

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR TAŞIYICI SİSTEMİN DEPREM
PERFORMANSININ DEĞİŞİK YÖNTEMLERLE
KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emrah BECEREN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

**BETONARME BİR TAŞIYICI SİSTEMİN DEPREM
PERFORMANSININ DEĞİŞİK YÖNTEMLERLE
KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emrah BECEREN
(501071029)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2010**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER (İ.Ü)
Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, 06.03.2007 Tarihli ve 26454 Sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan DBYBHY 2007’ye göre tasarımı yapılmış betonarme perde ve çerçeve taşıyıcılı bir sistemin yine DBYBHY 2007 7. bölümünde bulunan yöntemlerle performans değerlendirilmesi sunulmaktadır.

Lisans ve yüksek lisans öğrenim hayatımda kendisinden almış olduğum dersler sayesinde bana bir mühendislik bakış açısı kazandıran, tez çalışmam süresince bana değerli vaktini ayıran ve her konuda yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zekai Celep’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında, bana zamanını ayırıp yardımcı olan. İnş.Yük. Müh. Mehmet Burak Yılmaz’a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca yanımda olan, bana değer veren ve tüm kararlarıma saygı gösterip beni bu günlere getiren anneme, babama ve biricik kardeşime; verdikleri sevgi için minnettarım.

Mayıs 2010

Emrah Beceren

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Kapsamı	1
2. BETONARME YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	5
2.1 Deprem Performansının Değerlendirilmesinde DBYBHY 2007 Yaklaşımı	5
2.1.1 Binalardan Bilgi Toplanması	5
2.1.2 Yapısal Elemanların Hasar Sınırları ve Bölgeleri.....	6
2.1.3 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar	6
2.1.4 Performansın Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	8
2.1.5 Performansın Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi.....	11
2.1.5.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	12
2.1.5.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi.....	18
2.1.5.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	18
2.1.6 Bina Performansının Belirlenmesi	18
2.1.7 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	19
3. SEKİZ KATLI BİR OKUL BİNASININ DEPREM PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRMALI BELİRLENMESİ	21
3.1 Genel Yapı Bilgisi.....	21
3.1.1 Tasarım ve Performans Belirlenmesi İçin Genel Parametreler.....	21
3.1.2 Yapının Bilgisayar Modeli.....	23
3.1.3 Performans Değerlendirilmesinde Kullanılacak Eleman Rijitlikleri	24
3.1.4 Performans Değerlendirilmesi İçin Dinamik Özellikler	24
3.2 DBYBHY 2007 Doğrusal Elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Deprem Performansının Belirlenmesi.....	25
3.2.1 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü	25
3.2.2 Yapı Elemanlarının Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi.....	26
3.2.2.1 Kirişlerin Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi.....	27
3.2.2.2 Kolonların Ve Perdelerin Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi.....	29
3.2.2.3 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Kırma Kontrolü.....	32
3.2.3 Binanın Farklı Depremlerde ki Performans Seviyeleri.....	33
3.3 DBYBHY 2007 Doğrusal Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi	36
3.3.1 Kesitlerin Plastik Özelliklerinin Tanımlanması.....	36

3.3.2 Binaın Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi	39
3.3.3 Doğrusal Olmayan Tepe Yerdeğıştirmesinin Belirlenmesi	40
3.3.4 Yapı Elemanlarının Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi.....	41
3.3.5 Binaların Farklı Depremlerde ki Performans Seviyeleri.....	46
3.4 DBYBHY 2007 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi.....	48
3.4.1 Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	49
3.4.2 Kesit Hasarlarının Belirlenmesi	52
3.4.3 Binaın Farklı Depremlerdeki Performans Seviyeleri	58
3.4.4 Doğrusal Olmayan Statik ve Dinamik Çözümün Karşılaştırılması	60
4. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	69
EK A	71
EK B	73
EK C	75

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
G	: Düşey Sabit Yükler
Q	: Düşey Hareketli Yükler
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
GB	: Göçme Bölgesi
HK	: Hemen Kullanım
CG	: Can Güvenliği
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
EBYİ	: En Büyük Yer İvmesi
SAP 2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
XTRACT	: Cross-sectional X Structural Analysis of Components
ZTAH	: Zaman Tanım Alanında Hesap
AİA	: Artımsal İtme Analizi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	5
Çizelge 2.2	: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırları (r).....	9
Çizelge 2.3	: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırları (r).....	10
Çizelge 2.4	: Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırları (r)	10
Çizelge 2.5	: Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü	10
Çizelge 2.6	: Performans Şartları.....	19
Çizelge 2.7	: Binalar İçin Hedeflenen Çok Seviyeli Performans Düzeyleri.....	20
Çizelge 3.1	: Bina Modlarının Periyotları ve Karşı Gelen Etkin Kütle Oranları.....	24
Çizelge 3.2	: Tasarım Depreminde Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.....	25
Çizelge 3.3	: Tasarım Depreminde Göreli Kat Ötelemeleri	26
Çizelge 3.4	: Şiddetli Depremde Göreli Kat Ötelemeleri	26
Çizelge 3.5	: Kiriş Özellikleri.....	27
Çizelge 3.6	: K101 Kirişi Bilgileri.....	28
Çizelge 3.7	: Kolon ve Perde Özellikleri	29
Çizelge 3.8	: P20x210 1. Kat Perdesi Y doğrultulu Tasarım Depremi İçin r Değeri.....	30
Çizelge 3.9	: P20x210 1. Kat Perdesi Y Doğrultulu Şiddetli Deprem İçin r Değeri.....	31
Çizelge 3.10	: 1. Kat Kolonlarının Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği.....	32
Çizelge 3.11	: 1. Kat Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü	33
Çizelge 3.12	: Tasarım Depremi İçin Kesit Hasar Durumları	34
Çizelge 3.13	: Şiddetli Depremi İçin Kesit Hasar Durumları.....	35
Çizelge 3.14	: Kiriş Hasar Sınırları İçin Toplam Eğrilik Değerleri.....	36
Çizelge 3.15	: Kiriş Hasar Sınırları İçin Dönme Faktörleri.....	37
Çizelge 3.16	: K122 Kirişi İçin Toplam Eğrilik	39
Çizelge 3.17	: Y Doğrultusu İçin İtme ve Modal Kapasite Eğrileri	40
Çizelge 3.18	: 1.Kat Kolon- Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü	45
Çizelge 3.19	: 1.Kat Kolonlarının Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği.....	45
Çizelge 3.20	: 1.Kat Kirişleri Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği.....	46
Çizelge 3.21	: Tasarım Depremi İçin Eleman Hasar Durumları	47
Çizelge 3.22	: Şiddetli Deprem İçin Eleman Hasar Durumu.....	48
Çizelge 3.23	: 1.Kat Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü.....	56
Çizelge 3.24	: 1.Kat Kolonlarının Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği.....	57
Çizelge 3.25	: Kat Kirişleri Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği.....	58
Çizelge 3.26	: Tasarım Depremi İçin Eleman Hasar Durumları	59
Çizelge 3.27	: Şiddetli Deprem İçin Eleman Hasar Durumu.....	60
Çizelge 3.28	: Y Doğrultusu İçin Normalize Edilmiş Kat Ötelemeleri.....	61
Çizelge A.1	: Doğrusal Elastik Yöntem İçin 1.Kat Kirişlerin Hasar Durumları	72
Çizelge C.1	: Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi.....	76
Çizelge C.2	: Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi.....	76

Çizelge C.3 :	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi.....	77
Çizelge C.4 :	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi.....	77
Çizelge C.5 :	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi.....	78
Çizelge C.6 :	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi.....	78
Çizelge C.7 :	Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi.....	79
Çizelge C.8 :	Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi.....	79
Çizelge C.9 :	Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi.....	80
Çizelge C.10:	Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi.....	80
Çizelge C.11:	Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi.....	81
Çizelge C.12:	Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi.....	81
Çizelge C.13:	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzde.....	82
Çizelge C.14:	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi.....	82
Çizelge C.15:	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi.....	83
Çizelge C.16:	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi.....	83
Çizelge C.17:	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi.....	84
Çizelge C.18:	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.....	6
Şekil 2.2	: Modal Kapasite Diyagramı-1	16
Şekil 2.3	: Modal Kapasite Diyagramı-2	17
Şekil 3.1	: Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Modeli	23
Şekil 3.2	: 1. Kat P20×210 Perdesi Tasarım Depremi Altında Hasar Durumları....	30
Şekil 3.3	: 1. Kat P20×210 Perdesi Şiddetli Deprem Altında Hasar Durumları.....	31
Şekil 3.4	: Kiriş Kesitinin Gerilme Şekil Değiştirme Diyagramı	37
Şekil 3.5	: Y Doğrultusu Talep ve Kapasite Eğrileri	41
Şekil 3.6	: Y Doğrultusundaki Tasarım Depremi Etkisiyle Plastikleşen Kesitler ..	42
Şekil 3.7	: Y Doğrultusundaki Şiddetli Deprem Etkisiyle Plastikleşen Kesitler.....	43
Şekil 3.8	: Y Doğrultulu Tasarım ve Şiddetli Deprem Etkisinde S101- S104 Kolonlarında Oluşan Hasar Durumu.....	44
Şekil 3.9	: LA01 Depreminin İvme Kaydı	50
Şekil 3.10	: LA04 Depreminin İvme Kaydı	50
Şekil 3.11	: BO27 Depreminin İvme Kaydı	51
Şekil 3.12	: Analizde Kullanılacak Olan Depremlerin Elastik İvme Spektrumları	51
Şekil 3.13	: LA01 Tasarım Dep.Etkisiyle Plastikleşen Kesitler.....	52
Şekil 3.14	: LA04 Tasarım Depremi Etkisiyle Plastikleşen Kesitler.....	53
Şekil 3.15	: BO27 Tasarım Depremi Etkisiyle Plastikleşen Kesitler	54
Şekil 3.16	: Y Doğrultulu Tasarım Depremi ve Şiddetli Depremde S101 -S201 Kolonları Hasar Durumu.....	55
Şekil 3.17	: Donatı Oranı %3 olan S101 ve S201 Kolonları Hasar Durumları	56
Şekil 3.18	: Y Doğrultulu Deprem İçin ZTAH ve AİA Tepe Deplasman-İvme Grafiği	61
Şekil B.1	: 1 Kat Kalıp Planı(Zemin Kat).....	74

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
A_o	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
$a_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
c	: Tarafsız eksen uzunluğu
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
$d_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
f_{cm}	: DBYBHY 2007 Bölüm 7.2'ye göre tanımlanan mevcut beton dayanımı [2]
f_{ym}	: DBYBHY 2007 Bölüm 7.2'ye göre tanımlanan mevcut donatı çeliği akma dayanımı [2]
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)
G	: Sabit yük simgesi
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği)
I	: Bina önem katsayısı
I_{22}, I_{33}	: SAP2000'de çubuk elemanın lokal eksenlerdeki eylemsizlik momentleri
K_o	: Zemin yatak katsayısı
L_p	: Plastik mafsal boyu
M_{x1}	: Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın birinci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{y1}	: Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın birinci doğal titreşim modundaki etkin kütle
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i : W_i / g$)

N	: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
n	: Hareketli Yük Katılım Katsayısı
N_D	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan aksenal kuvvet
Q	: Hareketli yük simgesi
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_a(T)	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait Dayanım Azaltma Katsayısı
S(T)	: Spektrum Katsayısı
S_{ae}(T)	: Elastik spektral ivme [m/s ²]
S_{ae1}⁽¹⁾	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
S_{de1}⁽¹⁾	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme
T	: Bina doğal titreşim periyodu [s]
T₁	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
V_i	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
V_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
W_i	: Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
ω₁	: Başlangıçtaki (i:1) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
u_{xN1}⁽ⁱ⁾	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
u_{xN1}^(p)	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_e	: Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
V_{x1}⁽ⁱ⁾	: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti
ε_{cg}	: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
φ_p	: Plastik eğrilik istemi
φ_t	: Toplam eğrilik istemi
φ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
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
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
θ_p	: Plastik dönme istemi
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan ve DBYBHY 2007 Bölüm 3.2.8'e göre "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş enine donatının hacımsal oranı [2]
ρ_{sm}	: DBYBHY 2007 Bölüm 3.3.4, 3.4.4 veya 3.6.5.2'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı [2]
ΔF_N	: Binanın N'inci katına (tepesine) etkileyen ek eşdeğer deprem yükü
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{maks}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{min}$	: Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
δ_{maks}	: Binanın maksimum temel deformasyonu
δ_{min}	: Binanın minimum temel deformasyonu
γ_m	: Malzeme katsayısı
β_x, β_y	: Birinci hakim titreşim moduna ait etkin kütle'nin toplam yapı kütle'sine oranı
σ_{maks}	: Maksimum zemin gerilmesi
σ_{min}	: Minimum zemin gerilmesi
$\sigma_{z,em}$	: Zemin emniyet gerilmesi

BETONARME BİR TAŞIYICI SİSTEMİN DEPREM PERFORMANSININ DEĞİŞİK YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Mevcut yapı stokunun deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve gerektiğinde yapıların güçlendirilerek deprem nedeni ile yaşanabilecek can ve mal kaybının azaltılması, günümüzde inşaat mühendisliğinin önemli çalışma konuları içerisinde yer almaktadır. Kapasite tasarımı ilkeleri olarak bilinen kurallar sayesinde, doğrusal yöntemlerle (kuvvet esaslı) tasarlanmış yapıların deprem etkisi altında malzeme bakımından doğrusal olmayan bir davranış sergilemesi günümüz yönetmeliklerinde istenen bir durumdur.

