grafik üzerinden kolaylıkla belirlenebilir.

Bu grafik için alt kolonların alt ucunda ve üst kolonların üst ucunda belirgin hasarın meydana geldiği görülmektedir.

f) Sonuçlar

Tek açıklıklı iki katlı düzlem çerçeve sistem için yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda

1. 1. Kat kirişinin bir ucunda Belirgin Hasar meydana gelmektedir. Fakat deprem kuvvetlerinin tersinir olması ve sistemin yükleme ve geometri bakımından simetrik olması nedeni ile bu kirişin diğer ucunda da Belirgin Hasar meydana geldiği, 2. Kat kirişinin ise her iki ucunda Minimum Hasar meydana geldiği,
2. 1. Kat kolonlarının alt ve üst kat kolonlarının üst ucunda Belirgin Hasar meydana geldiği
3. 1. ve 2. maddelere dayanarak yapının, elemanlarda oluşan hasar durumları bakımından Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlara dayanarak sistemin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem (En Büyük Deprem) etkileri ve düşey yüklerin ortak etkisi altında Hemen Kullanım performans seviyesini sağlamadığı, Can Güvenliği performans seviyesinin sağladığı belirlenmiştir.

5.1.4. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemle Performans Değerlendirmesine Ait Sonuçların Karşılaştırılması

1. Her iki yöntemle yapılan performans değerlendirmesi sonucunda birbirine benzer şekilde,
 1. kat kolonlarının alt ucunda belirgin hasar, üst ucunda ise minimum hasarın meydana geldiği,
 2. kat kolonlarının alt ucunda minimum hasar, üst ucunda ise belirgin hasarın meydana geldiği,
 1. kat kirişinin her iki ucunda belirgin hasarın meydana geldiği,
 2. kat kirişinin her iki ucunda minimum hasarın meydana geldiği,Görelî kat ötelemeleri bakımından sistemin Hemen Kullanım performans sınırını aşmadığı belirlenmiştir.
2. Doğrusal yöntem ile Tasarım Depremi etkileri altında, Can Güvenliği performans seviyesini öngören yönetmelik şartlarına göre tasarlanan yapının, yönetmeliğin mevcut yapıların performanslarının belirlenmesi için verilen, yapının kullanım amacı ile uyumlu en büyük deprem için arzulanan Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.
3. Bu sonuçlara dayanarak, iki katlı ve tek açıklıklı çerçeve sistem için, yönetmelikte belirtilen her iki değerlendirme yönteminin kabullerindeki farklılıklara rağmen benzer sonuçlar verdiği,

Yönetmeliğin, yapı elemanlarının boyutlandırılması ile ilgili şartların, mevcut yapıların değerlendirilmesi kısmında **Tablo 5.7**'de öngörülen performans seviyesini yerine getirdiği görülmüştür.

5.2. Uzay Çerçeve Sistem Modeli

Bu bölümde, doğrusal yöntem ile tasarlanmış bir betonarme binanın mevcut durumunun deprem etkileri altında doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının ve performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan incelemeler bulunmaktadır.

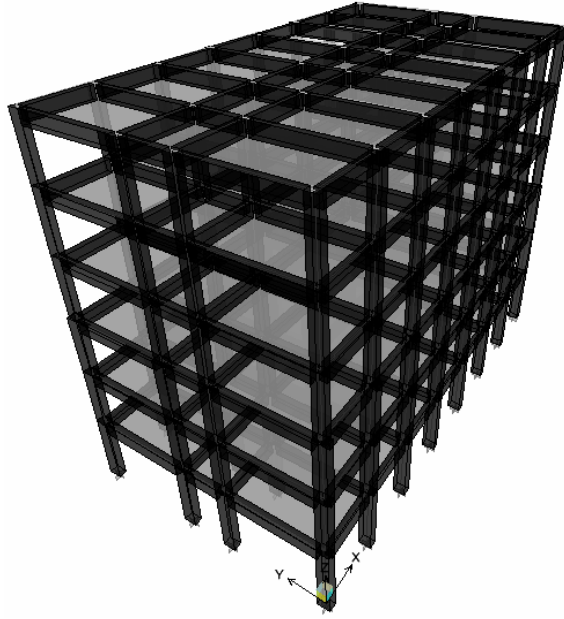
Daha önce düzlem çerçeve sistem üzerinde gerçekleştirilen sayısal incelemeler bu kez, mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen altı katlı bir uzay çerçeve sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deprem Yönetmeliği (2007) de öngörülen deprem etkileri esas alınarak boyutlandırılan sistemin yine aynı yönetmelikte tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansları bulunmuş ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde, incelenen taşıyıcı sistem modeli tanıtılmakta, boyutlandırma ve performans değerlendirmesi aşamalarında elde edilen sayısal sonuçlar verilerek tartışılmaktadır.

5.2.1. Doğrusal Yöntem İle Boyutlandırma

a) Sistem geometrisi ve karakteristikleri

Kat Adedi	: 6
Kolon boyutları	: 1, 2, 3. katlar için $40 \times 60 \text{ cm}$ 4, 5, 6. katlar için $30 \times 50 \text{ cm}$
Kiriş boyutları	: $30/60 \text{ cm}$
Döşeme kalınlığı	: 15 cm (betonarme plak döşeme)
Duvar kalınlığı	: İç duvarlar (9 cm) Dış duvarlar (19 cm)
Kat yükseklikleri	: 1.kat yüksekliği $3,50 \text{ m}$ 2, 3, 4, 5 ve 6. kat yükseklikleri $3,00 \text{ m}$
Çerçeve açıklığı	: X-doğrultusunda $3,20 \text{ m}$, tipik 7 açıklık Y-doğrultusunda $4,95 - 2,30 - 4,95 \text{ m}$,

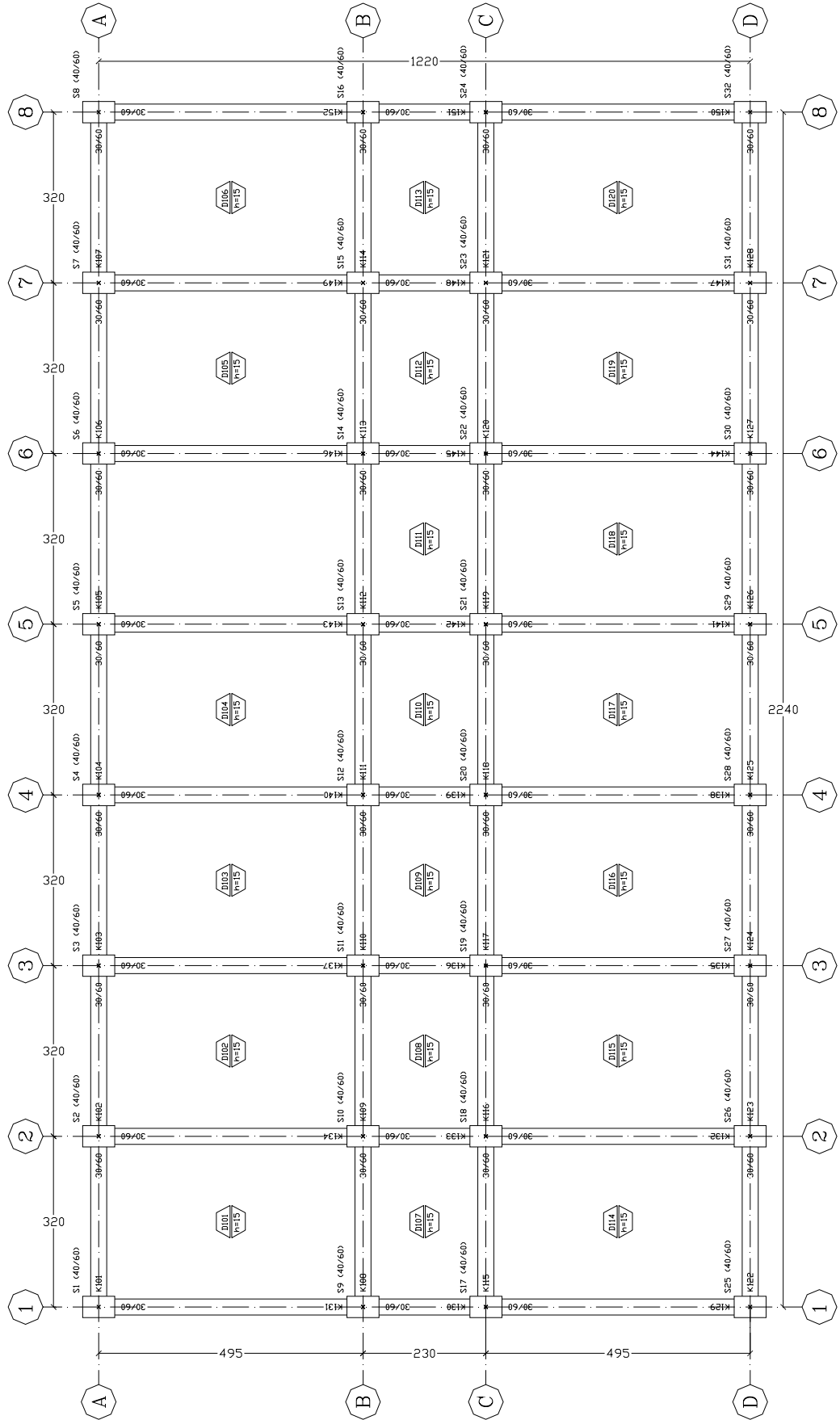


Şekil 5.30 : 3 Boyutlu Pro-Bina Modeli

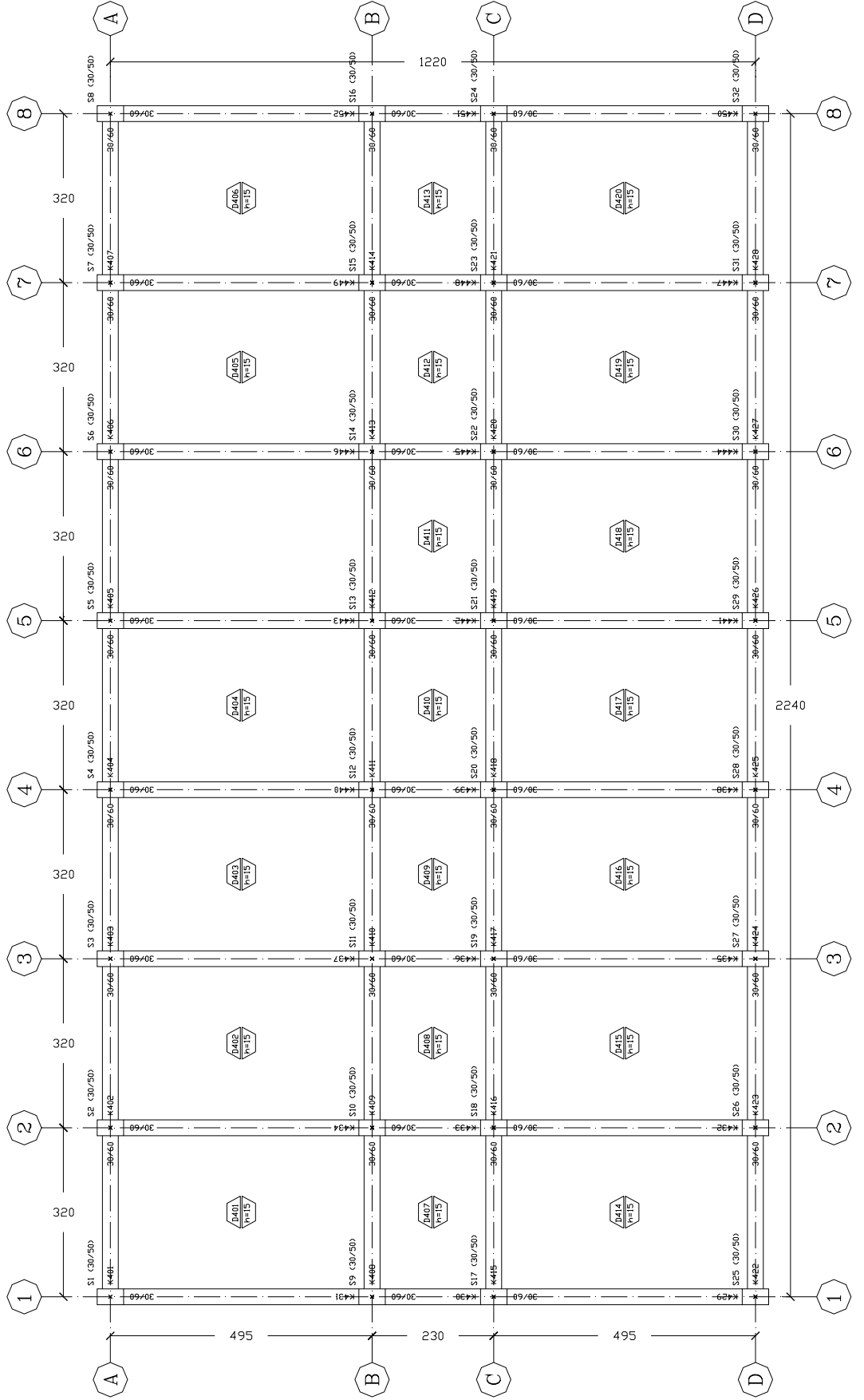
Şekil 5.30’da, hesaplara esas üç boyutlu taşıyıcı sisteme ait sonlu eleman analiz programı modeli görülmektedir.

Şekil 5.31’de, 1, 2 ve 3. normal katlara ait tipik kat kalıp planları yer almaktadır.

Şekil 5.32’de, 4, 5 ve 6. normal katlara ait tipik kat kalıp planları yer almaktadır.



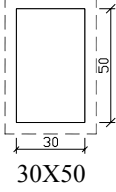
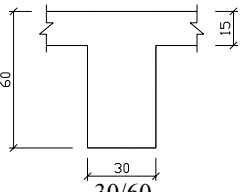
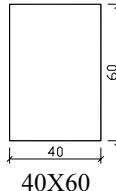
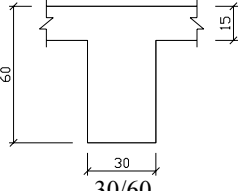
Şekil 5.31 : 1, 2 ve 3. Katlara Ait Tipik Kalıp Planı



Şekil 5.32 : 4, 5 ve 6. Katlara Ait Tipik Kalıp Planı

i) Eleman kesitleri ve malzeme karakteristikleri

Tasarıma esas kolon ve kiriş ön boyutları aşağıda görüldüğü gibidir.

TİPİK KOLON ve KİRİŞ ÖN BOYUTLARI		
6. KAT ▽	 30X50	 30/60
5. KAT ▽		
4. KAT ▽		
3. KAT ▽	 40X60	 30/60
2. KAT ▽		
1. KAT ▽		

Şekil 5.33 : Taşıyıcı Eleman Önboyutları

Beton karakteristikleri

beton sınıfı	: C20
malzeme emniyet katsayısı	: $\gamma_c = 1,5$
karakteristik basınç dayanımı	: $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
direk çekme dayanımı	: $f_{ctk} = 0,35\sqrt{20} = 1,57 \text{ MPa}$
elastisite modülü	: $E_c = 3250\sqrt{20} + 14000 = 28535 \text{ MPa}$

Betonarme çeliğinin karakteristikleri

çelik sınıfı	: S420
malzeme emniyet katsayısı	: $\gamma_s = 1,15$
karakteristik çekme dayanımı	: $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$
elastisite modülü	: $E_s = 2,00 \times 10^5 \text{ MPa}$

ii) Depremsellik karakteristikleri

deprem yükü azaltma katsayısı	: $R_a = 8$ (yüksek süneklikli çerçeve sistem)
etkin yer ivmesi katsayısı	: $A_0 = 0,40$ (I. derece deprem bölgesi)

bina önem katsayısı	: I=1,0	(bina, ofis vb.)
zemin sınıfı	: Z2	
spektrum karakteristik periyotları	: $T_A=0,15s$	$T_B=0,40 s$
hareketli yük katılım katsayısı (n)	: 0,30	(bina, ofis vb.)

b) Ön boyut kontrolleri

Bütün taşıyıcı eleman ön boyut kontrolleri, deprem yönetmeliği ve TS-500 kural ve ilkelerine göre hazır bir analiz programı yardımıyla yapılmıştır. Bunun sonucu olarak döşeme, kiriş ve kolon elemanlarının ön boyutlarının yönetmeliklerde istenilen şartları yerine getirdiği belirlenmiştir.

c) Yük analizi

i) Sabit yükler

Plak zati ağırlığı	(d=15 cm)	: $0,15 \times 25 = 3,75 \text{ kN} / \text{m}^2$
Sıva	(d=2 cm)	: $0,02 \times 18 = 0,36 \text{ kN} / \text{m}^2$
Şap	(d=5 cm)	: $0,05 \times 16 = 0,80 \text{ kN} / \text{m}^2$
Kaplama (karo mozaik)	:	0,22 kN / m^2
Asma tavan+tesisat	:	0,50 kN / m^2

Sabit yükler	: ofis katlarında	$g = 5,63 \text{ kN/m}^2$
	çatı katında	$g = 5,13 \text{ kN/m}^2$
Duvar yükleri	: dış duvarlar	$g = 8,00 \text{ kN/m}$
	iç duvarlar	$g = 4,00 \text{ kN/m}$

ii) Hareketli yükler

	ofis katlarında	$q = 2,0 \text{ kN/m}^2$
	çatı katında	$q = 1,5 \text{ kN/m}^2$
	merdivenlerde	$q = 3,5 \text{ kN/m}^2$
Kar yükü	: çatı katında	$q_s = 0,75 \text{ kN/m}^2$

d) Taşıyıcı eleman kesitlerinin donatılması ve yönetmelik kontrolleri

Ön boyutları belirlenen yapının sistem geometrisi, malzeme ve deprem karakteristiklerine uygun olarak düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yapıda,

- ✦ Kesit boyut kontrolleri,
- ✦ Plan ve düşey düzensizlik kontrolleri,
- ✦ Eleman eğilme ve kesme güvenliği kontrolleri,
- ✦ Yerdeğiştirme kontrolleri,
- ✦ Düğüm noktası kontrolleri,
- ✦ Kuvvetli kolon kontrolleri,

gibi yönetmelik kontrolleri bakımından herhangi bir elverişsiz durumun bulunmadığı ve yapının eşdeğer deprem yükü yöntemi ile boyutlandırılmaya, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntem ile değerlendirmeye de uygun olduğu belirlenmiştir.

e) Kolonlara ve kirişlere ait donatı detayları

i) seçilen donatı çapı ve alanları

1, 2 ve 3. katlar için seçilen kesit donatıları aşağıda verildiği gibidir.

Kiriş mesnet üst donatısı	: 3 Φ 14 + 2 Φ 14	($A_s = 770 \text{ mm}^2$)
Kiriş mesnet alt donatısı	: 3 Φ 14	($A_s = 462 \text{ mm}^2$)
Kiriş etriye donatısı	: Φ 10/100-200 mm	($A_{sw} = 157 \text{ mm}^2$)
Gövde donatısı	: 2 Φ 12	($A_{sg} = 226 \text{ mm}^2$)
Kolon boyuna donatısı	: 14 Φ 16	($A_s = 2814 \text{ mm}^2$)
Kolon etriye donatısı	: 2 Φ 10/100-200 mm	($A_{sw}=314 \text{ mm}^2$)

4,5 ve 6. katlar için seçilen kesit donatıları aşağıda verildiği gibidir.

Kiriş mesnet üst donatısı	: 3 Φ 14 + 1 Φ 14	($A_s = 616 \text{ mm}^2$)
Kiriş mesnet alt donatısı	: 3 Φ 14	($A_s = 462 \text{ mm}^2$)
Kiriş etriye donatısı	: Φ 10/100-200 mm	($A_{sw} = 157 \text{ mm}^2$)
Gövde donatısı	: 2 Φ 12	($A_{sg} = 226 \text{ mm}^2$)
Kolon boyuna donatısı	: 10 Φ 16	($A_s = 2814 \text{ mm}^2$)
Kolon etriye donatısı	: 2 Φ 10-1 Φ 10 + 1 Φ 10 (çiroz) /100-200 mm	($A_{sw}=314-236 \text{ mm}^2$)

Tasarım sonrası elde edilen taşıyıcı eleman kesit ve donatı bilgileri **Tablo 5.14** ve **5.15**'de verilmektedir.

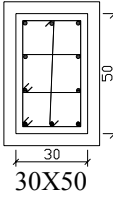
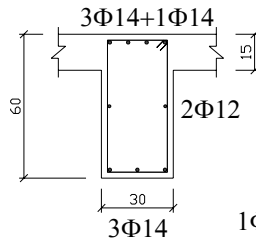
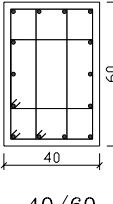
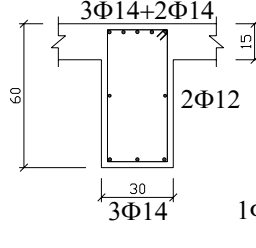
Tablo 5.14 : Kiriş Donatı Tablosu

Kirişler İçin Kesit ve Donatı Tablosu					
Kat Bilgisi	Eleman Kesiti		Mesnet Donatısı		
			Boyuna Donatı		Enine Donatı
	b (cm)	h (cm)	Üst Donatı	Alt Donatı	
1.NK	30	60	3 Φ 14+2 Φ 14	3 Φ 14	Φ 10/10-20
2.NK	30	60	3 Φ 14+2 Φ 14	3 Φ 14	Φ 10/10-20
3.NK	30	60	3 Φ 14+2 Φ 14	3 Φ 14	Φ 10/10-20
4.NK	30	60	3 Φ 14+1 Φ 14	3 Φ 14	Φ 10/10-20
5.NK	30	60	3 Φ 14+1 Φ 14	3 Φ 14	Φ 10/10-20
6.NK	30	60	3 Φ 14+1 Φ 14	3 Φ 14	Φ 10/10-20

Tablo 5.15 : Kolon Donatı Tablosu

Kolonlar İçin Kesit ve Donatı Tablosu					
Kat Bilgisi	Eleman Kesiti		Donatı		
			Boyuna Donatı	Enine Donatı (x-doğrultusu)	Enine Donatı (y-doğrultusu)
	b _x (cm)	b _y (cm)			
1.NK	40	60	14 Φ 16	2 Φ 10/10-20	2 Φ 10/10-20
2.NK	40	60	14 Φ 16	2 Φ 10/10-20	2 Φ 10/10-20
3.NK	40	60	14 Φ 16	2 Φ 10/10-20	2 Φ 10/10-20
4.NK	30	50	10 Φ 16	2 Φ 10/10-20	1 Φ 10+1 Φ 10 (çiroz)/10-20
5.NK	30	50	10 Φ 16	2 Φ 10/10-20	1 Φ 10+1 Φ 10 (çiroz)/10-20
6.NK	30	50	10 Φ 16	2 Φ 10/10-20	1 Φ 10+1 Φ 10 (çiroz)/10-20

Tasarım için yapılan analizler sonucunda elde edilen kiriş ve kolon donatı çizimleri **Şekil 5.34**'te gösterilmiştir.

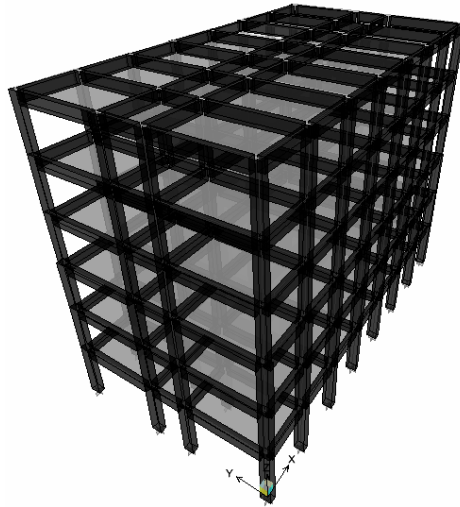
TİPİK KOLON ve KİRİŞ DONATI DETAYLARI		
6. KAT ▽	 30X50	 3Φ14 1Φ10/20-10
5. KAT ▽		
4. KAT ▽		
3. KAT ▽	 40/60	 3Φ14 1Φ10/20-10
2. KAT ▽		
1. KAT ▽		
	Etriye :4Φ10/20-10 3Φ10/20-10	
	Etriye :4Φ10/20-10	

Şekil 5.34 : Taşıyıcı Eleman Donatı Çizimleri

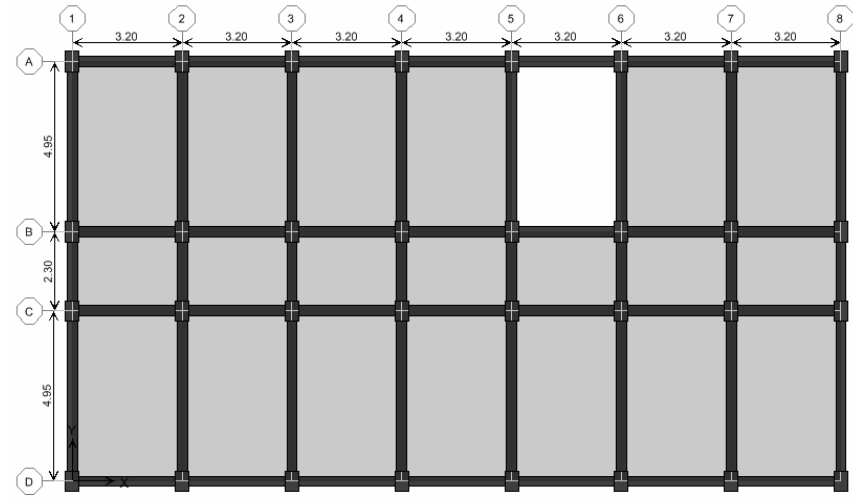
5.2.2. Doğrusal Yöntemle Performansının Belirlenmesi

a) Bina analiz modeline ait görünüşler

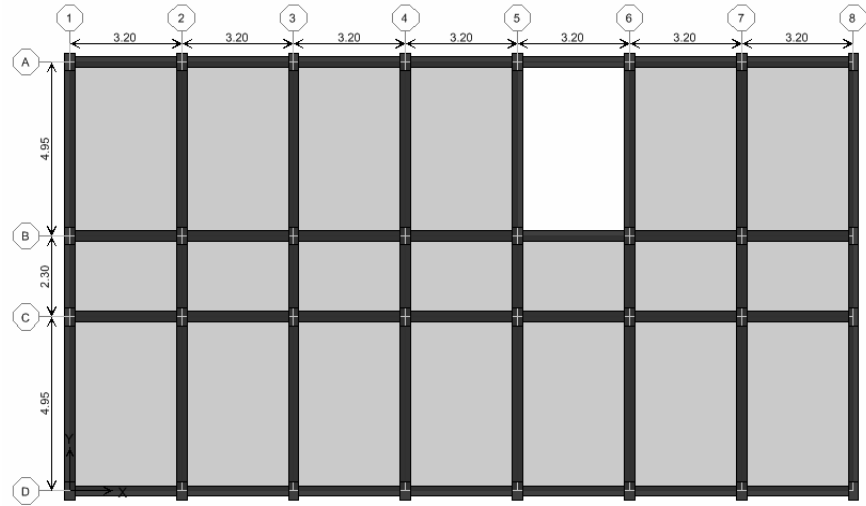
Bu bölümde, doğrusal yöntemle tasarımı yapılmış olan altı katlı uzay çerçeve sistemin deprem performansının, Tasarım Depremi etkileri altında, doğrusal yöntem ile belirlenerek elde edilen sonuçların irdelenmesi yer almaktadır.