Bu tez çalışması kapsamında bu yöntemlere ait özet bilgiler verildikten sonra, kuvvet esaslı yöntem ile tasarlanan bir betonarme sistemin kuvvet ve şekil değiştirme esaslı değerlendirilmesi yapılarak yapının nasıl bir deprem performansı sergilediği incelenmiştir.

Dört bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde, konuya giriş yapılmış ve binaların deprem performansının değerlendirilmesi konusunun ne amaçla ortaya çıktığı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, 2007 yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” kapsamında yönetmeliğin yedinci bölümünde bulunan mevcut yapıların değerlendirilmesi ile ilgili genel kurallar ve yönetmelik şartları açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, 2007 yönetmeliğine göre tasarlanmış sekiz katlı perde ve çerçeve yatay taşıyıcılı betonarme bir okul binası için yönetmeliğin yedinci bölümünde bulunan üç farklı yöntemle göre performans düzeyleri belirlenmiştir. Kullanılan yöntemlerden doğrusal elastik değerlendirme yaklaşımı, kuvvet esaslı bir yaklaşımdır. Diğer iki yöntem olan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ise şekil değiştirme esaslı yöntemlerdir.

Dördüncü bölümde, yukarıda bahsedilen yöntemler karşılaştırılmıştır.

SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE ACCORDING TO THREE DIFFERENT METHOD AND COMPARISON OF RESULTS

SUMMARY

Evaluation of existing reinforced concrete buildings and if necessary making reduction in loss of life and property owing to earthquake by strengthening buildings are among the main study subjects of the civil engineering. Design of structural elements based on capacity design principles provides an opportunity to design the elements so that they have inelastic deformation capacity even if they are designed by using the linear (force-based) method.

In the context of this thesis, after giving brief information about these methods, seismic performance of a reinforced concrete structure that was initially designed according to the force-based design method is evaluated based on the force and deformation controlled design requirements.

The thesis consists of four chapters. In the first chapter, general information about the content of the thesis is given and the necessities of the seismic performance assessment for the structural design are explained with its reasons.

In the second chapter, code principles and requirements about the seismic evaluation of existing structures are explained based on the Chapter 7 of Specifications for the Structures to be Built in Seismic Zone (a.k.a Turkish Seismic Code 2007 “TSC-07”).

In the third chapter, seismic performance level of 8-story reinforced concrete structure that is a dual-system school building with structural walls and moment resisting frames is evaluated according to three different methods included in Chapter 7 of the TSC-07 code. One of the assessment methods used in the evaluation is force-based linear elastic method. Other two methods are deformation-based methods, which are incremental equivalent earthquake load method and non-linear time history method.

The results obtained from the assessment according to these three methods are compared in the last chapter.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Kapsamı

Binlerce yıl boyunca bu ülke, can ve mal kaybına neden olan büyük depremlere maruz kalmıştır. Özellikle son yıllarda meydana gelen 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Ceyhan, 1999 Marmara, 1999 Düzce, 2002 Afyon ve 2003 Bingöl depremlerinden sonra Türkiye’de deprem konusunda mevcut teknik bilgilere yönelik ve artan bir ilgi izlenmektedir. Bilindiği gibi depremin kendisinin değil, yıkılan binaların insanları öldürdüğü göz önüne alındığında, uzun vadede depreme hazırlıklı olmanın depreme dayanıklı binalarda yaşamaktan başka çözümü olmadığı açıktır. Ülkemizde endüstri ve yerleşimin en yoğun olduğu Marmara Bölgesi, Kuzey Anadolu Fayı’nın etkisi altındadır. Çeşitli çalışmalar, bu bölgede 1999 sonrası beklenen depremin, 30 yıl içinde %60 ($\pm$ %15) olasılıkla 7 ve daha büyük bir deprem olacağını göstermektedir [1].

Yapı tasarımının genel amacı, belirlenen bir etkiye karşı yapıda gerekli dayanımı sağlamaktır. Klasik yapı tasarımı yaklaşımında etki ve dayanım genel olarak kuvvet türünden ifade edilir. Bu durumda verilen dış kuvvetler altında iç kuvvet dağılımları hesaplanır ve yapı elemanları bu kuvvetleri karşılayacak dayanıma sahip olacak biçimde tasarlanır. Diğer yandan yapıda meydana gelen deformasyonların belirli sınırları aşmaması da yapının servis koşullarını sağlaması için gereklidir.

“Kapasite Tasarımı İlkeleri” olarak bilinen ilkeler sayesinde doğrusal yöntemlerle tasarlanmış yapılar istenilen doğrusal olmayan davranışları gösterebilmektedir. Bu ilkelerin esas amacı yapıda istenilen süneklik düzeyini sağlamaktır. Süneklik ise bir yapının plastik şekildeğiştirme yapabilme yeteneğidir. Sünekliğin sayısal tanımı ise, güç tükenmesi durumu ile elastik sınır şekildeğiştirmenin oranı olarak yapılabilir. Süneklik herhangi bir etki ve karşı gelen şekildeğiştirme için tanımlanabilir [2]. Tüm bu sonuçlar dahilinde doğrusal olarak tasarlanan yapılara gelecek deprem yükleri “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı” ile azaltılıp yapıya etkitilmektedir. 1998 ve 2007 deprem yönetmeliklerinde de tanımlanan, ve taşıyıcı sistem tipine göre deprem

yükünün 4~8 kat azaltılmasını sağlayan, Ra Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı sadece bu yönetmeliklerde tarif edilen kurallar altında boyutlandırılan ve donatılan betonarme yapılar için geçerlidir. İşte bu sebepten, özellikle mevcut yapıların değerlendirilmesinde, performansa dayalı değerlendirme olarak isimlendirilen yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur.

Mevcut kapsamlı yapı değerlendirme yöntemlerinin temel amacı güçlendirilecek yapıların performanslarının, öngörülen bir deprem etkisi altında çeşitli analiz yöntemleri ile tahmin edilmesidir. Ülkemizde DBYBHY 2007' de tariflenen hesap yöntemlerini doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (non-lineer) olarak iki genel gruba ayırmak mümkündür. Bu 2 farklı yaklaşımla yapıların deprem performansı belirlenebilmektedir [3]. Bu yaklaşımlardan ilki, depremde bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemleri ile belirlenmesidir. Bu hesap yöntemi genellikle kuvvet esaslı değerlendirme yöntemi için kullanılır. Yapının üç boyutlu (bazı özel durumlar altında iki boyutlu) modelinin oluşturulması gereklidir. İncelenecek olan yapının hesap ve modellemesi için gerekli olan boyut, plan krokisi, eleman detayları ve malzeme özellikleri gibi mevcut verilerine ihtiyaç vardır. İkinci bir yaklaşım da, depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile belirlenmesidir. Bu yöntem şekildeğiştirme esaslı olup, yapıların daha kapsamlı ve detaylı değerlendirilmesi açısından uygun bir yöntemdir. Yönetmelikte tanımlanan; artımsal itme analizi, artımsal mod birleştirme analizi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ilgili şartlar dahilinde performans değerlendirilmesi işleminde kullanılabilmektedir.

Performansa dayalı değerlendirmenin dünyadaki gelişimi Vision 2000 (1995) [4], ATC-40 (1996), FEMA 273, 274 (1997) çalışmaları ile hazırlanmıştır [5, 6]. Bu gelişim çalışması esnasında çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu analiz yöntemleri temel varsayımları bakımından iki grupta incelenebilir:

1. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmenin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığını gözönüne alındığı çalışmalar ve yöntemler
2. Plastik mafsallı hipotezine dayanan yöntemler

Bu yöntemlerin geliştirilmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [7, 8].

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda ABD' nin deprem bölgelerinde ki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Bu kapsamda, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC 40 projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273, 274 yayınları gerçekleştirilmiştir [5-6]. Daha sonra bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütölmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu hazırlanmıştır [9].

Bu tez çalışmasında, 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış sekiz katlı perde ve çerçeve yatay taşıyıcılı betonarme bir okul binasının , yine aynı yönetmelikte bulunan üç farklı yöntemle göre performans düzeyleri belirlenmiştir. Kullanılan yöntemlerden eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal elastik değerlendirme yaklaşımı kuvvet esaslı bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımla, kesitlerin deprem istemi belirlenmeden dolayı yoldan hasar belirlenmiştir. Diğer iki yöntemden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ilk yöntem gibi statik bir yöntem olmasına rağmen doğrusal olmayan bir yöntem olduğu için yapının deprem altındaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme istemi ve dolayısıyla kesit hasarları doğrudan belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde ise belirli sayıda deprem kaydının yapıya etkilmesi sonucunda yapının iç kuvvet ve şekildeğiştirme talebi doğrusal olmayan dinamik analizle hesaplanmıştır.

2. BETONARME YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1 Deprem Performansının Değerlendirilmesinde DBYBHY 2007 Yaklaşımı

Bu bölümde, DBYBHY 2007' nin mevcut yapıların değerlendirilmesi ile ilgili bölümü hakkında bilgi verilmiştir. Hem doğrusal yöntem hemde doğrusal olmayan yöntemin kullanılabilmesi için başlangıç aşamasında yapılması gerekenler ile ilgili maddeler yer almaktadır. Bu kısımda yer alan maddeler doğrudan DBYBHY 2007'den alınmıştır [3].

2.1.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Deprem güvenliği değerlendirilecek mevcut bir binada yapılacak olan durum saptaması çalışmalarının temel hedefi binayı tanımdır. Durum saptaması çalışması sonucunda binadan toplanacak bilgi, binanın performans değerlendirilmesi için hazırlanacak analitik yapı modelinin oluşturulmasında ve performans hesabı sonuçlarının değerlendirilmesinde etkilidir. Yapıların deprem performansının belirlenmesinde kullanılacak bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özellikleri bilgilerinin tanımlanan farklı bilgi düzeyleri için hangi şartları sağlaması gerektiği bu bölümde tariflenmektedir. Bu amaç dahilinde betonarme binalar için sınırlı, orta ve kapsamlı olmak üzere üç farklı bilgi düzeyi tariflenmiştir. Ayrıca deprem yönetmeliği binalardan bilgi toplanması kapsamında tanımlanan inceleme, veri toplama, derleme, değerlendirme, malzeme örneği alma ve deney yapma işlemlerinin inşaat mühendislerinin sorumluluğu altında yapılmasını şart koşmuştur. Çizelge 2.1'de yönetmelikte tariflenen bina bilgi düzeylerine karşılık gelen bilgi düzeyi katsayıları sunulmuştur.