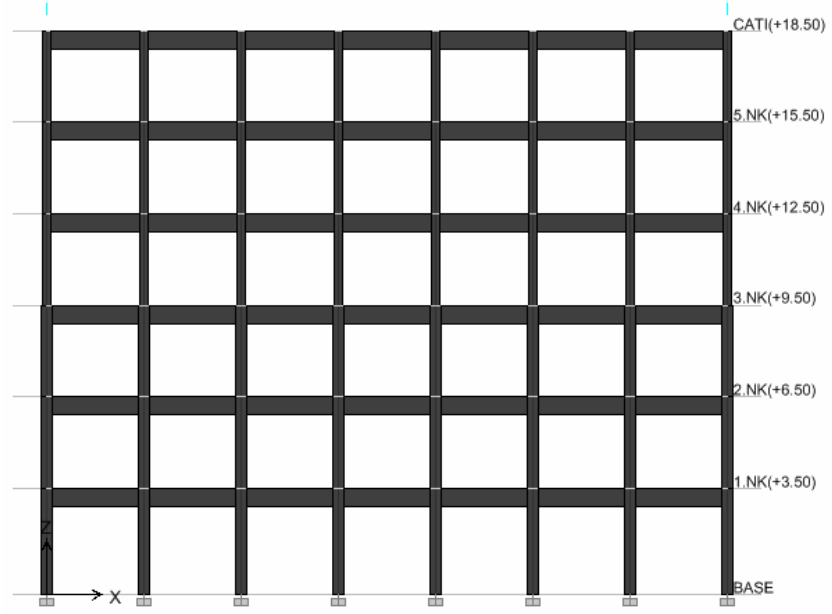
Şekil 5.35 : 3 Boyutlu Etabs Modeli



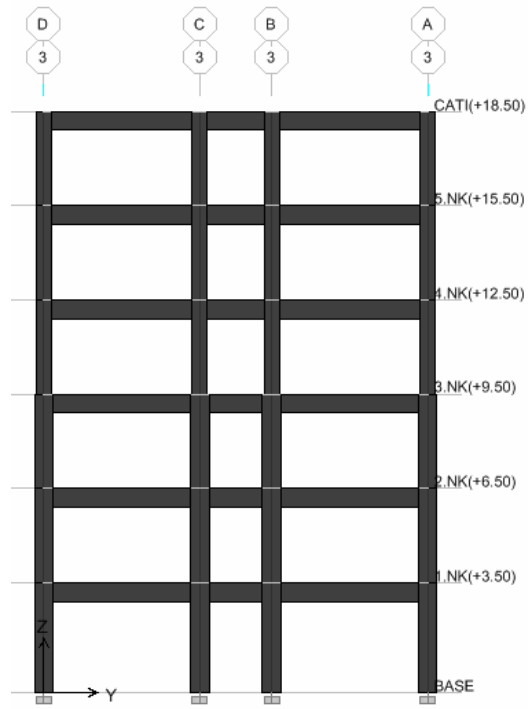
Şekil 5.36 : 1, 2 ve 3. Katlara Ait Tipik Model Planı



Şekil 5.37 : 4, 5 ve 6. Katlara Ait Tipik Model Planı



Şekil 5.38 : X-Doğrultusu Tipik Eksen Görünüşü



Şekil 5.39 : Y-Doğrultusu İçin Tipik Eksen Görünüşü

b) Çatlamış kesit rijitliklerinin hesaplanması

Kolon ve kiriş kesitlerinin deprem etkileri altında çatladıkları düşünülmektedir. Bu yüzden yönetmelikte çatlamış kesit rijitliklerinin hesabı için aşağıdaki formüller verilmiştir.

Kirişlerde : $0,40 EI_0$

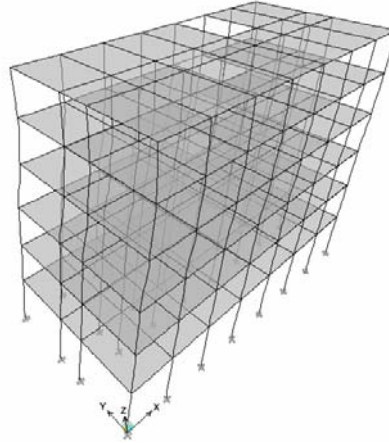
Kolon ve perdelerde : $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0,10$ olması durumunda: $0,40 EI_0$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0,40$ olması durumunda: $0,80 EI_0$

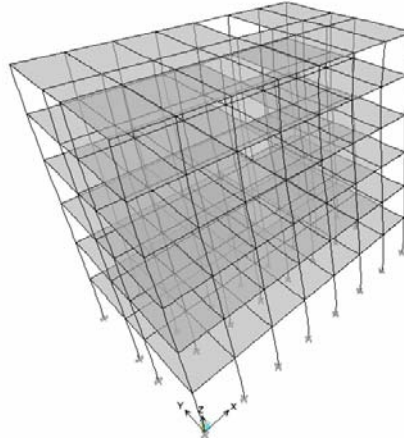
Eksenel yük oranının ara değerleri için doğrusal iterasyon yapılmıştır.

c) Bina titreşim periyotlarının bulunması

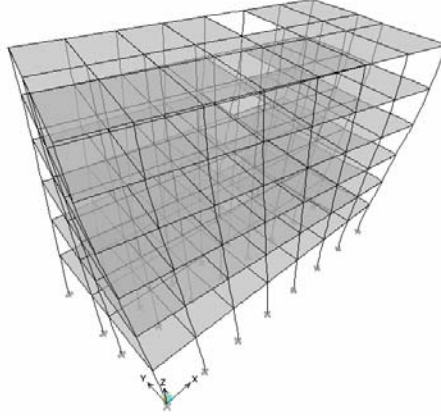
Çatlamış kesit rijitliklerine sahip bina taşıyıcı sistem modeline ait mod şekilleri ve bu modlara karşılık gelen yapı periyotları ile kütle katılım oranları Şekil 5.40, 5.41 ve 5.42’de verilmiştir.



Şekil 5.40 : 1. Mod Şekli ($T_x=0,990$ s., $m_x=\% 80,55$)



Şekil 5.41 : 2. Mod Şekli ($T_y=0,842$ s., $m_y=\% 80,36$)



Şekil 5.42 : 3. Mod Şekli ($T_b=0,803$ s.)

Analiz programı yardımı ile elde edilen bina periyotları birinci titreşim modunun hesabı için yönetmelikte verilen Ragleigh Oranı kullanılarak kontrol edilmiştir. Periyotların bulunması için yapılan hesap adımları **Tablo 5.16** ve **5.17**'de verilmektedir.

Periyot hesabında birim yükleme değeri olarak 100 kN alınmıştır.

Tablo 5.16 : X- Doğrultusu Bina Periyot Hesabı

X Doğrultusu İçin Periyot Hesabı							
Kat	Kütle(kNs^2/m)	$W_i h_i$	F_{fi} (kN)	d_{fi} (m)	$midf_i^2$	$F_{fi}d_{fi}$	T_X (s)
6.NK	247	44879	20.14	1.90E-03	8.93E-04	3.83E-02	0.9925
5.NK	376	57135	25.64	1.80E-03	1.22E-03	4.61E-02	
4.NK	376	46076	20.67	1.40E-03	7.36E-04	2.89E-02	
3.NK	384	35822	16.07	1.00E-03	3.84E-04	1.61E-02	
2.NK	395	25212	11.31	7.00E-04	1.94E-04	7.92E-03	
1.NK	400	13744	6.17	4.00E-04	6.40E-05	2.47E-03	
TOPLAM	2179	222868	100.00		3.49E-03	1.40E-01	

Tablo 5.17 : Y- Doğrultusu Bina Periyot Hesabı

Y Doğrultusun İçin Periyot Hesabı							
Kat	Kütle(kNs^2/m)	$W_i h_i$	F_{fi} (kN)	d_{fi} (m)	$midf_i^2$	$F_{fi}d_{fi}$	T_Y (s)
6.NK	247	44879	20.14	1.40E-03	4.85E-04	2.82E-02	0.8479
5.NK	376	57135	25.64	1.30E-03	6.35E-04	3.33E-02	
4.NK	376	46076	20.67	1.00E-03	3.76E-04	2.07E-02	
3.NK	384	35822	16.07	8.00E-04	2.46E-04	1.29E-02	
2.NK	395	25212	11.31	5.00E-04	9.88E-05	5.66E-03	
1.NK	400	13744	6.17	2.00E-04	1.60E-05	1.23E-03	
TOPLAM	2179	222868	100.00		1.86E-03	1.02E-01	

Tablo 5.16 ve **5.17**'de, hesaplanan yapı periyotları ile program tarafından hesaplanan periyotları birbirine yeterli derecede yakın bulunmuştur. Elde edilen periyot değerleri ileri ki hesap adımlarında kullanılacaktır.

d) Eşdeğer kat kesme kuvvetlerinin hesabı

Elde edilen yapı periyotları kullanılarak, daha önce belirlenmiş kat kütleleri ile uyumlu eşdeğer taban kesme kuvvetleri ve kat kesme kuvvetlerinin hesabı yapılmıştır.

Tablo 5.18 ve **5.19**'da, deprem kuvvetlerinin hesabı ile ilgili adımlar gösterilmektedir.

Tablo 5.18 : Eşdeğer Taban Kesme Kuvveti Hesabı

Eşdeğer Taban Kesme Kuvveti Hesabı										
Doğrultu	W (kN)	T (s)	A ₀	I	S(T)	R _a	A(T)	λ	V _t (kN)	ΔF _N (kN)
X	21374	0.99	0.4	1.0	1.21	1.0	0.48	0.85	8781	395
Y	21374	0.84	0.4	1.0	1.37	1.0	0.55	0.85	9961	448

Tablo 5.19 : Eşdeğer Kat Kesme Kuvveti Hesabı

Kat Kesme Kuvvetlerinin Hesabı				
Kat	h _i (m)	H _i (m)	F _x (kN)	F _y (kN)
6.NK	3	18.5	2084	2364
5.NK	3	15.5	2150	2439
4.NK	3	12.5	1734	1967
3.NK	3	9.5	1348	1529
2.NK	3	6.5	949	1076
1.NK	3.5	3.5	517	587
TOPLAM	18.5	ΣV _t	8781	9961

e) Kolon ve kirişlerin kırılma tiplerinin belirlenmesi

Kolon ve kirişlerin kesme kontrolleri her eleman için bütün deprem yönleri ile uyumlu olarak yapılmıştır. Bunun sonucunda bütün elemanların güç tükenmesinin sünek olduğu belirlenmiştir.

f) Eğilme etki / kapasite oranlarının belirlenmesi

Kesitlerin, eksenel yük oranları, kesme kuvveti oranları, sargı durumu ve boyuna donatı oranlarının sünekliğe etkisi göz önüne alınarak bütün kolon ve kiriş kesitleri için eğilme etki/kapasite oranları (r) ve sınır etki kapasite oranları (r_s) hesaplanmıştır.

Kolonların eğilme etki/kapasite oranlarının hesaplanması için yönetmelikte birden fazla yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada kolonların eğilme etki kapasite oranları belirlenirken ardışık yaklaşım yöntemi kullanılmıştır.

Bu yöntemle kolon veya perdenin etki/kapasite oranı, bir ardışık yaklaşım hesabı ile de belirlenebilir. Bu amaçla başlangıçta r için bir tahmin yapılır. N_E deprem hesabından bilindiğinden **Denklem 5.59**'dan N_A hesaplanır ve N_D bilindiğine göre **Denklem 5.60**'tan N_K hesaplanır. Buna bağlı olarak M_K moment kapasitesi kesit hesabından elde edilir ve bundan M_D çıkarılarak **Denklem 5.62**'den M_A hesaplanır. M_A ve M_E kullanılarak **Denklem 5.63**'ten r 'nin yeni değeri elde edilir ve başa dönülerek ardışık yaklaşımın bir sonraki adımına geçilir. Bir önceki adımda bulunana yeteri kadar yakın olarak edilen son ardışık yaklaşım adımındaki r değeri, kesitin eğilme ve eksenel kuvvet altındaki etki/kapasite oranı olarak tanımlanır. Son adımdaki M_A ve N_A değerleri ile M_K ve N_K hesaplanır. Elde edilen N_K , hasar sınırlarını tanımlayan Tablo 5.4'te gözönüne alınacak olan eksenel kuvvettir.

Ardışık yaklaşım her kolon kesiti için dört kez tekrarlanmış ve deprem yönü ile uyumlu kolon etki/kapasite oranları (r) elde edilmiştir. Son adımda elde edilen kesme kuvveti ve eksenel yük oranlarından faydalanılarak sınır etki/kapasite oranları (r_s) elde edilmiştir.