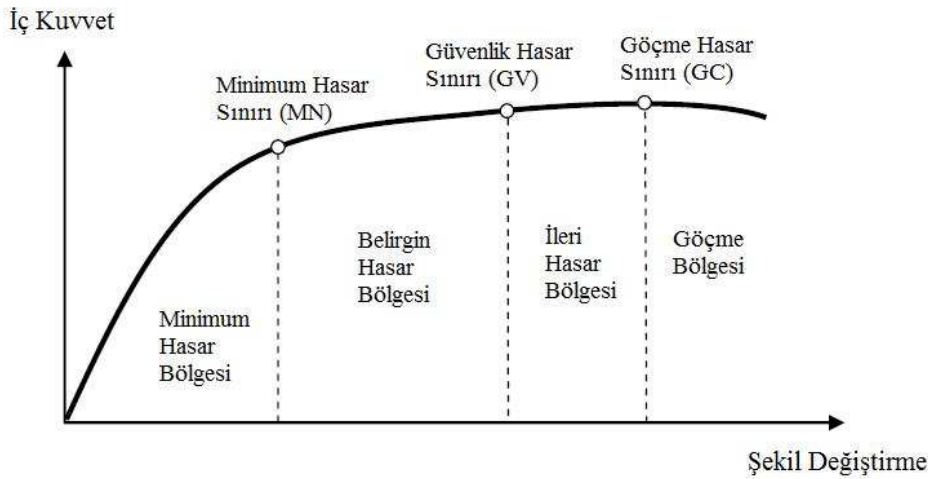
Çizelge 2.1 : Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

2.1.2 Yapısal Elemanların Hasar Sınırları ve Bölgeleri

Deprem hasarları kiriş, kolon, perde ve birleşim bölgesi gibi taşıyıcı elemanlarda meydana gelir. Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılacaktır. Gevrek olarak hasar gören elemanlar, diğer bir tanımla kesme kapasitesi aşılmış olan elemanlar göçmüş kabul edilir. Sünek olarak hasar gören elemanların hasarları ise hesaplanan iç kuvvet veya birim şekil değiştirme düzeylerine göre derecelendirilir. Bu iki eleman tanımı, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgilidir.

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bu sınırlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.1’te tariflendiği üzere: kritik kesitleri MN’ye ulaşmayan 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. Bu sınırların sadece sünek eleman için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Gevrek elemanlar için minimum güvenlik sınırının aşılmasına bile izin verilmez.



Şekil 2.1 : Kesit hasar sınırları ve bölgeleri

2.1.3 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar

Aşağıda, deprem yönetmeliği kapsamında mevcut veya güçlendirilmiş binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin her ikisi içinde kullanılacak genel ilke ve kurallar tariflenmiştir.

- Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır ($I=1.0$). Farklı aşılma olasılıklı depremler için elastik spektrum üzerinde gerekli düzeltmeler yapılacaktır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin özellikleri yönetmeliğin 6. bölümüne göre belirlenecektir.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlilik uygulanmayacaktır.
- Yönetmeliğin 3. bölümüne göre tariflenen kısa kolon durumuna düşürülmüş olan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- Betonarme kesitlerin etkileşim diyagramları bu paragraftaki bilgiler doğrultusunda tanımlanır. Beton ve donatı çeliği için, yönetmelikteki binalardan bilgi toplanması bahsinde tanımlanan mevcut dayanımları kullanılır. Betonun en büyük basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin en büyük birim şekil değıştirmesi ise 0.01 alınabilir. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılabilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri aşağıdaki tariflenmiştir. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Kirişlerde $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

Kolon ve Perdelerde, $ND/(Acfc_m) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

$ND/(Acfc_m) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_0$

- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.

- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatı akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir
- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zeminin şekil değiştirme özellikleri yapı modeline yansıtılacaktır.
- Yönetmeliğin 2. bölümündeki modelleme ile ilgili diğer esaslar geçerlidir.

2.1.4 Performansın Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Mevcut binalarda iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin hesaplanması için kullanılan hesap yöntemleri, yönetmeliğin 2. bölümünde yeni binalar için verilen hesap yöntemleri ile yaklaşık olarak aynıdır. Binaların deprem performansının doğrusal elastik yöntem ile hesaplanmasında eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olmak üzere iki tip yükleme biçimi kullanılabilir. Bu hesap yöntemi genellikle kuvvet esaslı değerlendirme yöntemi için kullanılır. Yapının üç boyutlu modelinin oluşturulması gereklidir. İncelenecek olan yapının hesap ve modellemesi için gerekli olan boyut, plan krokisi, eleman detayları ve malzeme özellikleri gibi mevcut verilerine ihtiyaç vardır. Aşağıda belirtilenler DBYBHY 2007’ te tariflenen bu yöntemlere uygulanacak ek kurallardır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için yapının bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmaması gereklidir. Ayrıca yapının burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ şartının sağlamalıdır. Yapıya etkilenecek eşdeğer deprem yükü Denklem (2.1)’te tanımlanmıştır. Burada λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğer binalarda 0.85 alınacaktır.

$$V_t = W A(T) \lambda \quad (2.1)$$

Mod birleştirme yönteminin uygulanması için yönetmelikte herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Mod birleştirme yönteminde kullanılacak olan elastik spektral ivme Denklem (2.2)’da tanımlanmıştır.

$$S_{aR}(T_n) = S_{ae}(T_n) \quad (2.2)$$

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesi için doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanıldığında hasar miktarı kiriş, kolon ve perde elemanları kritik kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilmektedir. 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 edilmektedir (2.3). Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkı olarak hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{M_e}{M_r - M_{g+q}} \quad (2.3)$$

Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman sayılabilmesi için kritik eğilme kapasitesi ile uyumlu hesaplanan kesme kuvveti V_e 'nin bilgi düzeyi katsayısı kullanılarak (gerekirse azaltma yapılarak) TS500'e göre hesaplanan V_r kesme kapasitesini aşmaması gerekir. V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momenti yerine taşıma gücü momenti kullanılacaktır. Deprem performansı değerlendirilmesinde kolon (2.4), kiriş (2.5) ve perdeler (2.6) için kullanılacak V_e değeri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\text{Kolonlarda } V_e = (M_a + M_{ii})/l_n \quad (2.4)$$

$$\text{Kirişlerde } V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n \quad (2.5)$$

$$\text{Perdelerde } V_e = [(M_p)_t / (M_d)_t] V_d \quad (H_w/l_w > 2.0) \quad (2.6)$$

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları, Çizelge 2.2-2.4'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Çizelge 2.2-2.4'deki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır. Betonarme binalarda kolon ve perdelerin eksenel yükleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan (r) katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanacaktır.

Çizelge 2.2 : Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ct}} \quad (1)$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Çizelge 2.3 : Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ct}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Çizelge 2.4 : Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırları (r)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3 de bulunan oranlar;

$$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \quad (2.7)$$

$$\frac{V}{b_w d f_{ct}} \quad (2.8)$$

formülleri yardımı ile hesaplanır. Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katında kolon veya perdelerin görelî kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Çizelge 2.5’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hasar bölgelerine karar verilecektir. Bu karşılaştırmanın daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda r katsayıları ile belirlenen hasar yerine bu daha olumsuz olan hasar bölgesi kullanılacaktır.

Çizelge 2.5 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ij}	0.01	0.03	0.04

2.1.5 Performansın Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

2007 Deprem Yönetmeliği'nde doğrusal olmayan davranışa ait performans değerlendirmesi için üç ayrı yöntem verilmektedir. Deprem etkileri altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekil değiştirme ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır. Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir.

Artımsal itme analizi veya zaman tanım alanında hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.9)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriligi, Denklem (2.9) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.10)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denklem (2.10) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

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

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0.0035 \quad ; (\epsilon_s)_{MN}=0.010 \quad (2.11)$$

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

$$(\epsilon_{cg})_{GV}=0.0035+0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; (\epsilon_s)_{GV}=0.040 \quad (2.12)$$

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

$$(\epsilon_{cg})_{GÇ}=0.004+0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.060 \quad (2.13)$$

Eleman hasar sınırlarından bağımsız olarak, tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımları TS-500'e göre belirlenecektir. Kesme kuvveti dayanımı hesabında, bilgi düzeylerine göre belirlenen mevcut dayanım değerleri kullanılacaktır.

Alt bölümlerde doğrusal olmayan üç yöntem için genel hesap adımları özetlenmiştir.

2.1.5.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bu yöntem doğrusal elastik sistemler için eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabildiği binalara uygulanır. Eşdeğer statik yatay yük dağılımı doğrusal elastik sistem ile aynı şekilde hesaplanır, ancak adım adım arttırılarak uygulanır. Deprem sırasında binanın en fazla zorlandığı duruma bu şekilde ulaştığı varsayılır. Binaların deprem performanslarının Artımsal İtme Analizi yöntemi ile değerlendirmesinde izlenen adımlar aşağıda özetlenmiştir:

a) Bölüm 2.2.3'te tanımlanan genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında 2.1.2 plastik mafsallı hipotezi bölümünde bahsi geçen doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.

b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik taşıyıcı sistem analizi yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, farklı aşılma olasılıklı depremler için elastik davranış spektrumu göz önüne

alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dñnmeler) ve i kuvvet değerleri hesaplanır.

d) Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yñntemi ile yapılması durumunda, gñz önüne alınan bñtñn modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir. Bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dñnmeler) ve i kuvvet değerleri hesaplanır.

e) Plastikleşen (sñnek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dñnme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve ardından toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit dñzeyinde çeşitli hasar sınırları için yñnetmelięin ilgili bñlñmñnde tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit dñzeyinde sñnek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yñnetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit dñzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yñkü Yñntemi’nin amacı, birinci (deprem doğrultusun da ki hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yñklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Dñřey yñk analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve i kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kñmñlatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yñkü Yñntemi’nin kullanılabilmesi için, Bñlñm 2.2.4’ñn 2. paragrafında belirtilmiş olan koşullara ek olarak (hakim) titreşim moduna ait etkin kñtlenin toplam bina kñtlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kñtleleri hariç) oranının en az 0.70 olması koşulu sağlanmalıdır.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yñkü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yñk dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için

hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır.

Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümüyle, koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (2.14)$$

Denklem (2.14)’de $V_{x1(i)}$ deprem doğrultusunda birinci (hakim) moda ait (i)’inci itme adımı sonunda elde edilen taban kesme kuvvetini, M_{x1} deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleli göstermektedir.

(b) (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yerdeğiştirme $d_1^{(i)}$ ’nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (2.15)$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve birinci doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1 ’den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.16)$$

Yukarıda tariflendiği üzere sabit bir yük dağılımı ile yapıyı itmeye alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken (single mode adaptive pushover) olarak göz önüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler göz önüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile farklı aşılma olasılıkları için tanımlanan elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanacaktır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_{1(p)}$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} ’e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (2.17)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait T_1 (1) başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} ’e bağlı olarak Denklem (2.18) ile elde edilir:

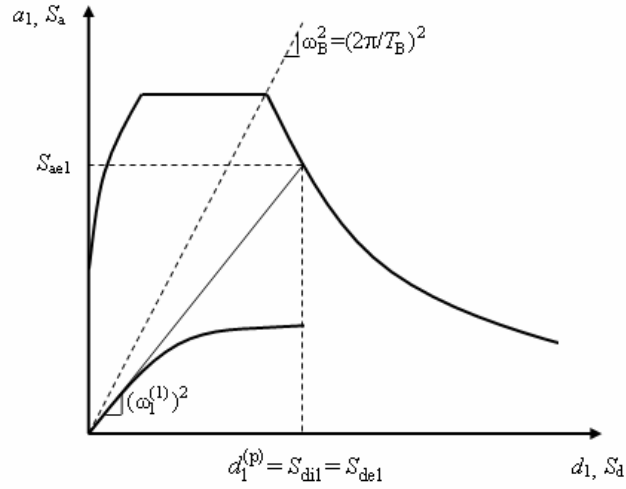
$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.18)$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} ’den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (2.19)$$

Burada C_{R1} 1. moda ait spektral yerdeğiştirme oranıdır. Herhangi bir doğrultu için doğrusal elastik davranan binanın etkin rijitlik kullanılarak hesaplanan hakim periyodu zeminin T_B periyodundan Şekil 2.2’te gösterildiği gibi büyük ise C_{R1} değeri Denklem (2.20)’de verilmiştir. Eğer yukarıdaki şart sağlanmaz ise Şekil 2.3’da görülen α_{y1} esas alınarak C_{R1} aşağıda Denklem (2.21)’de verildiği şekilde

tanımlanır. C_{R1} ardışık yaklaşım yapılarak bulunacaktır. Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1}=1$ kabulü yapılır.



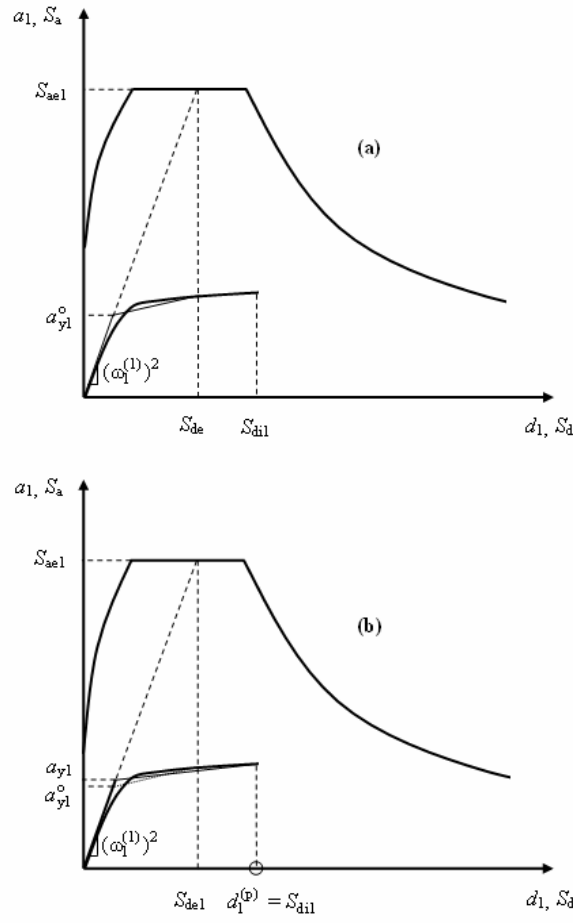
Şekil 2.2 : Modal Kapasite Diyagramı-1

$$C_{R1} = 1 \quad (2.20)$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.21)$$

Bu bağıntıda R_{y1} Denklem (2.22)'de verilen birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı'nı göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (2.22)$$



Şekil 2.3 : Modal Kapasite Diyagramı-2

Son itme adımı $i = p$ için Denklem (2.17)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_{1(p)}$ 'nin Denklem (2.15)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (2.23)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır.

Binaların deprem performanslarının Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile değerlendirmesinde izlenen adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.4'e göre, Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [3].

2.1.5.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde, önce doğrusal elastik sistemin titreşim modları hesaplanır ve her moda ait modal kuvvetler binaya birbirinden bağımsız şekilde ayrı ayrı uygulanarak statik itme analizi yapılır. Ancak her modun statik itme analizi sırasında oluşan elastik ötesi etkiler birbirinden bağımsız olamayacağı için bu durumun bazı ilave yaklaşık hesaplarla düzeltilmesi gerekir. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım artırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde “adım adım doğrusal elastik” davranışın esas alındığı bu tür bir itme analizi yöntemi.

2.1.5.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydıyla, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım ve değerlendirme için esas alınır.

2.1.6 Bina Performansının Belirlenmesi

Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için istenen performans şartları Çizelge 2.6' de tanımlanmıştır. Doğrusal veya doğrusal olmayan

hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Bunun sonucuna göre gerekiyorsa bina için güçlendirme stratejileri oluşturulur.

Çizelge 2.6 : Performans Şartları

Performans Düzeyi	Performans Şartları
Hemen Kullanım	1) Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u BHB'ne geçebilir. 2) Hiç bir katta düşey taşıyıcı elemanlar BHB'ne geçmemelidir. 3) Doğrusal hesap için kat görelî ötelemesi %1'i aşmamalıdır. 4) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
Can Güvenliğı	1) Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %30'u İHB'ne geçebilir. 2) Her bir katta İHB'ne geçen düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki toplam kesme kuvvetine oranı % 20'yi aşmamalıdır. Bu oran çatı katında %40'ı geçmemelidir. 3) Her iki ucu MN'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 4) Doğrusal hesap için kat görelî ötelemesi %3'ü aşmamalıdır. 5) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
Göçme Öncesi	*Tüm gevrek elemanlar göçme bölgesindedir varsayımı yapılır. 1) Kirişlerin en fazla % 20'si GB'ne geçebilir. 2) Her iki ucu MN'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 3) Diğer tüm elemanlar MHB, BHB veya İHB'ndedir 4) Doğrusal hesap için kat görelî ötelemesi %4'ü aşmamalıdır.
Göçme Durumu	Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

2.1.7 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Yönetmelikte yeni bina tasarımı için tanımlanan ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depreme ek olarak aşağıda iki farklı deprem tanımlanmıştır.

- 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan 50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık olarak 0.5 katı alınacaktır.

- 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık olarak 1.5 katı alınacaktır.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.7’ de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Binalar İçin Hedeflenen Çok Seviyeli Performans Düzeyleri

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Depremin Aşılma Olasılığı</i>		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı 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, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, 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	-

3. SEKİZ KATLI BİR OKUL BİNASININ DEPREM PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRMALI BELİRLENMESİ

3.1 Genel Yapı Bilgisi

Bu bölümde 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı yapılmış sekiz katlı bir okul binasının yönetmelikte bulunan doğrusal elastik (eşdeğer deprem yükü), doğrusal elastik olmayan (artımsal eşdeğer deprem yükü) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle çok seviyeli performans değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İleriki bölümlerde; 50 yılda %10 aşılma olasılıkla deprem için “tasarım depremi”, 50 yılda %2 aşılma olasılıkla deprem için “şiddetli deprem” nitelemeleri kullanılmıştır

İncelenen bina, planda boyutları 15.0mx10.0m olan ve zemin kat ve yedi normal kat olmak üzere toplam sekiz katlı betonarme bir okul binasıdır. Kat yükseklikleri her katta 3.0m dir. Taşıyıcı sistem elemanları cm cinsinden, 30x60, 40x60, 50x50 boyutlarında kolonlar, 20x270 boyutlarında perdeler, 30/60 boyutunda kirişler ve 20cm yüksekliğinde döşemelerden oluşmaktadır. Tasarım ve farklı deprem performansı belirleme yöntemleri için ortak bilgi ve ön hesaplamalar içeren yapının; tasarım ve performans değerlendirme parametreleri, performans değerlendirme için bilgisayar modeli, performans değerlendirme için eleman rijitlikleri ve performans değerlendirme için dinamik özellikleri bu kısımda aktarılmıştır.

3.1.1 Tasarım ve Performans Belirlenmesi İçin Genel Parametreler

Bina üç katlı olup, x doğrultusunda 3 eksen ve y doğrultusunda 5 eksenenden oluşmaktadır. Yapı x doğrultusunda 10.00 m ve y doğrultusunda 15.00 metredir. Bina taşıyıcı sistemi x ve y doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek perde ve süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan yerinde dökme betonarme sistemdir. Yapıda herhangi bir dilatasyon bulunmamaktadır. Temeller boyutlandırılmamış olup kolonların temele bağlanan düğüm noktalarının uzayda 6 serbestliği tutulmuştur. Yapının deprem yükleri altında davranışını belirleyebilmek için üç boyutlu model hazırlanmış, ve “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik,

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, 2007'' (DBYBHY) göz önünde tutularak verilen elastik spektrum değerleri kullanılmıştır. Yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yapı önem katsayısı $I=1.4$ olarak dikkate alınmıştır. DBYBHY gereğince elastik deprem yüklerini azaltmak amacıyla kullanılacak taşıyıcı sistem davranış katsayısı her iki doğrultu için $R=7.00$ alınmıştır.

Yapının bulunduğu yerel zemin sınıfı ''Z2'' olarak göz önüne alınmıştır. Tasarım ve Performans değerlendirmede yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmamıştır.

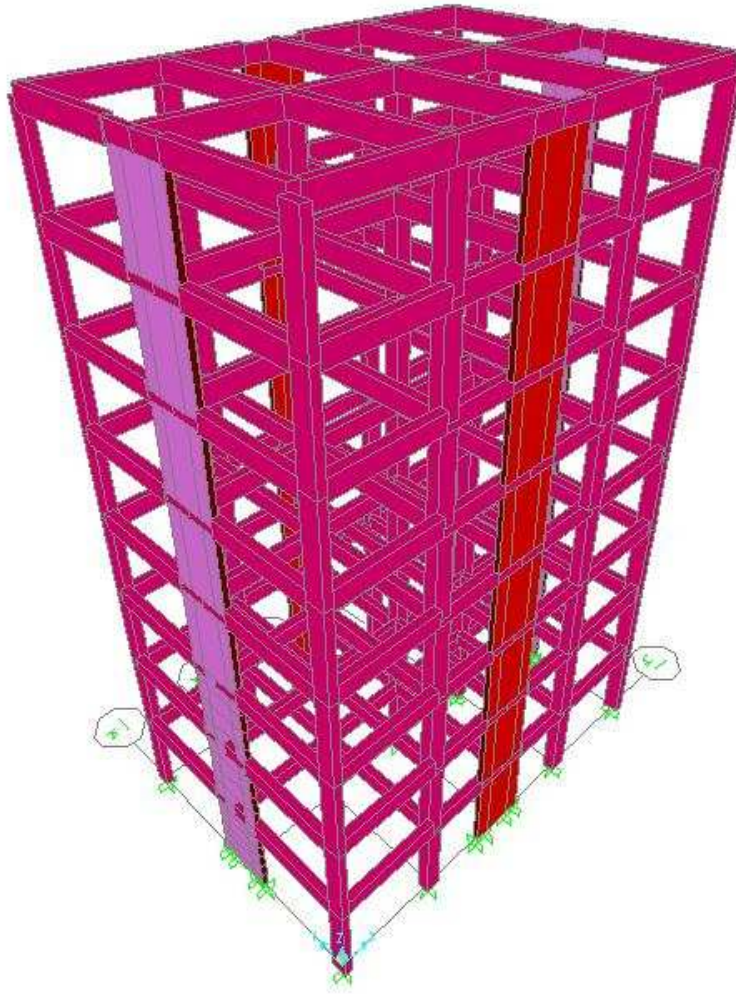
Tasarım aşamasında yapısal analizler, üç boyutlu dinamik analiz yapılabilen SAP 2000 V14.0.1 programı kullanılarak yapılmıştır. Yapının kalıp planı her kat için aynıdır. 1. kat kalıp planı Ek B'de verilmiştir. Binada performans değerlendirilmesi sadece birinci mod doğrultusunda yapılmıştır.

Yukarıda bahsedilen bilgiler ve bunlara ek olarak diğer yapı bilgileri aşağıda özetlenmiştir.

Yapı analizinde kullanılan birimler	: kN, m
Kat sayısı	: 8 Kat
Kat yüksekliği	: 3.0m (tüm katlar)
Döşeme kalınlığı	: 0.20 m
Döşeme tipi	: Kirişli plak döşeme
Hareketli yük katılım katsayısı	: 0.6
Deprem bölgesi	: 1.Deprem bölgesi
Etkin yer ivmesi katsayısı	: $A_0=0.4$
Zemin sınıfı	: Z2
Spektrum karakteristik periyotları	: $T_A=0.15s$ $T_B=0.40s$
Tasarım hesaplarında kullanılan yapı periyotları	: $T_y=0.710s$, $T_x=0.600s$
Beton sınıfı	: C30
Çelik sınıfı	: S420
Bilgi düzeyi	: Kapsamlı
Bina kullanım amacı	: Okul

3.1.2 Yapının Bilgisayar Modeli

Yapı çubuk ve alan elemanları kullanılarak modellenmiştir. Yapı modellenirken ilk önce sistemin eksenleri tanımlanmıştır. Daha sonra malzeme özellikleri kolon, kiriş, perde kesitleri tanımlandıktan sonra ilgili elemanlara atanmışlardır. Daha sonra tanımlanan özellikler ilgili çubuk ve alan elemanlarına atanarak sistemin geometrik şekli oluşturulmuştur. Bu modelde ki perde elemanlar non-lineer eleman olarak tanımlanmıştır. Elemanı oluşturan malzemeler de (beton, çelik) doğrusal olmayan özellikleri ile programa tanıtılmıştır. Döşeme yükleri kirişlere üçgen ve yamuk yayılı yük olarak etkitilmiştir. Kat döşemeleri bu bina için deprem yönetmeliğinin de izin verdiği şekilde rijit diyafram olarak tariflenmiştir. Kirişler tasarım aşamasında dikdörtgen kesit olarak boyutlandırılmıştır. Binanın bilgisayar modelinin grafiği Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Modeli

3.1.3 Performans Değerlendirilmesinde Kullanılacak Eleman Rijitlikleri

İncelenen yapı sistemi Sap2000 programında modellendikten sonra ilk olarak düşey yükler altında bir analiz yapılmıştır. Deprem yönetmeliğinde, betonarme elemanların çatladıktan sonraki yaklaşık eğilme rijitliklerini hesaba katmak için verilen, kesitteki eksenel kuvvet seviyesine göre, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri bu çalışmanın 2.2.3 bölümünde tariflenmiştir. Burada bahsi geçen eksenel kuvvet, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon ve perdede oluşan eksenel kuvvettir.