Bu yöntemde önce bir " r^1 " tahmin edilir ve aşağıdaki işlemler takip edilir.

$$N_E/r^1 = N_A^1 \quad (5.59)$$

$$N_A^1 + N_D = N_K^1 \quad (5.60)$$

$$N_K^1 \rightarrow M_K^1 \quad (5.61)$$

$$M_K^1 - M_D = M_A^1 \quad (5.62)$$

$$M_E/M_A^1 = r^2 \text{ elde edilir.}$$

(5.63)

Bu işleme son bulunan " r_i ", bir önceki adımda bulunan " r_{i-1} "e yeterince yaklaşıncaya kadar ardışık yaklaşıma son verilir.

g) Kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi

Elde edilen kesit eğilme etki/kapasite oranları, her eleman ve her hasar durumu için hesaplanmış sınır etki kapasite oranları (r_s) ile kıyaslanarak kolon ve kiriş kesitlerinde oluşan hasar durumları belirlenmiştir. Aşağıdaki tablolarda kolon ve kirişlerin hasar durumlarına ait özet bilgiler yer almaktadır.

i) Kolonlar için özet hasar tabloları

Tablo 5.20'de, pozitif-X doğrultusu için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.20 : Pozitif X-Yönü Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu EXP - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	26	6	-	-	81	9	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	26	6	-	-	81	9	0	0
TOPLAM	192	180	12	0	0	94	6	0	0

Tablo 5.21'de, pozitif-Y doğrultusu için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.21 : Pozitif Y-Yönü Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu EYP - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	26	6	-	-	81	9	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	26	6	-	-	81	9	0	0
TOPLAM	192	180	12	0	0	94	6	0	0

Tablo 5.22'de, negatif-X doğrultusu için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.22 : Negatif X-Yönü Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu EXN - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	20	10	-	-	69	31	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	26	6	-	-	81	19	0	0
TOPLAM	192	176	16	0	0	92	8	0	0

Tablo 5.23'te, negatif-Y doğrultusu için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.23 : Negatif Y-Yönü Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

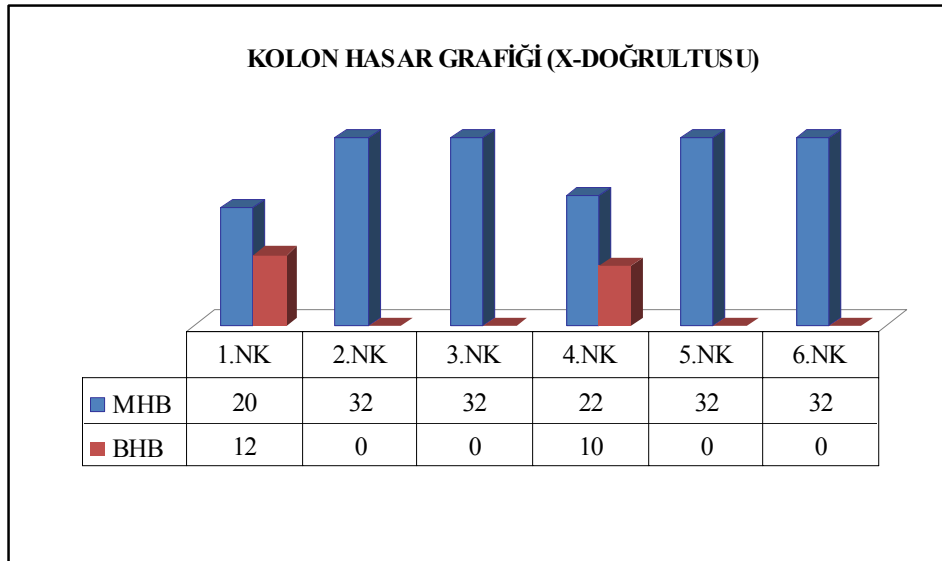
Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu EYN - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	20	10	-	-	69	31	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	26	6	-	-	81	19	0	0
TOPLAM	192	176	16	0	0	92	8	0	0

Tablo 5.24'te, pozitif-X ve negatif-X deprem doğrultularından oluşan etkiler sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.24 : X-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu X - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	22	10	-	-	69	31	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	20	12	-	-	62	38	0	0
TOPLAM	192	170	22	0	0	89	11	0	0

Şekil 5.43'teki grafik, X- doğrultusunda yapılan hesap sonucu kolonlarda meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.

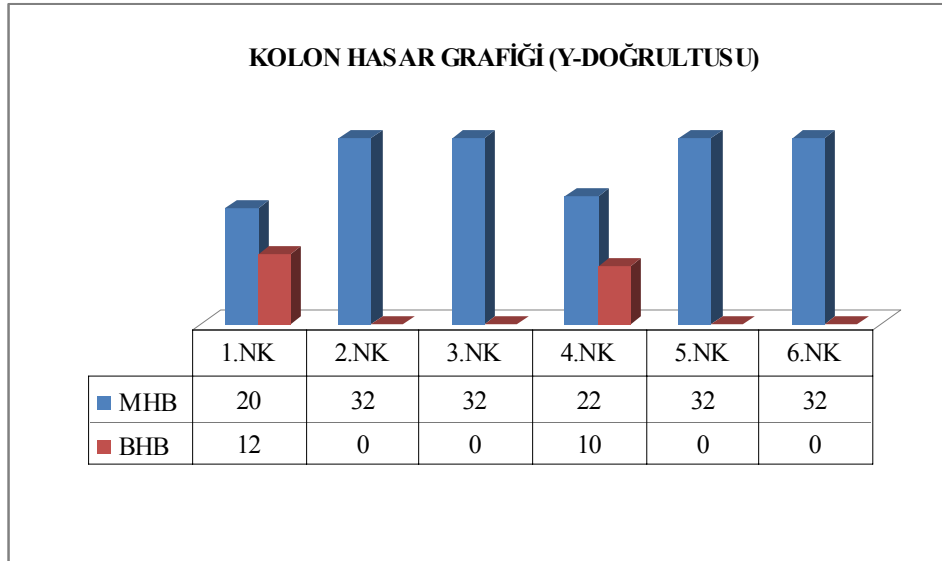
**Şekil 5.43 : X-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Grafiği**

Tablo 5.25'te, pozitif-Y ve negatif-Y deprem doğrultularından oluşan etkiler sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.25 : Y-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu Y - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	22	10	-	-	69	31	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	20	12	-	-	62	38	0	0
TOPLAM	192	170	22	0	0	89	11	0	0

Şekil 5.44'teki grafik, Y- doğrultusunda yapılan hesap sonucu kolonlarda meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.44 : Y-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Grafiği

Kolonlar için sonuç ve yorumlar:

- a. Pozitif-X ve pozitif-Y doğrultusunda yapılan analizler sonucunda,
 - ✦ Binadaki toplam 192 adet kolondan 12 (%6) adet kolonda Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 32 adet kolondan 6 (%19) adet kolonda Belirgin Hasar olduğu,

- ✦ 4. kattaki toplam 32 adet kolondan 6 (%19) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 180 (%94) kolonda ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.
- b. Negatif-X ve negatif-Y doğrultusunda yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 192 adet kolondan 16 (%8) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 32 adet kolondan 6 (%19) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 4. kattaki toplam 32 adet kolondan 10 (%31) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 176 (%92) kolonda ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.
- c. Aynı doğrultu üzerindeki her iki deprem yönünde hasar gören kolonlar incelendiğinde X ve Y doğrultularında yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 192 adet kolondan 22 (%11) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 32 adet kolondan 12 (%38) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 4. kattaki toplam 32 adet kolondan 10 (%31) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 170 (%89) kolonda ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.
- d. Belirgin Hasar gören kolonların kenar ve köşe kolonların dışında kalan kolonlar olduğu gözlenmiştir. Bu durum deprem etkileri altında iç kolonların daha fazla zorlanabileceğini göstermektedir.
- e. Belirgin Hasar gören kolon sayısı deprem talebi en yüksek olan 1. katta en fazladır. 2 ve 3. katlarda ise Belirgin Hasar gören kolon bulunmamaktadır. Fakat deprem talebi 1, 2 ve 3. katlara göre çok daha az olan 4. katta, 1. kat ile yaklaşık aynı sayıda elemanın hasar görmüş olması, bu katta kesit boyutları ve içindeki donatı miktarları azalan kolonlar ile açıklanabilir.

Bu durum binaların tasarımında katlar arasında ani dayanım ve/veya rijitlik azalmasının (zayıf kat ve/veya yumuşak kat) o kattaki elemanların hasar durumunu olumsuz yönde etkileyebileceğini hatta hasarın yüksek ve çoğu düşey elemanda meydana gelmesi durumunda ise kat mekanizması riskinin artabileceğini göstermektedir.

Analizler sonrası elde edilen sonuçlara dayanarak, binada bulunan kolonlardan hiçbirinin hasar durumu Can Güvenliği hasar sınırını (GV) aşmadığı için kolonların tümünün Tasarım Depremi etkileri altında Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı anlaşılmaktadır.

ii) Kirişler için özet hasar tabloları

Tablo 5.26'da, X doğrultusunda mesnet üst donatısı için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kiriş adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.26 : X-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Özet Tablosu (Üst Donatı)

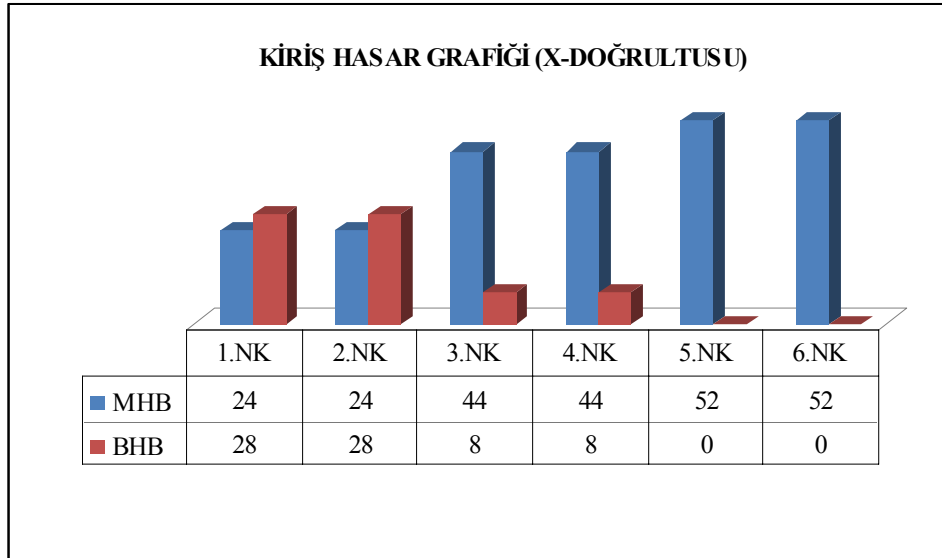
Betonarme Kirişler İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu X - Doğrultusu (Üst Donatı)									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi	Üst Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Üst Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
3.NK(+9.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	52	44	8	-	-	85	15	0	0
TOPLAM	312	304	8	0	0	97	3	0	0

Tablo 5.27'de, X doğrultusunda mesnet alt donatısı için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kiriş adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.27 : X-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Özet Tablosu (Alt Donatı)

Betonarme Kirişler İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu X - Doğrultusu (Alt Donatı)									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi	Alt Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Alt Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	52	44	8	-	-	85	15	0	0
3.NK(+9.50)	52	44	8	-	-	85	15	0	0
2.NK(+6.50)	52	24	28	-	-	46	54	0	0
1.NK(+3.50)	52	24	28	-	-	46	54	0	0
TOPLAM	312	240	72	0	0	77	23	0	0

Şekil 5.45'teki grafik, X- doğrultusunda yapılan hesap sonucu kirişlerde meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.

**Şekil 5.45 : X-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Grafiği**

Tablo 5.28'de, Y doğrultusunda mesnet üst donatısı için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kiriş adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.28 : Y-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Özet Tablosu (Üst Donatı)

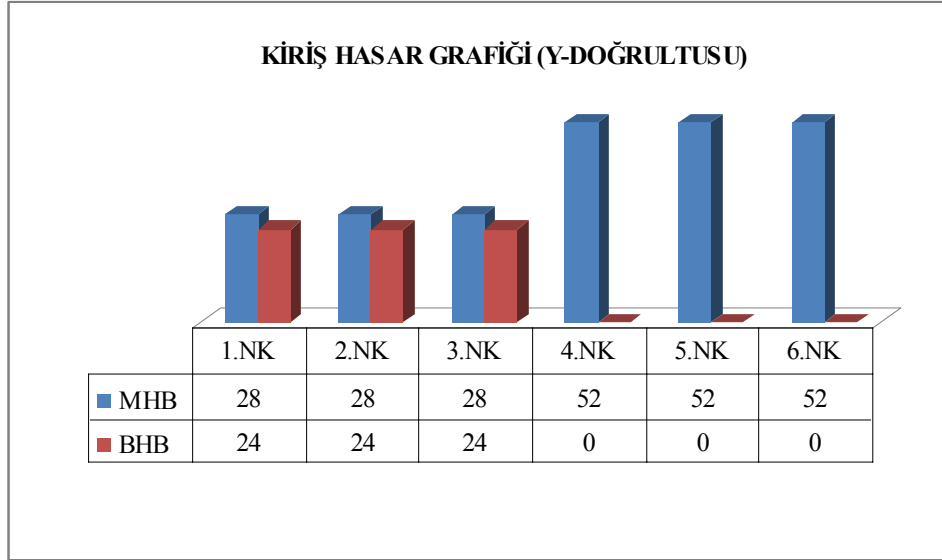
Betonarme Kirişler İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu Y - Doğrultusu (Üst Donatı)									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi	Üst Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Üst Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	52	40	12	-	-	77	23	0	0
3.NK(+9.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	52	30	22	-	-	58	42	0	0
1.NK(+3.50)	52	30	22	-	-	58	42	0	0
TOPLAM	312	256	56	0	0	82	18	0	0

Tablo 5.29'da, Y doğrultusunda mesnet alt donatısı için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kiriş adetleri ve toplamdaki oranları yer almaktadır.