3.1.4 Performans Değerlendirilmesi İçin Dinamik Özellikler

Çatlamış kesit rijitliklerine göre düzeltilmiş yapı modeli periyotları Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Buradaki periyotların Bölüm 3.1.1’de verilmiş olan periyotlardan büyük olduğu açıkça takip edilebilir. Eleman rijitliklerinin yönetmeliğe göre azaltılması sonucu, periyodun, rijitliğin karekökünün tersi ile orantılı olması sebebiyle, yapı periyodunda kabaca %35 bir artış söz konusudur.

Çizelge 3.1 : Bina Modlarının Periyotları ve Karşı Gelen Etkin Kütle Oranları

Mod	Periyot	Etkin Kütle Oranları	
		Y-Doğ.	X-Doğ.
1	0.954643	0.75	0
2	0.800386	0	0.76
3	0.648267	0	0
4	0.273713	0.12	0
5	0.237733	0	0.12
6	0.186544	0	0
7	0.131205	0.05	0
8	0.119079	0	0.04
9	0.093935	0	0
10	0.089642	0	0
11	0.087702	0	0
12	0.07677	0	0

3.2 DBYBHY 2007 Doğrusal Elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Deprem Performansının Belirlenmesi

Deprem yönetmeliğine göre , okul binasının 50 yılda %10 aşılma olasılıklı depremde “Hemen Kullanım”, 50 yılda %2 aşılma olasılıklı depremde “Can Güvenliği” performans seviyelerini sağlaması gerekmektedir. Deprem yüklerinin hesaplanmasında Denklem (2.1) esas alınmıştır. Binanın yatay yükler altındaki analizinde ek dışmerkezlik uygulanmamıştır. Denklem (2.1)’teki λ katsayısı yönetmelikte tanımlandığı gibi sekiz katlı bina için 0.85 alınmıştır. Elde edilen deprem yükü 50 yılda %10 aşılma olasılıklı deprem için yapıya etkitilmiştir. Sistem doğrusal denklem takımlarından oluştuğu için bulunan iç kuvvetler 1.5 ile çarpılıp 50 yılda %2 aşılma olasılıklı depremin (tasarım depremi) yapıda meydana getirdiği iç kuvvetler bulunmuştur.

$$V_t = W A(T) \lambda = (1785.06kNs^2/m \times 9.81m/s^2) \times (0.4 \times 1.25) \times (0.85) = 7442.37kN$$

Çizelge 3.2 : Tasarım Depreminde Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğüleri

Kat	H (m)	H _i (m)	F _x (kN)	F _y (kN)
8	3	24	2290	2002
7	3	21	1557	1361
6	3	18	1334	1166
5	3	15	1112	972
4	3	12	890	778
3	3	9	667	583
2	3	6	445	389
1	3	3	223	195

3.2.1 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Yönetmelik Çizelge 7.6’da tanımlandığı gibi göreli kat ötelenmelerinin belirli bir sınırı geçmesi durumunda doğrusal elastik yöntemde göreli kat ötelenmeleri, performansı belirleyen faktör durumuna gelmektedir.

Çizelge 3.3 : Tasarım Depreminde Göreli Kat Ötelemeleri

X Doğrultusunda			
Kat	$d_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}/h_i$
8.Kat	0.0380	0.0030	0.0010
7.Kat	0.0350	0.0040	0.0013
6.Kat	0.0310	0.0050	0.0017
5.Kat	0.0260	0.0050	0.0017
4.Kat	0.0210	0.0060	0.0020
3.Kat	0.0150	0.0069	0.0023
2.Kat	0.0081	0.0055	0.0018
1.Kat	0.0026	0.0026	0.0009

Y Doğrultusunda			
Kat	$d_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}/h_i$
8.Kat	0.0490	0.0040	0.0013
7.Kat	0.0450	0.0060	0.0020
6.Kat	0.0390	0.0060	0.0020
5.Kat	0.0330	0.0080	0.0027
4.Kat	0.0250	0.0080	0.0027
3.Kat	0.0170	0.0075	0.0025
2.Kat	0.0095	0.0065	0.0022
1.Kat	0.0030	0.0030	0.0010

Çizelge 3.4 : Şiddetli Depreminde Göreli Kat Ötelemeleri

X Doğrultusunda			
Kat	$d_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}/h_i$
8.Kat	0.0570	0.0045	0.0015
7.Kat	0.0525	0.0060	0.0020
6.Kat	0.0465	0.0075	0.0025
5.Kat	0.0390	0.0075	0.0025
4.Kat	0.0315	0.0090	0.0030
3.Kat	0.0225	0.0104	0.0035
2.Kat	0.0122	0.0083	0.0028
1.Kat	0.0039	0.0039	0.0013

Y Doğrultusunda			
Kat	$d_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\delta_{i,max}/h_i$
8.Kat	0.0735	0.0060	0.0020
7.Kat	0.0675	0.0090	0.0030
6.Kat	0.0585	0.0090	0.0030
5.Kat	0.0495	0.0120	0.0040
4.Kat	0.0375	0.0120	0.0040
3.Kat	0.0255	0.0113	0.0038
2.Kat	0.0143	0.0098	0.0033
1.Kat	0.0045	0.0045	0.0015

Yapı her iki doğrultuda kat ötelenmesi açısından, performans seviyeleri, için verilen sınırlar içerisinde.

3.2.2 Yapı Elemanlarının Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

Kolon, perde ve kirişin eğilme kapasiteleri, malzemenin mevcut dayanım değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Okul binası DBYBHY 2007 kurallarına uygun tasarlandığı için kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu sağlanmıştır. Bu bölümde, kolon ve perdelerin etki kapasite oranları yardımı ile kesit hasar bölgeleri bulunur. İlgili kesme kontrolleri yapıp kesitlerin sünek güç tükenmesi davranışı ya da gevrek güç tükenmesi davranışından hangisini sergileyeceği belirlenir ve gerekirse güçlendirme stratejisinde zayıf elemanlar güçlendirilir. Ayrıca kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği kontrolü yapılır.

3.2.2.1 Kirişlerin Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

Okul binasında tüm kirişler 30 cm genişliğinde ve 60 cm yüksekliğindedir. Bu kirişler Çizelge 3.5’de verildiği gibi tek tip donatı düzenine sahiptir. Bu çizelgede görülen üst donatı negatif moment, alt donatı ise pozitif moment için konulmuştur.

Çizelge 3.5 : Kiriş Özellikleri

Kesit Tipi	Üst Donatı	Üst Donatı Alanı	$M_r (-)$	Alt Donatı	Alt Donatı Alanı	$M_r (+)$
	-	cm ²	kNm	-	cm ²	kNm
1	4Ø20	12.5	232	2Ø20	6.20	121

Binaların doğrusal elastik yöntemle değerlendirilmesi kapsamında kiriş elemanların hasar durumlarını belirlerken bir prosedür izlenmiştir. Öncelikle M_r değeri herhangi bir kirişin herhangi bir ucu için deprem yönüne bağlı olarak hesaplanır. Daha sonra yönetmelikte tariflendiği şekilde düşey ve yatay yüklemeler yapılmış bilgisayar modelinden V_{dy} , M_{g+q} ve M_e değerleri alınır. Çizelge A.1’de $1.0M_e$ kolonu Çizelge 3.2’de hesaplanan tasarım depremi yükleri altındaki herhangi bir elemandaki moment değeridir. Sistem doğrusal olduğu için sistemde süperpozisyon geçerlidir. Sonuç olarak Çizelge A.1’de $1.5M_e$ kolonundaki değerler $1.0M_e$ kolonundaki değerlerin 1.5 katıdır. M_r , M_{g+q} ve M_e değerleri hesaplandıktan sonra kirişler için r (etki/kapasite oranı) değeri Denklem (2.3)’ye göre hesaplanır. Çizelge A.1’de verilen etki/kapasite oranı r tasarım depremi, $1.5r$ şiddetli deprem için verilmiştir. Mevcut donatı, kesitte deprem etkisiyle oluşan kesme kuvveti miktarı, kirişlerin enine donatı durumuna göre (sargılı ya da sargısız) kesit hasar sınırları oluşturulur. Bina 2007 yönetmeliğine göre tasarlandığı için tüm kirişler sargılıdır. Denklem (2.7) nin yardımıyla $(\rho - \rho')/\rho b$ değeri Çizelge A.1’de mesnet tipine göre yukarıda çizelge 3.5’de tariflenmiş donatı durumuna göre hesaplanmaktadır. Ayrıca Denklem (2.8) in yardımıyla $V_e/(b_w * d * f_{ctm})$ oranı hesaplanır. Orandaki V_e değeri Denklem (2.5)’da tariflenmiştir. M_{pi} ve M_{pj} değerleri yine çizelgedeki mesnet tipine göre Çizelge 3.5’ten çağrılmaktadırlar. V_{dy} prosedürün başında anlatıldığı gibi analiz programından alınmaktadır. $(\rho - \rho') / \rho b$ ve $V_e / (b_w * d * f_{ctm})$ değerleri uyarınca, gerekirse iterasyonlar yapıp hasar sınırları belirlenir. Belirlenen hasar sınırları sayesinde kesitin hangi hasar bölgesinde olduğu bulunmuş olur.

Kesitin süneklik tayini için V_e kesme kuvvetinin V_r mevcut dayanıma göre kesme kapasitesinden küçük olması gerekir. Çizelge A.1’de bu koşul V_e/V_r değerinin 1’den küçük olduğu gösterilerek ifade edilmiştir.

Yukarıda anlatılan prosedür ve işlemler K122 kirişinin sol ucu için aşağıda açık bir şekilde adım adım uygulanmıştır. Diğer kirişler için bu prosedür yazılan bir program sayesinde Çizelge A.1’de görüldüğü gibi otomatik olarak sürdürülmektedir.

Çizelge 3.6 : K101 Kirişi Bilgileri

Kiriş Adı	Elaman Ucu	Kiriş Boyu	V_{dy}	M_{g+q}	M_e
K122	sol	5m	44.32kN	-31kNm	634kNm

Çizelge 3.5 - 3.6’taki değerler kullanılarak r değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r = M_e / (M_r - M_{(g+q)}) \rightarrow 634 / (120.12 - (-31)) = 4.19$$

Hasar sınırlarını bulmak üzere $(\rho - \rho') / \rho_b$ ve $V_e / (b_w * d * f_{ctm})$ değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. ρ değeri çekme donatısı, ρ' değeri basınç donatısı değerleri olup deprem yönüne göre hesaplanmaktadır.

K122 kirişi sol ucunun kesit tipinin +y yönündeki depremde sol ucu pozitif moment aldığı için $(\rho - \rho') / \rho_b$ değeri: $(\rho - \rho') / \rho_b = -0.12$ olarak hesaplanır.

$V_e / (b_w * d * f_{ctm})$ değeri hesaplanırken deprem yönüne göre kirişin sol ve sağ uçlarındaki plastik mafsallık momenti kullanılır.

$$V_e / (b_w * d * f_{ctm}) = 142.66 / (0.3 * 0.57 * 1875) = 0.44$$

Hasar sınırlarının belirlenmesinde K122 kirişi sol ucu için enterpolasyon yapılır.. Kirişin sol ucu için etki/kapasite değeri (4.19) “Minimum Hasar Sınırı” değerinden (3.0) büyük, “Belirgin Hasar Sınırı” (7.0) değerinden küçük olduğu için tasarım depremi altında kirişin sol ucunun hasar bölgesi “Belirgin Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Şiddetli deprem için etki/kapasite oranı tasarım depremine göre 1.5 kat fazla olacaktır. Bu durumda aynı kesit için şiddetli depremde etki/kapasite değeri (6.29) “Minimum Hasar Sınırı” (3.0) ile “Belirgin Hasar Sınırı” (7.0) değerleri arasında olduğu için şiddetli deprem altında kirişin sol ucunun hasar bölgesi “Belirgin Hasar Bölgesi” olarak belirlenir.