Tablo 5.29 : Y-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Özet Tablosu (Alt Donatı)

Betonarme Kirişler İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu Y - Doğrultusu (Alt Donatı)									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi	Alt Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Alt Donatı İçin Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
3.NK(+9.50)	52	28	24	-	-	54	46	0	0
2.NK(+6.50)	52	28	24	-	-	54	46	0	0
1.NK(+3.50)	52	28	24	-	-	54	46	0	0
TOPLAM	312	240	72	0	0	77	23	0	0

Şekil 5.46'daki grafik, Y- doğrultusunda yapılan hesap sonucu kirişlerde meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.46 : Y-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Grafiği

Kirişler İçin Sonuç ve Yorumlar

- a) X doğrultusunda mesnet üst donatısı için yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 312 adet kirişten 8 (%3) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ Yalnızca 1. kattaki toplam 52 adet kirişten 8 (%15) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ Geri kalan 304 (%3) kirişte ise Minimum Hasar olduğu belirlenmiştir.
- b) X doğrultusunda mesnet alt donatısı için yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 312 adet kirişten 72 (%23) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 52 adet kirişten 28 (%54) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ 2. kattaki toplam 52 adet kirişten 28 (%54) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ 3. kattaki toplam 52 adet kirişten 8 (%15) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ 4. kattaki toplam 52 adet kirişten 8 (%15) adet kirişte Belirgin Hasar olduğu,
 - ✦ Geri kalan 240 (%77) kirişte ise Minimum Hasar olduğu belirlenmiştir.

- c) Y doğrultusunda mesnet üst donatısı için yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 312 adet kirişten 8 (%3) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Yalnızca 1. kattaki toplam 52 adet kirişten 8 (%15) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 304 (%3) kirişte ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.
- d) Y doğrultusunda mesnet üst donatısı için yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 312 adet kirişten 56 (%18) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 52 adet kirişten 22 (%42) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 2. kattaki toplam 52 adet kirişten 22 (%42) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 4. kattaki toplam 52 adet kirişten 12 (%23) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 256 (%82) kirişte ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.
- e) Mesnet alt donatı alanı, üst donatı alanından az olan kirişlerin hasar kontrolünde alt donatının elverişsiz etkisinin, üst donatıya göre daha baskın olabileceği görülmüştür.
- Bu durum, tasarımda kiriş alt donatı miktarları belirlenirken, açıklıkta meydana gelen düşey yük eğilme etkisine ek olarak mesnet alt bölgesinde deprem etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
- f) Kirişlerin konumları kat planlarından incelendiğinde, 1. ve 2. katta, her bir deprem doğrultusuna paralel uzanan kirişlerin ve 3. katta bulunan kenar açıklık kirişlerinin Belirgin Hasar gördüğü belirlenmiştir.

Analizler sonrası elde edilen sonuçlara dayanarak, binada bulunan kirişlerinin hiçbirinin hasar durumu Can Güvenliği hasar sınırı (GV) yi aşmadığı için kirişlerin tümünün Tasarım Depremi etkileri altında Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı anlaşılmaktadır.

g) Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Her bir deprem doğrultusu için kolon elemanlarının her iki ucundaki yatay yerdeğiştirme değerleri eleman boyuna bölünerek göreli ötelemeler bulunmuştur. En büyük yerdeğiştirme oranları değerleri kat rijitliğinin azaldığı 4. kat seviyesinde elde edilmiştir.

- ✦ X- doğrultusunda en büyük göreli kat ötelemesi oranı $\delta_{ix}/h_i = 0,014$
- ✦ Y- doğrultusunda en büyük göreli kat ötelemesi oranı $\delta_{iy}/h_i = 0,010$ olarak elde edilmiştir.
- ✦ Bu iki değer de Can Güvenliği göreli öteleme oranı sınırı olan $(\delta_i/h_i)_{GV} = 0,03$ değerinin altında kalmaktadır.

Bina göreli kat ötelemeleri bakımından Can Güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

h) Bina Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Altı katlı mevcut betonarme bina için yapılan doğrusal yöntem ile performans değerlendirmesi sonucunda yapıda,

- ✦ Kolonların hasar durumu bakımından bütün kolonların Can Güvenliği hasar sınırı (GV) nin altında kalarak “Can Güvenliği Performans Seviyesi”ni sağladığı,
- ✦ Kirişlerin hasar durumu bakımından bütün kirişlerin Can Güvenliği hasar sınırının altında kalarak “Can Güvenliği Performans Seviyesi” ni sağladığı,
- ✦ Göreli kat ötelemesi oranları bakımından bütün kat seviyelerindeki kolon uç noktalarının Can Güvenliği hasar sınırı (GV) nin altında kaldığı belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen üç temel sonuca bağlı olarak, mevcut binanın taşıyıcı sisteminin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (Tasarım Depremi) etkileri altında Hemen Kullanım performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür. Fakat bu deprem düzeyi ile bina kullanım amacı ve türü için yönetmelikte öngörülen minimum performans düzeyi olan Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

5.2.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle Performansın Belirlenmesi

Daha önceki bölümlerde altı katlı, betonarme binanın doğrusal yöntem ile boyutlandırılmış ve doğrusal yöntem ile deprem performansı belirlenmişti. Bu

Tablo 5.30 : İlk İki Moda Ait Etkin Modal Kütle Değerleri

Mod	Periyot (s)	UX (%)	Periyot (s)	UY (%)
1	0.9925	80.55	0.9925	0
2	0.8479	0	0.8479	80.36

Sistemin ilk iki moduna ait modal katılım faktörleri **Tablo 5.31**'de verilmiştir.

Tablo 5.31 : İlk İki Moda Ait Modal Katılım Faktörleri

Mod	Periyot (s)	UX	Periyot	UY
1	0.9925	-41.89	0.9925	0
2	0.8479	0	0.8479	-41.84

Sisteme ait birinci mod yatay değiştirmeleri **Tablo 5.32**'de verilmiştir.

Tablo 5.32 : Birinci Mod Yatay Yerdeğiştirmeleri

Kat	Mod	dx (m)	dy (m)
1.NK	1	0.006	0.006
2.NK	1	0.012	0.012
3.NK	1	0.017	0.018
4.NK	1	0.025	0.025
5.NK	1	0.030	0.029
6.NK	1	0.033	0.032

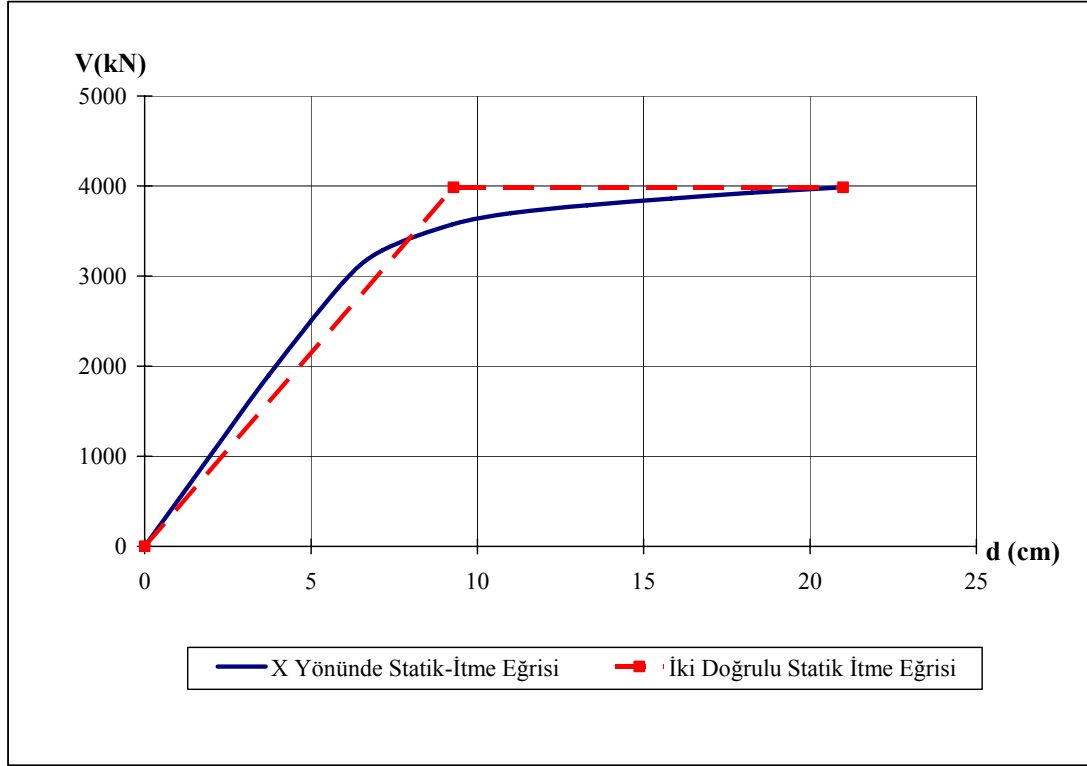
iii) Statik itme eğrisinin tanımlanması

X-doğrultusu

Tablo 5.33 : X-Doğrultusu Tepe Yerdeğiştirmesi-Taban Kesme Kuvveti Değerleri

Adım	d _x (cm)	V _x (kN)
0	0.00	0.00
1	2.10	1069.43
2	3.73	1898.77
3	5.94	2919.06
4	7.13	3281.28
5	9.24	3572.10
6	11.01	3698.13
7	13.30	3786.95
8	15.82	3859.77
9	18.25	3926.11
10	21.00	3986.05

Şekil 5.48’de, taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiğinin altındaki alan eşit kalacak şekilde iki doğrusal statik itme grafiği tanımlanmıştır.

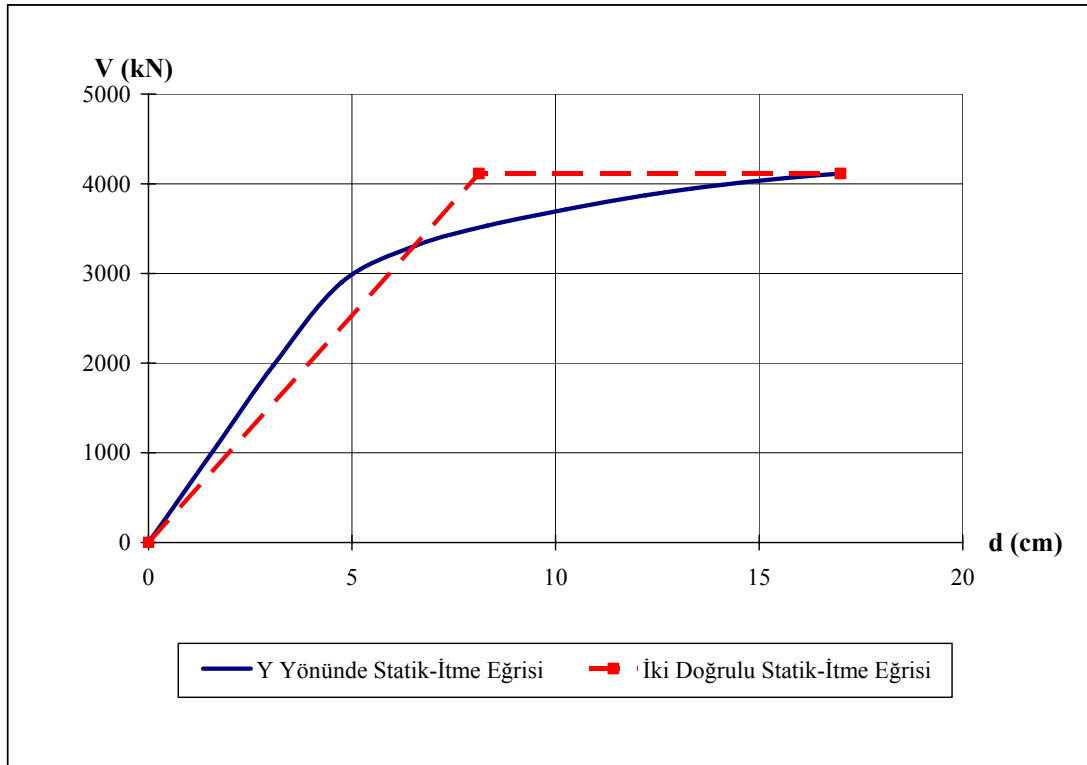


Şekil 5.48 : X-Doğrultusu Kapasite Eğrisi

Y-doğrultusu

Tablo 5.34 : Y-Doğrultusu Tepe Yerdeğiştirmesi- Taban Kesme Kuvveti Değerleri

Adım	d_y (cm)	V_y (kN)
0	0.00	0.00
1	1.70	1093.24
2	3.08	1980.06
3	4.74	2900.30
4	6.56	3310.67
5	8.31	3530.75
6	10.28	3717.61
7	12.22	3872.84
8	14.10	3988.92
9	15.99	4076.49
10	17.00	4113.89