Kesitin süneklik tayini için V_e/V_r değerini hesaplariken betonun kesme direncine katkısı dikkate alınmamıştır. Enine donatılar sargılama bölgesinde $\emptyset 10/100$ şeklinde yerleştirilmiştir.

$$V_r = (A_{sw}/s) f_{ywd} * d = (158/100) \times 420000 \times 570 = 378 \text{ kN}$$

$$V_e/V_r = 142.66/378 = 0.38 < 1$$

Yukarıdaki prosedür her bir kiriş ucu için tasarım ve şiddetli depremler altında gerçekleştirilmiştir. Çizelge A.1’de bu iki deprem altında 1.kat kirişlerinin y doğrultusu için hasar bölgeleri gösterilmiştir

3.2.2.2 Kolonların Ve Perdelerin Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

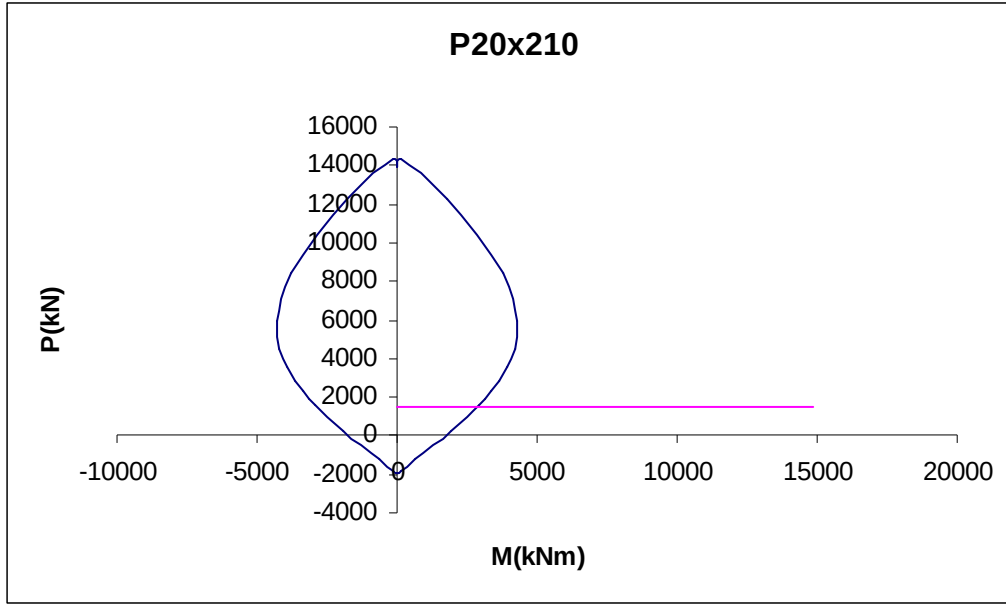
Binada 30x60, 40x60 ve 50x50 olmak üzere 3 farklı tip kolon boyutu, 20x210 olmak üzere tek tip perde boyutu mevcuttur. Kolon ve perdeler Çizelge 3.6’da verildiği gibi 4 farklı tip donatı düzenine sahiptir. Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisindeki elemanlarda kirişlerde olduğu gibi tek bir akma değeri olmayıp, M_K olarak adlandırılan, bu değer her bir N_K normal kuvvet değeri için değişmektedir. Bu sebepten dolayı yönetmelik bilgilendirme eki 7A.’da tariflendiği gibi 4 farklı kesit tipi için tek yönde akma yüzeyi oluşturulmuştur. Akma eğrileri oluşturulurken Bölüm 2.2.3’te tariflendiği üzere betonun en büyük basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin en büyük birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınmıştır. Akma eğrileri XTRACT programı yardımı ile oluşturulmuştur.

Çizelge 3.7 : Kolon ve Perde Özellikleri

Kesit Tipi	Boyuna Donatı	Boyuna Donatı Alanı	Mesnette Kesme Donatısı	Açıklıkta Kesme Donatısı
	-	cm ²	-	-
30x60	10 $\emptyset$ 20	31.42	$\emptyset 10/100$	$\emptyset 10/150$
40x60	12 $\emptyset$ 20	37.70	$\emptyset 10/100$	$\emptyset 10/150$
50x50	12 $\emptyset$ 20	37.70	$\emptyset 10/200$	$\emptyset 10/150$
20x210	16 $\emptyset$ 16+12 $\emptyset$ 12	45.74	$\emptyset 10/200$	$\emptyset 10/200$

Yapılar doğrusal elastik yöntemle değerlendirilirken kolon ve perde deki elemanların hasar durumlarını belirlemek için kirişlerdekine benzer bir prosedür izlenmiştir. Akma eğrisi yukarıda tariflendiği gibi apsisi eğilme momenti, ordinatı eksenel kuvvet olan düzlemde oluşturulmuştur. Düşey yükler altında analiz programından alınan N_{G+Q} , M_{G+Q} yükleri ve düşey yük ile depremin ortak etkisi altında programdan alınan N_{G+Q+E} , M_{G+Q+E} yükleri bu düzlemde iki nokta ifade

etmektedir. Bu iki noktayı birleştiren doğrunun akma yüzeyini kestiği noktanın apsisi M_K , ordinatı ise N_K değeri olarak bulunur. Şekil 3.2’de yukarıda tariflenen işlem P20×210 perdesine y doğrultusunda tasarım depremi için uygulanmıştır. Çizelge 3.8’de ilgili değerler mevcuttur.



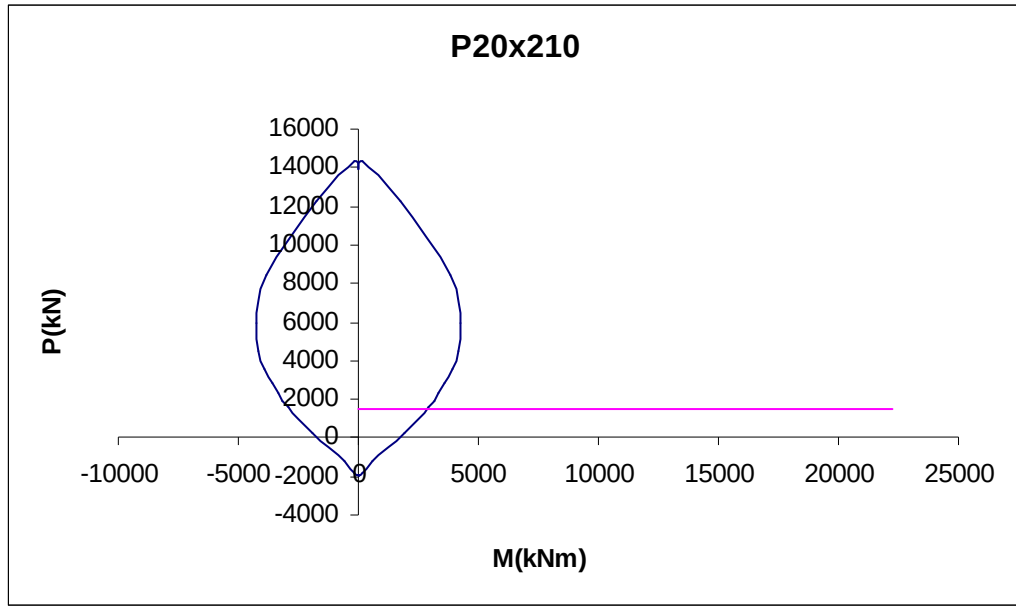
Şekil 3.2 : 1. Kat P20×210 Perdesi Tasarım Depremi Altında Hasar Durumları

Çizelge 3.8 : P20x210 1. Kat Perdesi Y doğrultulu Tasarım Depremi İçin r Değeri

M_D	0 kNm	N_D	1493kN
M_{D+E}	14842 kNm	N_{D+E}	1493kN
M_K	2952 kNm	N_K	1493kN
M_A	2952 kNm	N_A	7 kN
r	5.00	r	5.00

Perdelerde etki/kapasite oranı elde edildikten sonra Çizelge 2.4’te verilen sınır değerlere göre “Kesit Hasar Bölgesi” belirlenir. Bina, yönetmeliğe göre donatıldığı için perde uç bölgelerinde sargılama mevcuttur. Şekil 3.2’te tasarım depremi için perdede ki etki kapasite oranı bulunmuş olup , bu perdenin tasarım depremi altında kesitinde oluşan etkiler Çizelge 3.8 de verilmiştir.

Aynı perdenin şiddetli deprem etkisinde ki etki kapasite oranı Şekil 3.3’ te gösterilmiş olup perdede oluşan etkiler Çizelge 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.3 : 1. Kat P20×210 Perdesi Şiddetli Deprem Altında Hasar Durumları

Çizelge 3.9 : P20×210 1. Kat Perdesi Y Doğrultulu Şiddetli Deprem İçin r Değeri

M_D	0 kNm	N_D	1493kN
M_{D+E}	22264 kNm	N_{D+E}	1493kN
M_K	2952 kNm	N_K	1493kN
M_A	2952 kNm	N_A	7 kN
r	7.5	r	7.5

Perdenin tasarım depremi etkisinde alt ucu için etki/kapasite değeri (5.02) “Minimum Hasar Sınırı” değeri (3.0) ile “Güvenlik Sınırı” (6) değerleri arasında olduğu için tasarım depremi altında perdenin hasar bölgesi “Belirgin Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Şiddetli deprem için etki/kapasite değeri (7.5) “Güvenlik Sınırı” (6) ile “Göçme Sınırı” (8) değerleri arasında olduğu için şiddetli deprem altında perdenin hasar bölgesi “İleri Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Perdelerde moment değerleri hemen hemen süreklilik arz edeceğinden perdelerin sadece alt ucu kesitleri incelenmiştir.

Kesitin süneklik tayini için V_e/V_r değerini hesaplarırken betonun kesme direncine katkısı dikkate alınmamıştır. Perde gövde bölgesi donatıları $\phi 10/200$ şeklinde yerleştirilmiştir.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywm}) = 630000 (0.65 \times 1.875 + 0.0028 \times 420) = 1510 \text{ kN}$$

$$V_e = [(M_p)_t / (M_d)_t] V_d = (2867/14842) \times 2801.5 = 541.16 \text{ kN}$$

$$V_e/V_r = 541.16/1510 = 0.35 < 1$$

Yukarıdaki prosedür her bir kolon ve perde için tasarım ve şiddetli depremler altında gerçekleştirilmiştir.

Kolon ve Perdelerin sünek eleman sayılabilmesi için Denklem (2.4) ve (2.5)'den elde edilen V_e değerinin mevcut malzeme dayanım değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r değerini aşmaması gerekmektedir. Yukarıda y doğrultulu şiddetli deprem için P20×210 perdesinin kesme güvenliği kontrol edilmiştir. Çizelge 3.10'da y doğrultulu şiddetli deprem altında 1.kat kolonları için kesme kontrolü yapılmıştır.

Çizelge 3.10 : 1. Kat Kolonlarının Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği

Kolon	$(M_a + M_{\bar{u}})/l_n$	$A_{sw} * f_{ywm} * d/s$
1.Kat	kN	kN
S101	37	$79*4*420*570/150/1000=504\text{kN}$
S102	34	$79*4*420*370/150/1000=317\text{kN}$
S103	34	$79*4*420*370/150/1000=317\text{kN}$
S104	37	$79*4*420*570/150/1000=504\text{kN}$
S105	49	$79*4*420*470/150/1000=416\text{kN}$
S106	49	$79*4*420*470/150/1000=416\text{kN}$
S107	49	$79*4*420*470/150/1000=416\text{kN}$
S108	37	$79*4*420*570/150/1000=504\text{kN}$
S109	34	$79*4*420*370/150/1000=317\text{kN}$
S110	34	$79*4*420*370/150/1000=317\text{kN}$
S111	37	$79*4*420*570/150/1000=504\text{kN}$

Kesme dayanımı hesabı yapılırken betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edilmiştir. Kesme dayanımı hesabı, kesme kuvveti kesitte sabit olduğu için, sıklaştırma bölgesi enine donatıları yerine açıklık bölgesi enine donatıları ile yapılmıştır.

3.2.2.3 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü

Betonarme kolon-kiriş birleşimlerinde tüm sınır durumları için birleşime etki eden ve Denklem (3.1)'den hesaplanacak kesme kuvvetlerinin kuşatılmış kesitler için Denklem (3.2) ve kuşatılmamış kesitler için Denklem (3.3)'de verilen kesme dayanımlarını aşmaması gerekir. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda bu birleşime sapanan tüm elemanlar göçme bölgesinde kabul edilecektir.