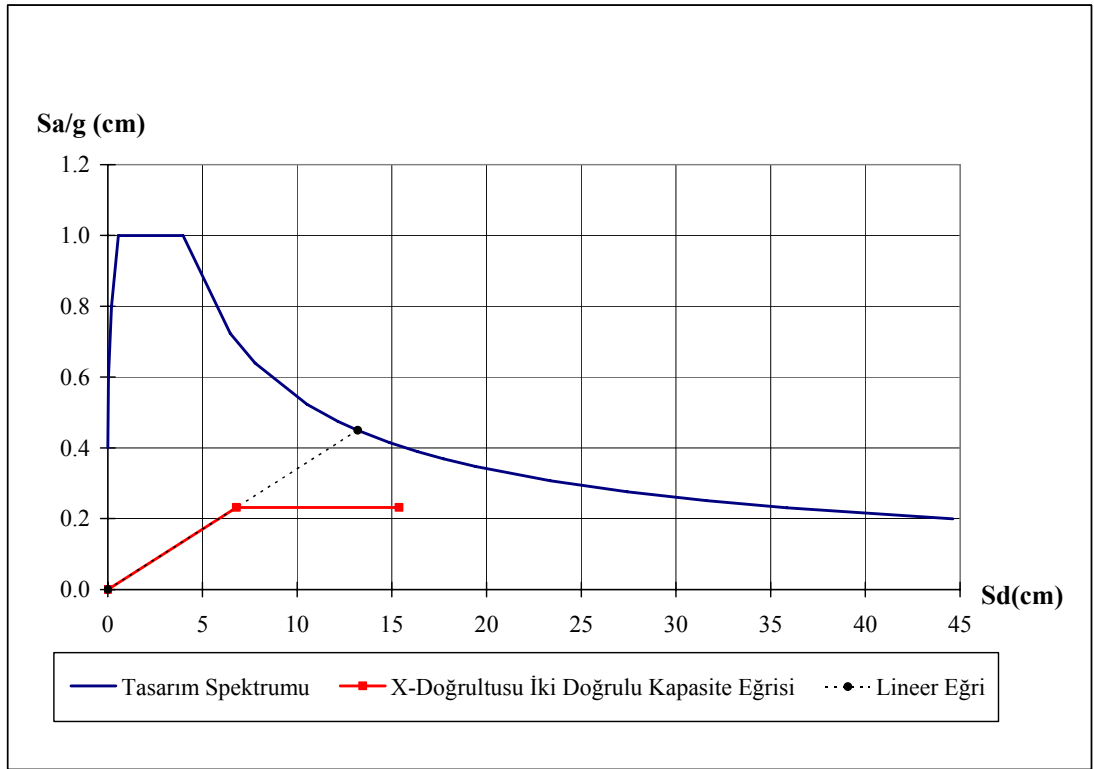
Şekil 5.49 : Y-Doğrultusu Kapasite Eğrisi

iv) Modal ivme ve modal yerdeğiştirme değerlerinin elde edilmesi

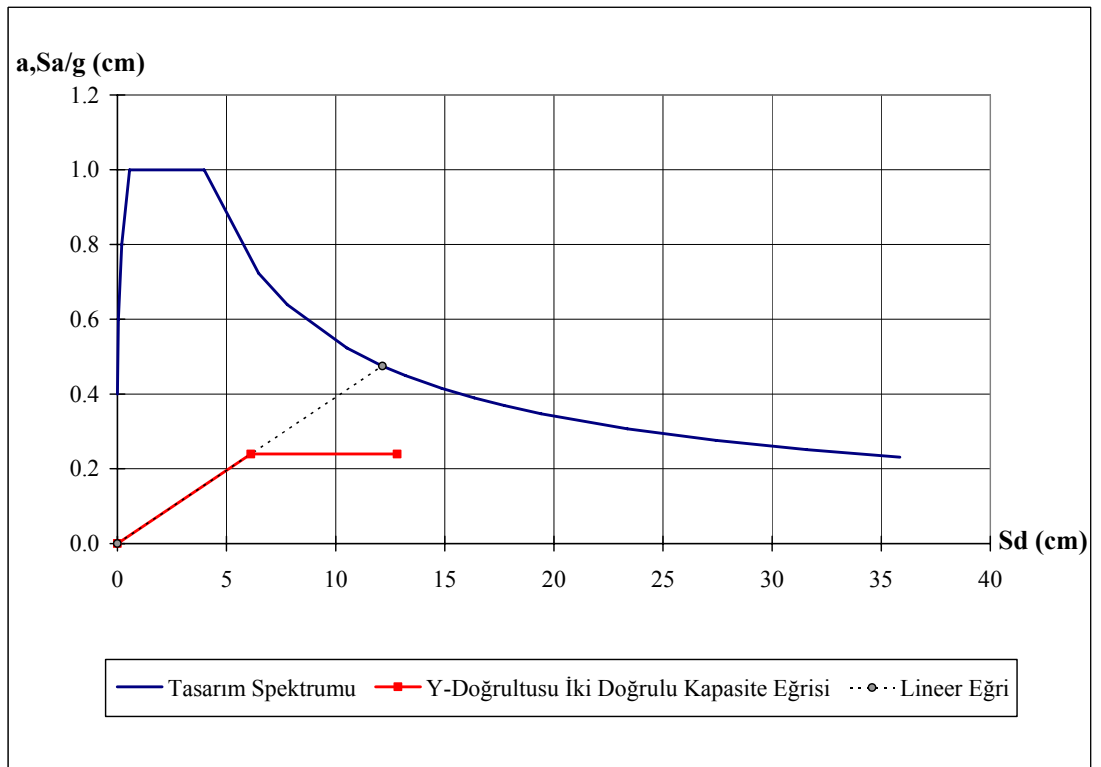
Tablo 5.35'te, taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi değerleri kullanılarak modal ivme değerlerine karşılık gelen modal yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.35 : Modal İvme-Modal Yerdeğiştirme Değerleri

X-Doğrultusu		Y-Doğrultusu	
d_x (cm)	$a_x(m/s^2)$	d_y (cm)	$a_y(m/s^2)$
0	0	0	0
1.54	0.06	1.28	0.06
2.73	0.11	2.32	0.12
4.35	0.17	3.58	0.17
5.22	0.19	4.95	0.19
6.76	0.21	6.26	0.21
8.06	0.21	7.75	0.22
9.74	0.22	9.21	0.23
11.59	0.22	10.63	0.23
13.36	0.23	12.06	0.24
15.38	0.23	12.81	0.24



Şekil 5.50 : X-Doğrultusu Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı



Şekil 5.51 : Y-Doğrultusu Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı

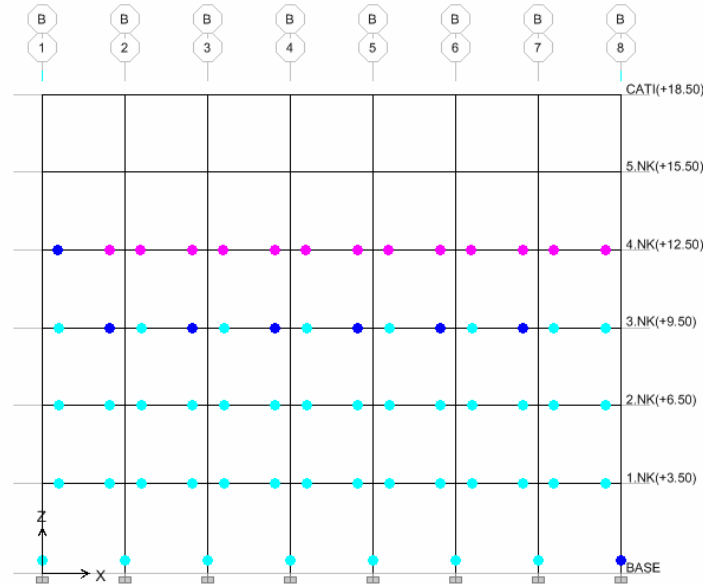
Tablo 5.36'da hedef yerdeğiştirmenin bulunması için kullanılan parametreler ve hedef yerdeğiştirme değerleri görölmektedir.

Tablo 5.36 : Hesap Parametreleri ve Performans Noktası

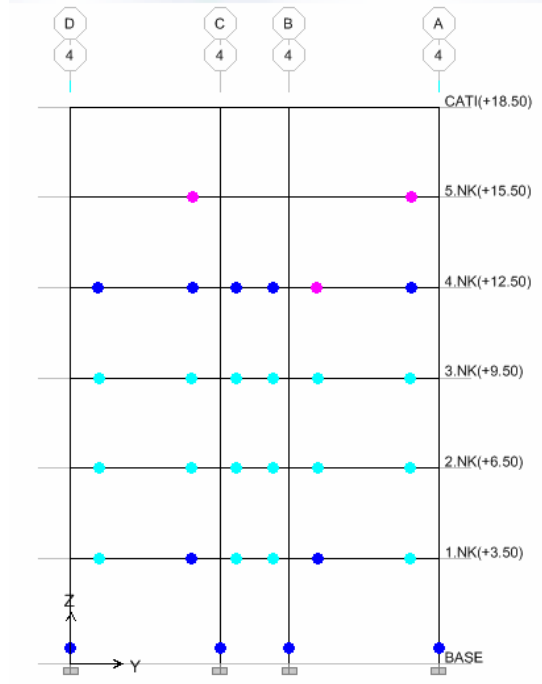
X-Doğrultusu		Y-Doğrultusu	
ω (1/s)	T_{ex} (s)	ω (1/s)	T_{ey} (s)
5.78	1.09	6.20	1.01
C_{R1x}		C_{R1y}	
1.00		1.00	
R_{y1}	$S_{dex}(T_e)$	R_{y1}	$S_{dev}(T_e)$
1.941	0.132	1.984	0.121
$S_{dix}(T_e)$	d_x (m)	$S_{div}(T_e)$	d_y (m)
0.132	0.180	0.121	0.161

b) Performans noktasındaki sisteme ait plastik mafsalları dağılımı

Her iki doğrultuda yapılan itme analiz sonucu performans noktasında oluşan mafsallar **şekil 5.53** ve **5.54**'te tipik akslar üzerinde gösterilmiştir.



şekil 5.52 : X-Doğrultusu Statik İtme İçin Tipik Aks Plastik Mafsalları Dağılımı



Şekil 5.53 : Y-Doğrultusu Statik İtme İçin Tipik Aks Plastik Mafsal Dağılımı

c) Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Yönetmelikte belirtilen beton ve çelik sınır şekildeğiştirmelerine karşılık gelen toplam dönme değerleri kesit analiz programı yardımıyla elde edilmiştir.

d) Kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi

Analiz sonrası elde edilen toplam dönme değerleri yönetmelik sınır değerleri ile kıyaslanarak beton ve çelik için kesit hasar durumları tespit edilmiştir.

Aşağıdaki tablolarda kolon ve kirişlerin hasar durumlarına ait özet bilgiler yer almaktadır.

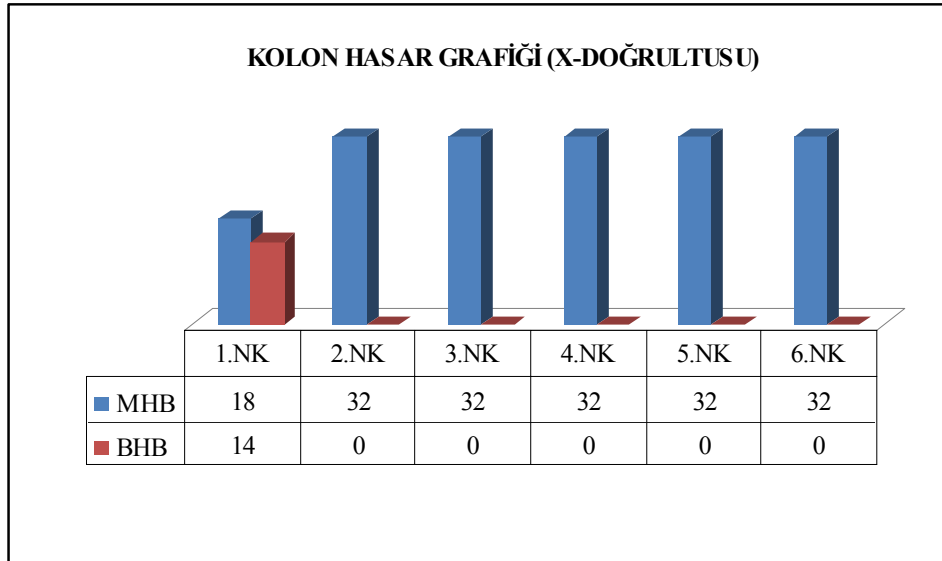
i) Kolonlar için özet hasar tabloları

Tablo 5.37'de, X doğrultusu için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve yüzde değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.37 : X-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu X - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	22	-	-	-	100	10	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	18	14	-	-	44	56	0	0
TOPLAM	192	178	14	0	0	93	7	0	0

Şekil 5.54'teki grafik, X- doğrultusunda yapılan hesap sonucu kolonlarda meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.

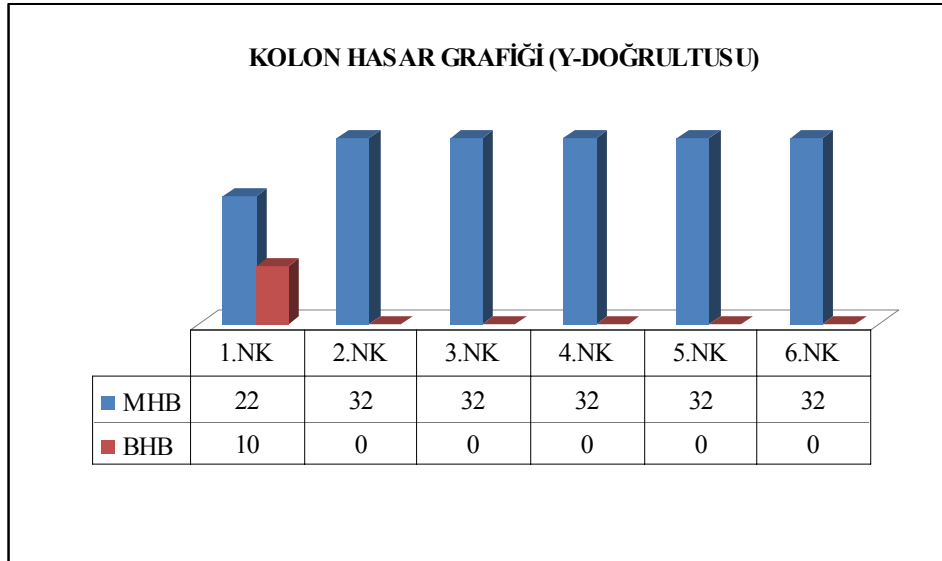
**Şekil 5.54 : X-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Grafiği**

Tablo 5.38'de, pozitif-Y ve negatif-Y deprem doğrultularından oluşan etkiler sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kolon adetleri ve yüzde değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.38 : Y-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kolonlar İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu Y - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
3.NK(+9.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	32	32	-	-	-	100	0	0	0
1.NK(+3.50)	32	22	10	-	-	69	31	0	0
TOPLAM	192	182	10	0	0	95	5	0	0

Şekil 5.55'teki grafik, Y-doğrultusunda yapılan hesap sonucu kolonlarda meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.

**Şekil 5.55 : Y-Doğrultusu Kolon Hasar Durumu Grafiği**

Kolonlar için sonuç ve yorumlar:

- a. X doğrultusunda yapılan analizler sonucunda,
 - ✦ Binadaki toplam 192 adet kolondan 14 (%7) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 32 adet kolondan 14 (%56) adet kolonda Belirgin Hasar oluştuğu,

- ✦ Geri kalan 178 (%93) kolonda ise Minimum Hasar olduğu belirlenmiştir.

b. Y doğrultusunda yapılan analizler sonucunda,

- ✦ Binadaki toplam 192 adet kolondan 10 (%5) adet kolonda Belirgin Hasar olduğu,
- ✦ 1. kattaki toplam 32 adet kolondan 10 (%31) adet kolonda Belirgin Hasar olduğu,
- ✦ Geri kalan 182 (%95) kolonda ise Minimum Hasar olduğu belirlenmiştir.

Analizler sonrası elde edilen sonuçlara dayanarak, binada bulunan kolonlardan hiçbirinin hasar durumu, Can Güvenliği Hasar Sınırı (GV) yi aşmadığı için, kolonların tümünün Tasarım Depremi etkileri altında Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı anlaşılmaktadır.

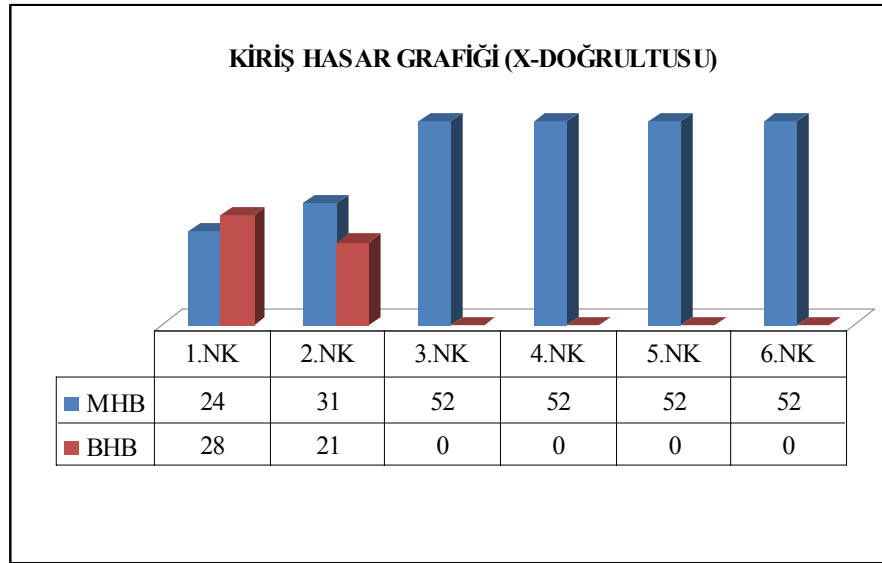
ii) Kirişler için özet hasar tabloları

Tablo 5.39'da, X doğrultusun için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kırış adetleri ve yüzde değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.39 : X-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kirişler İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu X - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
3.NK(+9.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
2.NK(+6.50)	52	31	21	-	-	60	40	0	0
1.NK(+3.50)	52	24	28	-	-	46	54	0	0
TOPLAM	312	263	49	0	0	84	16	0	0

Şekil 5.56'daki grafik, X-doğrultusunda yapılan hesap sonucu kırışlerde meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.



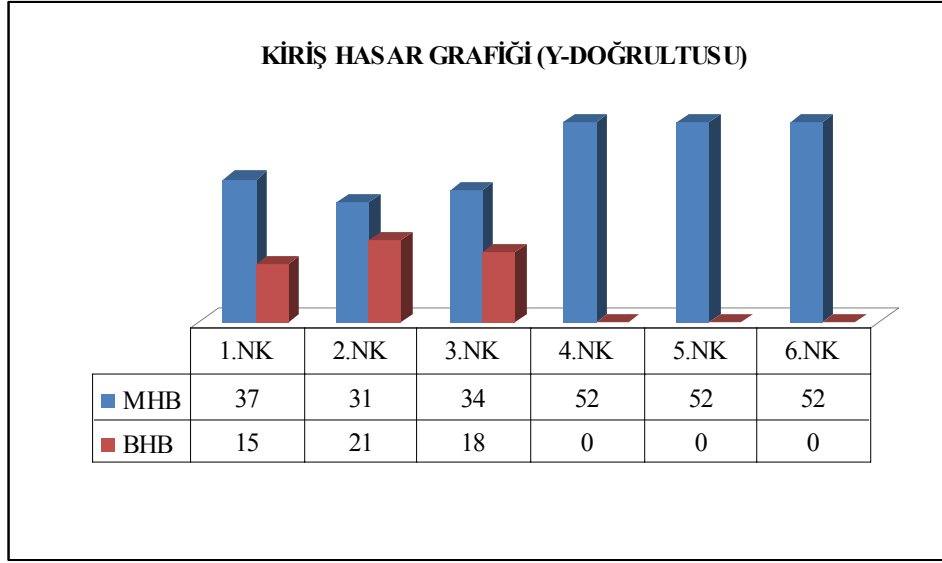
Şekil 5.56 : X-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Grafiği

Tablo 5.40'ta, Y doğrultusu için yapılan analiz sonucunda her kat için hasar bölgelerine göre kiriş adetleri ve yüzde değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.40 : Y-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Özet Tablosu

Betonarme Kirişler İçin Hasar Durumuna Ait Özet Tablosu Y - Doğrultusu									
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi	Hasar Bölgelerine Ait Eleman Adedi				Hasar Bölgelerine Ait Eleman Yüzdesi (%)			
		MHB	BHB	İHB	GÇB	MHB	BHB	İHB	GÇB
6.NK(+18.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
5.NK(+15.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
4.NK(+12.50)	52	52	-	-	-	100	0	0	0
3.NK(+9.50)	52	34	18	-	-	65	35	0	0
2.NK(+6.50)	52	31	21	-	-	60	40	0	0
1.NK(+3.50)	52	37	15	-	-	12	88	0	0
TOPLAM	312	258	54	0	0	83	17	0	0

Şekil 5.57'deki grafik, Y-doğrultusunda yapılan hesap sonucu kirişlerde meydana gelen hasarlı eleman sayısının katlara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.57 : Y-Doğrultusu Kiriş Hasar Durumu Grafiği

Kirişler için sonuç ve yorumlar:

- a) X doğrultusu için yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 312 adet kirişten 49 (%16) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 52 adet kirişten 28 (%54) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 2. kattaki toplam 52 adet kirişten 21 (%40) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 263 (%84) kirişte ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.
- b) Y doğrultusu için yapılan analizler sonucunda,
- ✦ Binadaki toplam 312 adet kirişten 54 (%17) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 1. kattaki toplam 52 adet kirişten 15 (%29) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 2. kattaki toplam 52 adet kirişten 21 (%40) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ 3. kattaki toplam 52 adet kirişten 18 (%35) adet kirişte Belirgin Hasar oluştuğu,
 - ✦ Geri kalan 258 (%83) kirişte ise Minimum Hasar oluştuğu belirlenmiştir.

e) Bina performans seviyesinin belirlenmesi

Altı katlı mevcut betonarme bina için yapılan doğrusal olmayan yöntem ile performans değerlendirmesi sonucunda yapı performans seviyesi olarak,

- ✦ Hasar durumu bakımından bütün kolonların Can Güvenliği hasar sınırı (GV) nin altında kalarak Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı,
- ✦ Kirişlerin hasar durumu bakımından bütün kirişlerin Can Güvenliği hasar sınırının altında kalarak Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı,

Yukarıda belirtilen iki sonuca bağlı olarak, mevcut binanın taşıyıcı sisteminin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (Tasarım Depremi) etkileri altında Hemen Kullanım performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür. Fakat bu deprem düzeyi ile bina kullanım amacı ve türü için yönetmelikte öngörülen minimum performans düzeyi olan Can Güvenliği performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

5.2.4. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemle Performans Değerlendirmesine Ait Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntem ile performansı belirlenen altı katlı betonarme binaya ait sonuçların karşılaştırmalı incelenmesi ve sonuçların tartışılması yer almaktadır.

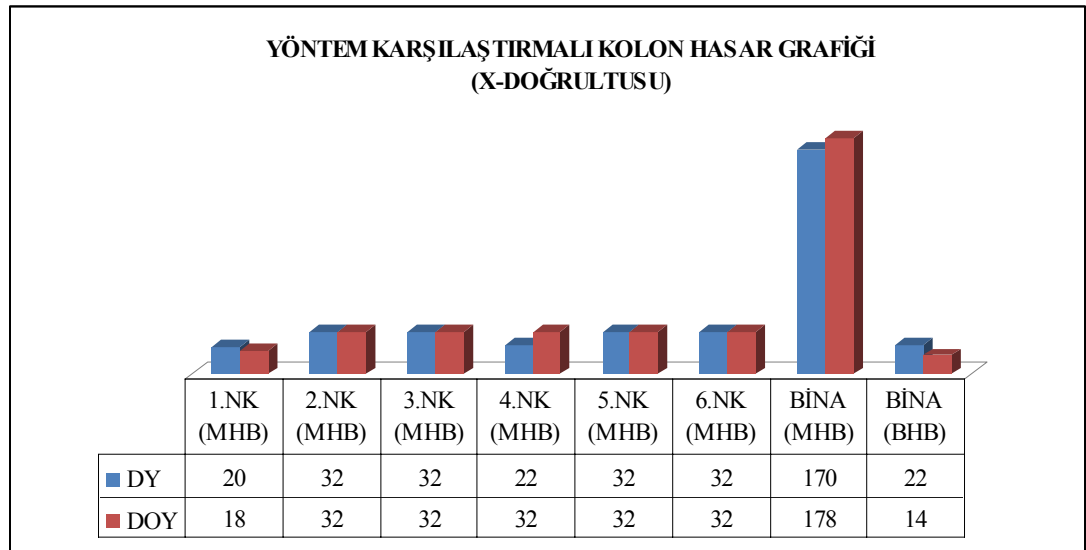
Kolonlar için karşılaştırma

Tablo 5.41'de, X doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kolonlarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 5.41 : X-Doğrultusunda Kolonlar İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu

Kolonlar İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu (X-Doğrultusu)								
Kolon Bilgisi		Doğrusal Yöntem		Doğrusal Olmayan Yöntem			Karşılaştırma	
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi						Farklı Hasarlı Kolon Adedi	Farklı Hasarlı Kolon Yüzdesi (%)
6.NK(+18.50)	32	32	0	32	0	√	0	0.0
5.NK(+15.50)	32	32	0	32	0	√	0	0.0
4.NK(+12.50)	32	22	10	32	0	X	10	31.3
3.NK(+9.50)	32	32	0	32	0	√	0	0.0
2.NK(+6.50)	32	32	0	32	0	√	0	0.0
1.NK(+3.50)	32	20	12	18	14	X	2	6.3
TOPLAM	192	170	22	178	14		12	6.3

Şekil 5.58’deki grafikte, X doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kolonlarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

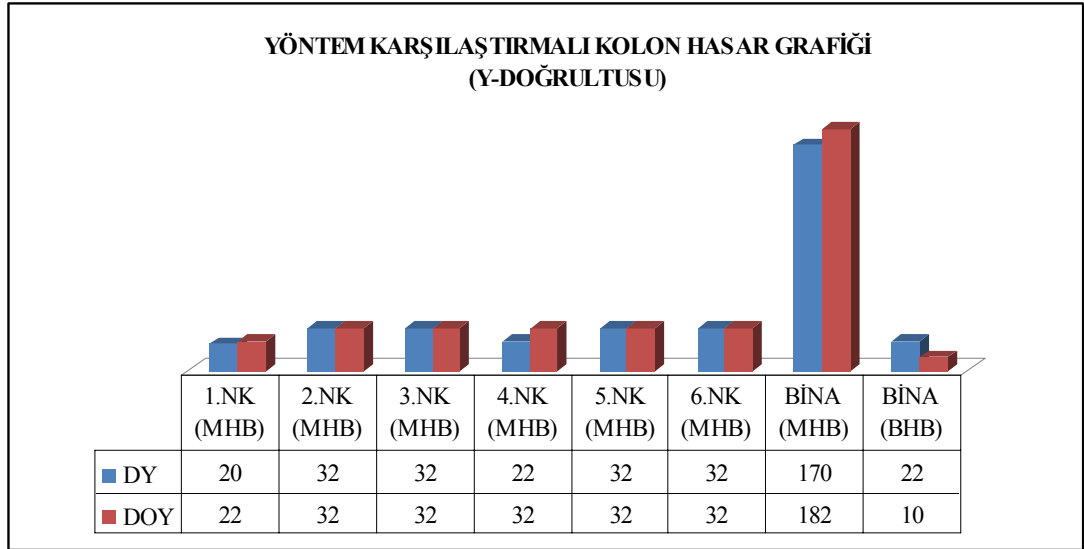
**Şekil 5.58 : X-Doğrultusunda Kolonlar İçin Yöntem Karşılaştırma Grafiği**

Tablo 5.42’de, Y doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kolonlarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 5.42 : Y-Doğrultusunda Kolonlar İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu