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - (M_a + M_{\bar{u}})/l_n \quad (3.1)$$

$$V_e \leq 0.60 b_j h f_{cm} \quad (3.2)$$

$$V_e \leq 0.45 b_j h f_{cm} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.11’de 1.kat için y doğrultusundaki şiddetli depremde birleşim bölgelerinin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : 1. Kat Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü

Kolon	As ₁ +As ₂	V _e	0.45*b _j *h*f _{cd}
1.Kat	mm ²	kN	kN
S101	1200	594	2430
S102	1200	597	3240
S103	1200	597	3240
S104	1200	594	2430
S105	1800	897	3375
S106	1800	897	3375
S107	1800	897	3375
S108	1200	594	2430
S109	1200	597	3240
S110	1200	597	3240
S111	1200	594	2430

3.2.3 Binanın Farklı Depremlerde ki Performans Seviyeleri

DBYBHY 2007’ de binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binalarda oluşması beklenen hasarlar, dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. DBYBHY 2007’ de tanımlanmış olan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Buna göre okul binasının, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depreminde hemen kullanım performans seviyesini, 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan şiddetli depremde can güvenliği performans seviyesini sağlaması istenmektedir. Hasar oranları eleman bazında değil kesit bazında verilmiştir. Aşağıdaki çizelgelerde kesit hasarlarının, ilgili kattaki tüm aynı tip elemanlara yüzdesi verilmiştir.

Çizelge 3.12 : Tasarım Depremi İçin Kesit Hasar Durumları

	Katlar	MHB	BHB	İHB	GB
Kirişler (%)	1.Kat	70	30	0	0
	2.Kat	50	50	0	0
	3.Kat	40	60	0	0
	4.Kat	40	60	0	0
	5.Kat	60	40	0	0
	6.Kat	60	40	0	0
	7.Kat	80	20	0	0
	8.Kat	100	0	0	0
Kolonlar (%)	1.Kat	55	0	0	0
	2.Kat	64	0	0	0
	3.Kat	73	0	0	0
	4.Kat	80	0	0	0
	5.Kat	64	0	0	0
	6.Kat	36	0	0	0
	7.Kat	0	0	0	0
	8.Kat	0	0	0	0
Perdeler (%)	1.Kat	0	100	0	0
	2.Kat	50	50	0	0
	3.Kat	100	0	0	0
	4.Kat	100	0	0	0
	5.Kat	100	0	0	0
	6.Kat	100	0	0	0
	7.Kat	100	0	0	0
	8.Kat	100	0	0	0

İncelenen okul binası tasarım depremi için 1.mod doğrultusu olan y doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamamaktadır. Okul binasının tasarım depremi için y doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamamasının nedeni, hemen kullanım performans düzeyi için Çizelge 2.6'da verilen şartlardan herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u BHB'ne geçebilir şartının ihlalidir. Çizelge 3.12 incelendiğinde düşey taşıyıcı sistem elemanlarından kolonların hepsinin minumum hasar bölgesinde, perdelerin ise bazı katlarda belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Yapının y doğrultusundaki tasarım depreminde, diğer bir şart olan görelî kat ötelemesi sınırları içinde kaldığı Çizelge 3.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 : Şiddetli Depremi İçin Kesit Hasar Durumları

	Katlar	MHB	BHB	İHB	GB
Kirişler (%)	1.Kat	50	50	0	0
	2.Kat	0	70	30	0
	3.Kat	0	70	30	0
	4.Kat	0	70	30	0
	5.Kat	0	80	20	0
	6.Kat	10	80	10	0
	7.Kat	50	50	0	0
	8.Kat	70	30	0	0
Kolonlar (%)	1.Kat	81	19	0	0
	2.Kat	81	19	0	0
	3.Kat	60	40	0	0
	4.Kat	100	0	0	0
	5.Kat	100	0	0	0
	6.Kat	60	0	0	0
	7.Kat	30	0	0	0
	8.Kat	30	0	0	0
Perdeler (%)	1.Kat	0	0	100	0
	2.Kat	0	100	0	0
	3.Kat	100	0	0	0
	4.Kat	50	50	0	0
	5.Kat	50	50	0	0
	6.Kat	50	50	0	0
	7.Kat	50	50	0	0
	8.Kat	100	0	0	0

Okul binası şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans seviyesini de sağlamamaktadır. Okul binasının şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans seviyesini sağlamamasının sebebi, can güvenliği performans düzeyi için Çizelge 2.6’ da verilen şartlardan her bir katta İHB’ne geçen düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki toplam kesme kuvvetine oranı %20’yi aşmamalıdır şartının ihlalidir. Çizelge 3.13’ de görüldüğü gibi birinci katta bulunan perdelerin hepsi ileri hasar bölgesinde gözükmemektedir. Yapılan hesap sonucunda katta ki kesme kuvvetlerinin %75’i bu perdeler tarafından karşılanmaktadır. Çizelge 3.13 incelendiğinde diğer düşey taşıyıcı eleman olan kolonlarda ise bazı katlarda belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Yapının y doğrultusundaki şiddetli depremde, diğer bir şart olan göreceli kat ötelemesi sınırları içerisinde kaldığı Çizelge 3.4 de gösterilmiştir.

3.3 DBYBHY 2007 Doğrusal Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu yöntem doğrusal elastik sistemler için eşdeğer deprem yüğü yönteminin uygulanabildiği binalara uygulanır. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi Bölüm 2.2.5’ te DBYBHY esaslarına uygun olarak tarif edilmiştir. Bu bölümde, sekiz katlı okul binasının deprem performansı yönetmelikte bulunan doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde eşdeğer statik yatay yük dağılımı doğrusal elastik sistem ile aynı şekilde hesaplanır, ancak adım artırılarak uygulanır. Analizde SAP 2000 programı kullanılmıştır. Plastik kesit parametreleri ve yerleri yönetmeliğe göre programa atanmıştır.

3.3.1 Kesitlerin Plastik Özelliklerinin Tanımlanması

Kirişlerin için kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları tanımlamak amacıyla bir eksenli eğilme analizi yapıp kesitlere ait plastik moment değerleri hesaplanmıştır. Yönetmelik 7.6.4.5.(a)’ ya dayanarak pekleşme etkisi gözönüne alınmamıştır. Ayrıca yönetmelik 7.4.11’ e göre kolonlar ve perdeler için etkileşim diyagramları (akma yüzeyleri) oluşturulmalıdır. Akma momentine karşılık gelen eğrilik değerine efektif akma eğriliği adı verilir. Ancak akma eğriliği için daha basit tanımlarda mevcuttur. Mesela Priestley’ e göre tablalı kirişler için akma eğriliği, çeliğin ilk akma anında ki birim şekil değiştirme değerinin yaklaşık olarak 1.7 katının kiriş yüksekliğine bölünmesi olarak ifade edilir [10].

SAP 2000 V14.0.0 programının kirişler için hasar bölgesi DBYBHY 2007’ ye uyumlu olacak şekilde aşağıda tarif edilen işlemler yapılarak bulunmuştur. XTRACT programı ile elde edilen, yönetmelikte verilen malzeme hasarına göre sınır şekildeştirmelerine karşılık gelen, toplam eğrilik değerleri ve akma eğriliği değerleri Çizelge 3.14’de verilmiştir.

Çizelge 3.14 : Kiriş Hasar Sınırları İçin Toplam Eğrilik Değerleri

Kesit Tipi	(+) Moment Sınır Eğrilik Değerleri(1/m)				(-)Moment Sınır Eğrilik Değerleri (1/m)			
	Akma	MN	GV	GÇ	Akma	MN	GV	GÇ
B30/60	0.0052	0.0187	0.0890	0.132	0.0046	0.0188	0.0948	0.138

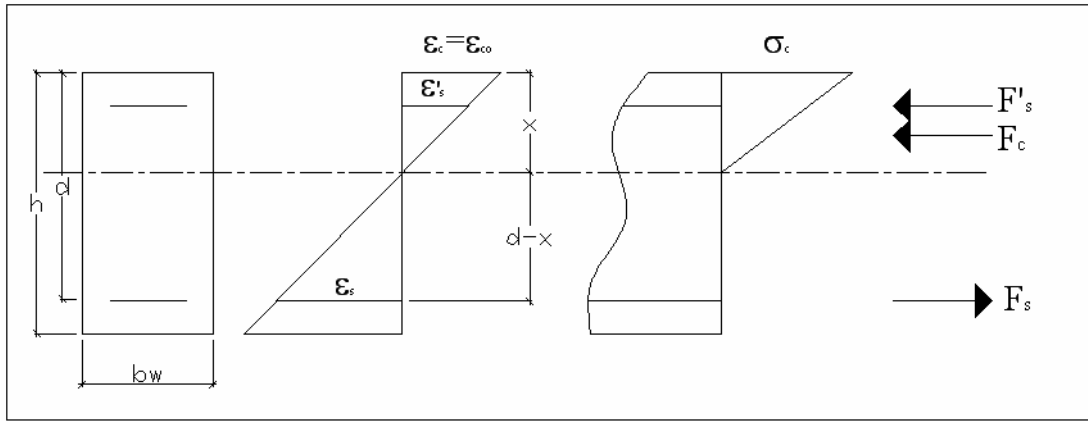
Plastik eğrilik değeri, toplam eğrilik değerinden akma eğriliği değerinin çıkarılması ile elde edilir. Plastik eğrilik değerinin plastik mafsallık boyu ile çarpılması sonucu

kesitlerdeki plastik dönmeler bulunur. Her hasar sınırı için bulunan plastik dönmeler Çizelge 3.15’ de gösterilmiştir. Kirişlerde oluşan mafsallarda meydana gelen plastik dönmeler okunarak, hasar sınırları için Çizelge 3.15’ de hesaplanan değerlerle kıyaslanarak her bir kiriş kesiti için hasar durumları belirlenmiş olur.

Çizelge 3.15 : Kiriş Hasar Sınırları İçin Dönme Faktörleri

Kesit Tipi	(+) Moment İçin Sınır Dönme Faktörler				(-)Moment İçin Sınır Dönme Faktörleri			
	Akma	MN	GV	GÇ	Akma	MN	GV	GÇ
B30/60	0.0016	0.00561	0.0267	0.0396	0.0014	0.00564	0.0284	0.0414

Kirişler için her iki uç bölgesinin hasar durumunu şu şekilde hesaplanabilir. İlk önce kesitin eşdeğer akma eğriliğinin bulunması gereklidir.



Şekil 3.4 : Kiriş Kesitinin Gerilme Şekil Değiştirme Diyagramı

$$n = \frac{E_s}{E_c} \Rightarrow n = \frac{\frac{\sigma_s}{\epsilon_s}}{\frac{\sigma_c}{\epsilon_c}} \Rightarrow \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} = n \frac{\sigma_c}{\epsilon_c} \Rightarrow \sigma_s = n \sigma_c \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} \quad (3.4)$$

$$\sigma_s = n \sigma_c \frac{d - x}{x} \quad (3.5)$$

$$\sigma'_s = n \sigma_c \frac{x - d'}{x} \quad (3.6)$$

$$F_s = F_c + F'_s \quad (3.7)$$

$$n \sigma_c A_s \frac{d - x}{x} = \frac{1}{2} \sigma_c b x + n \sigma_c A'_s \frac{x - d'}{x} \quad (3.8)$$

$$n A_s = \frac{d - x}{x} = \frac{1}{2} b x + n A'_s \frac{x - d'}{x} \quad (3.9)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \quad \rho' = \frac{A'_s}{b d} \quad (3.10)$$

$$k_x = \frac{x}{d} = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \rho' \frac{d'}{d} \right) n \right]^{\frac{1}{2}} - (\rho + \rho') n \quad (3.11)$$

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{d - x} \quad (3.12)$$

ile elde edilmiştir.

Eşdeğer akma eğriliği plastik akma eğriliği istemine eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilmiştir.

Kiriş Kesitlerinin Akma Eğrilikleri;

Kiriş 122 için örnek hesap:

Negatif Eğilme Momenti:

$$A_s = 1257 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 628 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 32000 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = 0.00735$$

$$\rho' = 0.00367$$

$$n = E_s / E_c = 200000 / 32000 = 6.25$$

$$\varepsilon = (f_{ym} / E_s) = 420 / 200000 = 0.0021$$

Denklem 3.11' in yardımıyla;

$$k_x = \frac{x}{d} = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \rho' \frac{d'}{d} \right) n \right]^{\frac{1}{2}} - (\rho + \rho') n$$

$$k_x = 0.245 \rightarrow x/d = 0.245 * 570 = 140 \text{ mm}$$

$$\phi = 0.0021 / (570 - 140) = 0.00488 \text{ rad/m}$$

Pozitif Moment :

$$A_s = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 1257 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 32000 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = 0.00367$$

$$\rho' = 0.00735$$

$$n = E_s / E_c = 200000 / 32000 = 6.25$$

$$\varepsilon = (f_{ym} / E_s) = 420 / 200000 = 0.0021$$

$$k_x = \frac{x}{d} = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \rho' \frac{d'}{d} \right) n \right]^{\frac{1}{2}} - (\rho + \rho') n$$

$$k_x = 0.166 \rightarrow x/d = 0.166 * 570 = 95 \text{ mm}$$

$$\phi = 0.0021 / (570 - 95) = 0.00442 \text{ rad/m değerleri}$$

elde edilir.