Kolonlar İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu (Y-Doğrultusu)								
Kolon Bilgisi		Doğrusal Yöntem		Doğrusal Olmayan Yöntem		KARŞILAŞTIRMA		
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kolon Adedi						Farklı Hasarlı Kolon Adedi	Farklı Hasarlı Kolon Yüzdesi (%)
6.NK(+18.50)	32	32	0	32	0	√	0	0.0
5.NK(+15.50)	32	32	-	32	0	√	0	0.0
4.NK(+12.50)	32	22	10	32	0	X	10	31.3
3.NK(+9.50)	32	32	-	32	0	√	0	0.0
2.NK(+6.50)	32	32	-	32	0	√	0	0.0
1.NK(+3.50)	32	20	12	22	10	X	2	6.3
TOPLAM	192	170	22	182	10		12	6.3

Şekil 5.59'daki grafikte, Y doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kolonlarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

**Şekil 5.59 : Y-Doğrultusunda Kolonlar İçin Yöntem Karşılaştırma Grafiği**

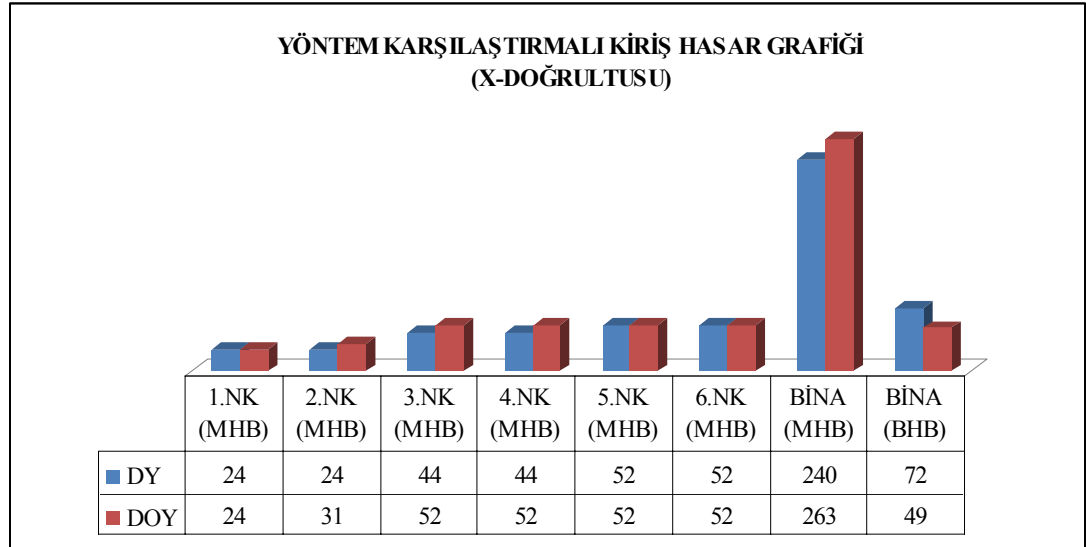
Kirişler için karşılaştırma

Tablo 5.43'te, X doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kirişlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 5.43 : X-Doğrultusunda Kirişler İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu

Kirişler İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu (X-Doğrultusu)								
Kiriş Bilgisi		Doğrusal Yöntem		Doğrusal Olmayan Yöntem		Karşılaştırma		
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi					Farklı Hasarlı Kiriş Adedi		Farklı Hasarlı Kiriş Yüzdesi (%)
6.NK(+18.50)	52	52	0	52	0	√	0	0.0
5.NK(+15.50)	52	52	0	52	0	√	0	0.0
4.NK(+12.50)	52	44	8	52	0	X	8	15.4
3.NK(+9.50)	52	44	8	52	0	X	8	15.4
2.NK(+6.50)	52	24	28	31	21	X	7	13.5
1.NK(+3.50)	52	24	28	24	28	√	0	0.0
TOPLAM	312	240	72	263	49		23	7.4

Şekil 5.60'teki grafikte, X doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kirişlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

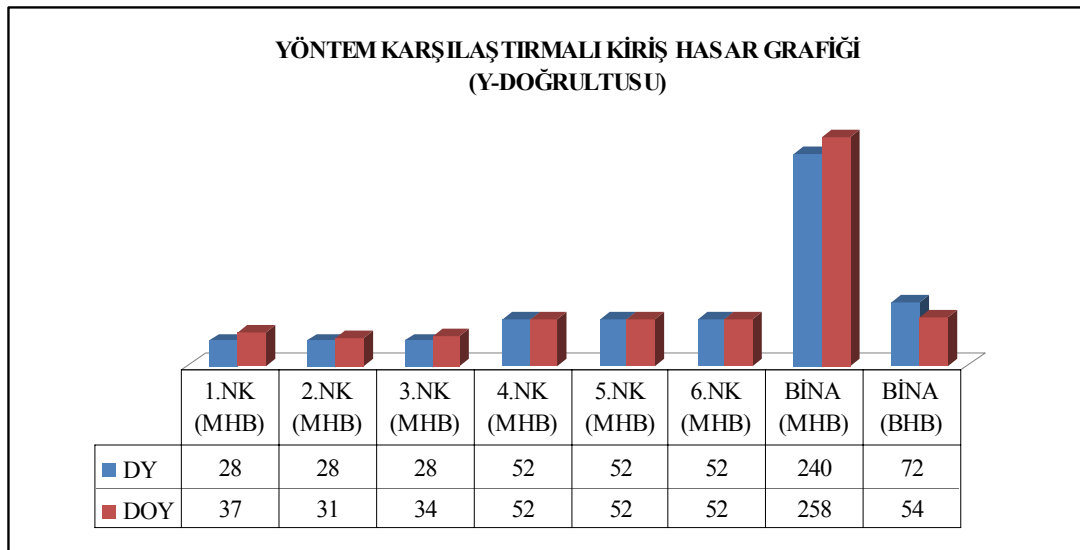
**Şekil 5.60 : X-Doğrultusunda Kirişler İçin Yöntem Karşılaştırma Grafiği**

Tablo 5.44'te, X doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kirişlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 5.44 : Y-Doğrultusunda Kirişler İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu

Kirişler İçin Yöntem Karşılaştırma Tablosu (Y-Doğrultusu)								
Kiriş Bilgisi		Doğrusal Yöntem		Doğrusal Olmayan Yöntem		KARŞILAŞTIRMA		
Elemanın Bulunduğu Kat	Toplam Kiriş Adedi					Farklı Hasarlı Kiriş Adedi		Farklı Hasarlı Kiriş Yüzdesi (%)
6.NK(+18.50)	52	52	0	52	0	√	0	0.0
5.NK(+15.50)	52	52	0	52	0	√	0	0.0
4.NK(+12.50)	52	52	0	52	0	√	0	0.0
3.NK(+9.50)	52	28	24	34	18	X	6	11.5
2.NK(+6.50)	52	28	24	31	21	X	3	5.8
1.NK(+3.50)	52	28	24	37	15	X	9	17.3
TOPLAM	312	240	72	258	54		18	5.8

Şekil 5.61’deki grafikte, Y doğrultusunda yapılan analizler sonucunda, kirişlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması yer almaktadır.

**Şekil 5.61 : Y-Doğrultusunda Kirişler İçin Yöntem Karşılaştırma Grafiği**

Sayısal incelemelere ilişkin değerlendirmeler:

Sayısal incelemeler, yurdumuzdaki mevcut binaları temsil etmesi bakımından altı katlı, bir doğrultuda üç ve diğer doğrultuda yedi açıklıklı bir betonarme bina üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kesit, eleman hasar bölgeleri ve bina performansının belirlenmesinde , Deprem Yönetmeliği (2007) de öngörülen doğrusal ve doğrusal

olmayan yöntemler esas alınmış ve bu yöntemlerle elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Sayısal incelemelerde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- a) Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre tasarlanmış mevcut betonarme yapıların aynı yönetmelikte yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri önemli ölçüde benzerlik göstermektedir. Belirlenen hasar bölgelerinin farklılık gösterdiği eleman sayısının kattaki toplam eleman sayısına oranı kirişlerde ortalama %15, kolonlarda ise ortalama %20 dolaylarındadır. Bu değerler bina esasında incelendiğinde kirişlerde ortalama %7, kolonlarda ise %6 dolaylarındadır.
- b) İki yöntemin sonuçlarının farklılık gösterdiği elemanlardaki değişim bir hasar bölgesi aralığı mertebesinde dir.
- c) Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenen kesit hasar bölgeleri, beklenildiği gibi, genelde daha elverişlidir. Bu durum, mevcut binaların deprem güvenliği ve performansının değerlendirmesinde doğrusal olmayan yöntemin avantajını göstermektedir.
- d) Deprem Yönetmeliği (2007) ye uygun olarak, Tasarım Depremi etkileri altında boyutlandırılan bina taşıyıcı sisteminde kesit hasarları Minimum Hasar ve Belirgin Hasar bölgelerindedir. Bu durum, yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan binaların, beklenen deprem düzeyinde, yönetmelikte öngörülen minimum performans seviyesi' ni sağladığını göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması başlıklı tez çalışmasında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Bu çalışmada, sayısal incelemede esas alınan düzlem çerçeve ve üç boyutlu çerçeve sistem modelleri yürürlükte olan deprem yönetmeliği tasarım esaslarına göre boyutlandırılmıştır. Daha sonra, Deprem Yönetmeliği (2007) de öngörülen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak bu sistemlerin deprem performansları belirlenmiş ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.
2. Şekildeğiştirme esaslı doğrusal olmayan yöntem ile bina performansının belirlenmesinde kesitte meydana gelen toplam dönme istemine karşılık beton ve çelikte oluşan birim şekildeğiştirmeler esas alınmakta, dayanım esaslı doğrusal yöntemde ise eleman kesitleri için etki/kapasite oranları kullanılmaktadır.
3. Çalışmanın sayısal incelemeleri ile elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.
 - a. Deprem Yönetmeliği (2007) de yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile belirlenen kesit hasar bölgeleri önemli ölçüde benzerlik göstermektedir. İki yöntemin farklılık gösterdiği kesitlerdeki değişim genel olarak bir hasar bölgesi kadardır.
 - b. Doğrusal olmayan yöntemle belirlenen kesit hasar bölgeleri genelde daha elverişli sonuçlar vermektedir. Buna karşılık bina performansı her iki yaklaşım için de aynı seviyededir.
 - c. Deprem Yönetmeliği (2007) tasarım esaslarına göre yatakhane binası olarak tasarlanan düzlem çerçeve sistemin En Büyük Deprem etkileri altında, ofis binası olarak tasarlanan uzay çerçeve sistemin ise “Tasarım

Depremi” etkileri altında “Can Güvenliği Performans Seviyesi”ni sağladığı görülmektedir. Yönetmelik esaslarına göre tasarlanan binaların, her iki yöntemle elde edilen performans seviyelerinin aynı olduğu ve beklenen deprem düzeyine karşılık öngörülen minimum performans seviyelerini sağladığı görülmektedir.

4. Bu çalışmada, sayısal incelemelere esas sistemler düzensizliği bulunmayan az ve orta katlı düzlem ve uzay çerçevelerdir. Doğrusal olmayan yöntem olarak artımsal itme analizi kullanılmıştır. Çalışmaya ek olarak yapılabilecek olası incelemeler, benzer sistemlerin doğrusal olmayan dinamik yöntemlerle parametrik incelenmesi olabilir.
5. Yurdumuzdaki mevcut betonarme binaları temsilen düşük beton dayanımlı ve planda düzensizlikleri bulunan binalar üzerinde benzer çalışmaların gerçekleştirilmesi, bu sayısal incelemede elde edilen sonuçlara katkı sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Çakıroğlu, A., Özer, E., Özmen, G.**, 1980. Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İTÜ Kütüphanesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [3] **Özer, E.**, 2007. *Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları*, İstanbul.
- [4] **Kaplan, S.A.**, 2003. Betonarme Temel ilkeler, Malzeme, Eğilme, Kesme, Aderans, Kullanılabilirlik. Bilbeyki Yayınları, İstanbul.
- [5] **Aydınoğlu, M.N.**, 2003. *An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation*, Bulletin of Earthquake Engineering 1: 3-36, 2003 Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- [6] **Chopra, A.K., Goel, R.K.**, 2002. *A Modal Pushover Analysis Procedure For Estimating Seismic Demands For Buildings*, Earthquake Engineering And Structural Dynamics 31:561-582, U.S.A.
- [7] **Bertero, R.D.**, 2002. *Performance-Based Seismic Engineering: The Need For A Reliable Conceptual Comprehensive Approach*, Earthquake Engineering And Structural Dynamics 31:627-652, U.S.A.
- [8] **Hadjian, A.H.**, 2002. *A General Framework For Risk-Consistent Seismic design*, Earthquake Engineering And Structural Dynamics 31:601-626, U.S.A.
- [9] **Mander, J.B.**, Priestley, M.J.N., Park, R. 1988. *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*, Journal of Structural Division, 114(8), 1804-1826 (ASCE), U.S.A.
- [10] **Bayülke, N.**, 2001. Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir
- [11] **Purut, M.**, 2004. Betonarme Bir Taşıyıcı Sistemin Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [12] **SAP 2000**, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [13] **ETABS**, 2004. Extended 3d Analysis of Building Systems, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [14] **PROBİNA ORION**, 2007. Bina Tasarım Sistemleri, Prota Yazılım Şirketi, Ankara.
- [15] **XTRACT**, 2001. Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento
- [16] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [17] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [18] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [19] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [20] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [21] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [22] **TS-498**, 1975. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Gökay UYGUN, 1982 yılında Kırıkkale’de doğmuştur. İlkokul öğrenimini Kırıkkale Tınaz İlkokulu’nda, ortaokul ve liseyi Kırıkkale Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 2000 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2004 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, aynı yıl, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen Statica Müh. Müş.ve Mim. Ltd. Şti.’nde inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.