Çizelge 3.16 : K122 Kirişi İçin Toplam Eğrilik

Kiriş Uç	Plastik Dönme (rad*1000)	Plastik Eğrilik (1/m*1000)	Akma Eğriliği (1/m*1000)	Toplam Eğrilik (1/m*1000)
Sol	9.54	31.8	4.88	36.68
Sağ	8.28	27.6	4.42	32.02

Kolon ve perdeler için akma yüzeyi, binadaki tüm düşey taşıyıcılar gibi simetrik donatılı dikdörtgen elemanlar için, 45 derecede bir akma eğrisi oluşturarak, toplam 3 farklı akma eğrisi ile tanımlanmıştır. Akma eğrileri oluşturulurken Bölüm 2.2.3'te tariflendiği üzere betonun en büyük basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin en büyük birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınmıştır. Akma eğrileri XTRACT programı yardımı ile oluşturulmuştur.

3.3.2 Binanın Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi

Okul binasında plastikleşme olabilecek tüm kesitlerin plastik özellikleri tanımlandıktan sonra yapı düşey yüklerle birlikte ilgili depremin yapıdan talep ettiği deplasman değerine kadar itilir. Yapının bu deplasman değerine kadar itilmesi belirli bir yük dağılımı ile itilmesini gerektirir. Yönetmelik bu yük dağılımının, analizin başlangıç adımıda doğrusal elastik davranış için hesaplanan deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli ile kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı bir yük dağılımı olacağını ön görmektedir. Yükler artarken kesitlerden biri veya birkaçı taşıma gücüne erişir ve bu kesitlerde plastik mafsallar oluşur. Plastik mafsallardan oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın, dönmeye devam ederler. Plastik mafsallar arasında sistem lineer elastik davranır. Her adımda değişen rijitlik matrisleri ile lineer hesap yapılır. Takip eden seviyelerde sistem mekanizma durumuna gelir ve göçme yüküne ulaşılır. Sonraki aşamalar Bölüm 2.2.5'te açıklanmıştır. Eksenleri tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvveti olan itme eğrisini, eksenleri modal yerdeğiştirme - modal ivme olan modal kapasite diyagramına çevirirken aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$M_{x1}^* = \Phi_{x1}^T m \Phi_{x1} \quad (3.13)$$

$$L_{x1}^* = \Phi_{x1}^T m 1 \quad (3.14)$$

$$\Gamma_{x1} = L_{x1r}^* / M_{x1r}^* \quad (3.15)$$

$$M_{x1} = L_{x1r}^{*2} / M_{x1r}^* \quad (3.16)$$

$$d_1 = u_{xN1} / (\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}) \quad (3.17)$$

$$a_1 = V_{x1} / M_{x1} \quad (3.18)$$

DBYBHY 2007’ de, itme için yükleme şeklinin, hakim mod şekli olarak alınabileceği söylenmiştir. Bölüm 2.2.5.1’de tariflenen bahsedilen tek modlu uyumlu itme analizinde, her mafsallarda oluşumunda sistemin dinamik karakterleri tekrar hesaplanıp mod şeklindeki bu değişim yükleme şekline yansıtılır. Bu durumda kütle katılım faktörü ve mod şekli her adımda değişmektedir. Yönetmelikte her mafsaldan sonra değişen kütle katılım faktörü ve mod şekli için birinci adımda hesaplanan değerlerin kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, modal kapasite eğrileri yukarıda tariflenen formülasyonlar ile elde edilmiştir. 1.mod doğrultusu olan y doğrultusu için bu değerler, tasarım depremi için Çizelge 3.17’ de verilmiştir.

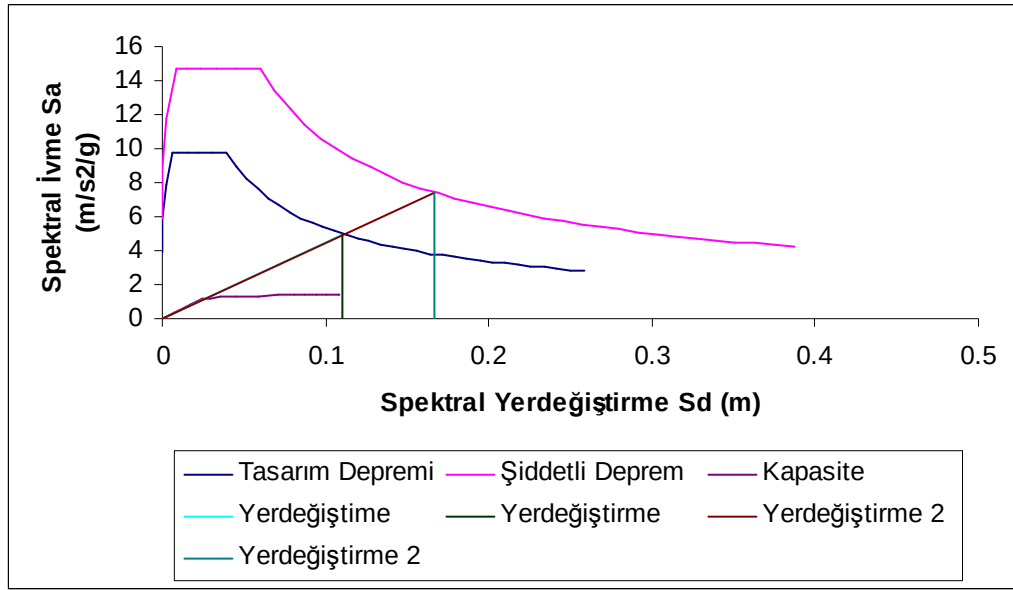
Çizelge 3.17 : Y Doğrultusu İçin İtme ve Modal Kapasite Eğrileri

Step	U _{yN1} (m)	V _{y1} (kN)	d ₁ (m)	a ₁ (g)	My ₁
0	0.000	0.000	0.000	0.000	1370.926
1	0.010	783.295	0.007	0.571	1370.926
2	0.012	978.016	0.009	0.713	1370.926
3	0.023	1776.950	0.017	1.296	1370.926
4	0.033	2377.872	0.025	1.735	1370.926
5	0.039	2534.766	0.030	1.849	1370.926
6	0.047	2626.485	0.035	1.916	1370.926
7	0.059	2704.619	0.045	1.973	1370.926
8	0.079	2775.379	0.059	2.024	1370.926
9	0.096	2824.598	0.071	2.060	1370.926
10	0.110	2854.634	0.080	2.082	1370.926
11	0.120	2873.254	0.087	2.096	1370.926
12	0.130	2890.121	0.094	2.108	1370.926
13	0.140	2905.366	0.101	2.119	1370.926
14	0.150	2920.444	0.107	2.130	1370.926
15	0.150	2920.492	0.107	2.130	1370.926

3.3.3 Doğrusal Olmayan Tepe Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi

Bölüm 2.2.5’te doğrusal olmayan spektral ve tepe yerdeğiştirmelerinin bulunmasında izlenen adımlar tariflenmiştir. Eşit yerdeğiştirme kuralı yönetmeliğin performans değerlendirilmesi bölümünde, çatlamış kesit rijitlikleri kullanılarak hesaplanmış hakim modun periyodu TB değerinden büyük olan yapılar için geçerlidir. Sekiz katlı

okul binasının her iki doğrultusu içinde çatlamış kesit rijitlikleri kullanılarak hesaplanmış hakim modun periyodu, 0.4s olan TB değerinden büyük olduğundan eşit yerdeğiştirme kuralını kullanabiliriz. $T_1 > T_B$ olduğu için DBYBHY 2007 7C2 maddesi uyarınca $S_{di1} = S_{de1}$ ' e eşit alınacaktır. Buna göre $C_{R1} = 1$ olarak değerlendirilecektir. Şekil 3.5' de tasarım depremi ve şiddetli deprem için spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formundaki eğriler ile modal kapasite diyagramı beraber çizilmiştir. “Yerdeğiştirme” çizgileri bu farklı iki deprem için S_{de1} (elastik spektral yerdeğiştirme) değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.5 : Y Doğrultusu Talep ve Kapasite Eğrileri

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} = 1.00 \times 0.11 = 0.11m$$

$$u_{xN1} = d_1 (\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}) = 0.11 \times 1.36 = 0.15m \rightarrow Y \text{ doğrultusu için tepe noktası}$$

yerdeğiştirme miktarı (Tasarım Depremi)

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} = 1.00 \times 0.165 = 0.165m$$

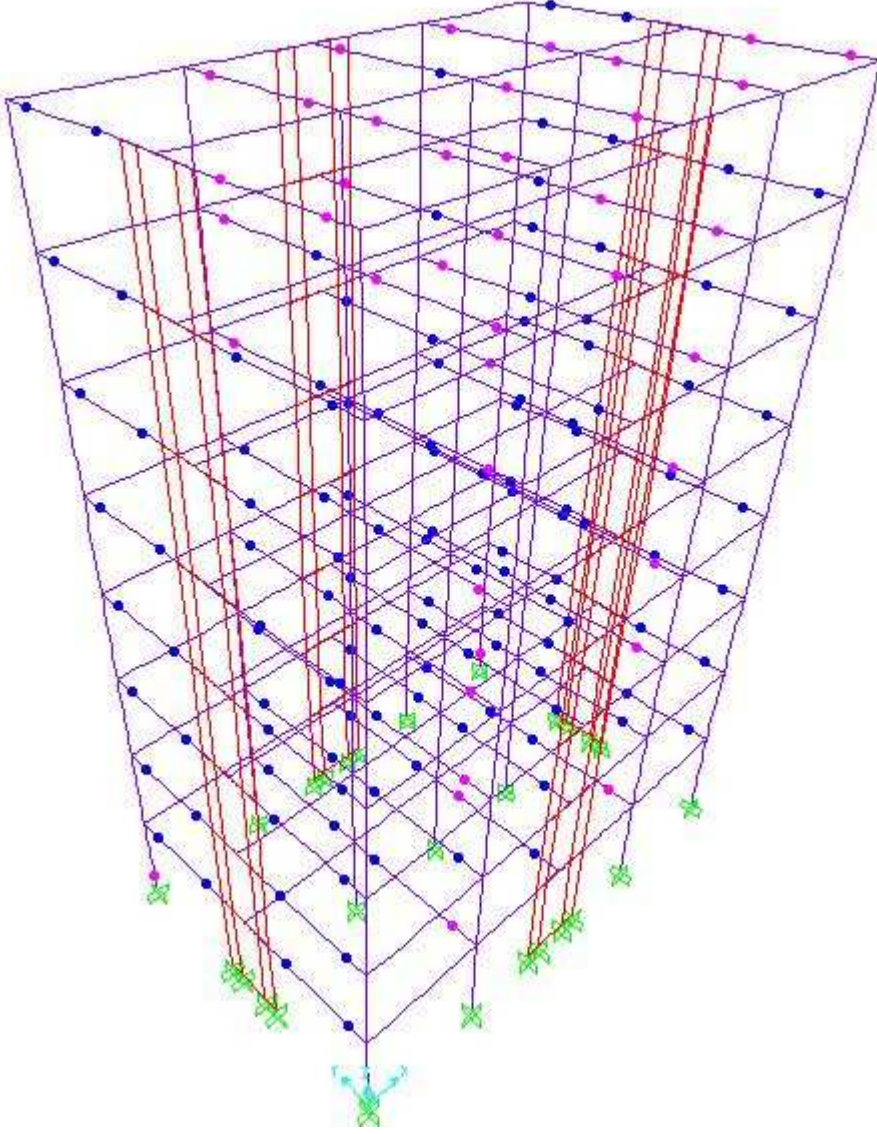
$$u_{xN1} = d_1 (\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}) = 0.165 \times 1.36 = 0.23m \rightarrow Y \text{ doğrultusu için tepe noktası}$$

yerdeğiştirme miktarı (Şiddetli Deprem)

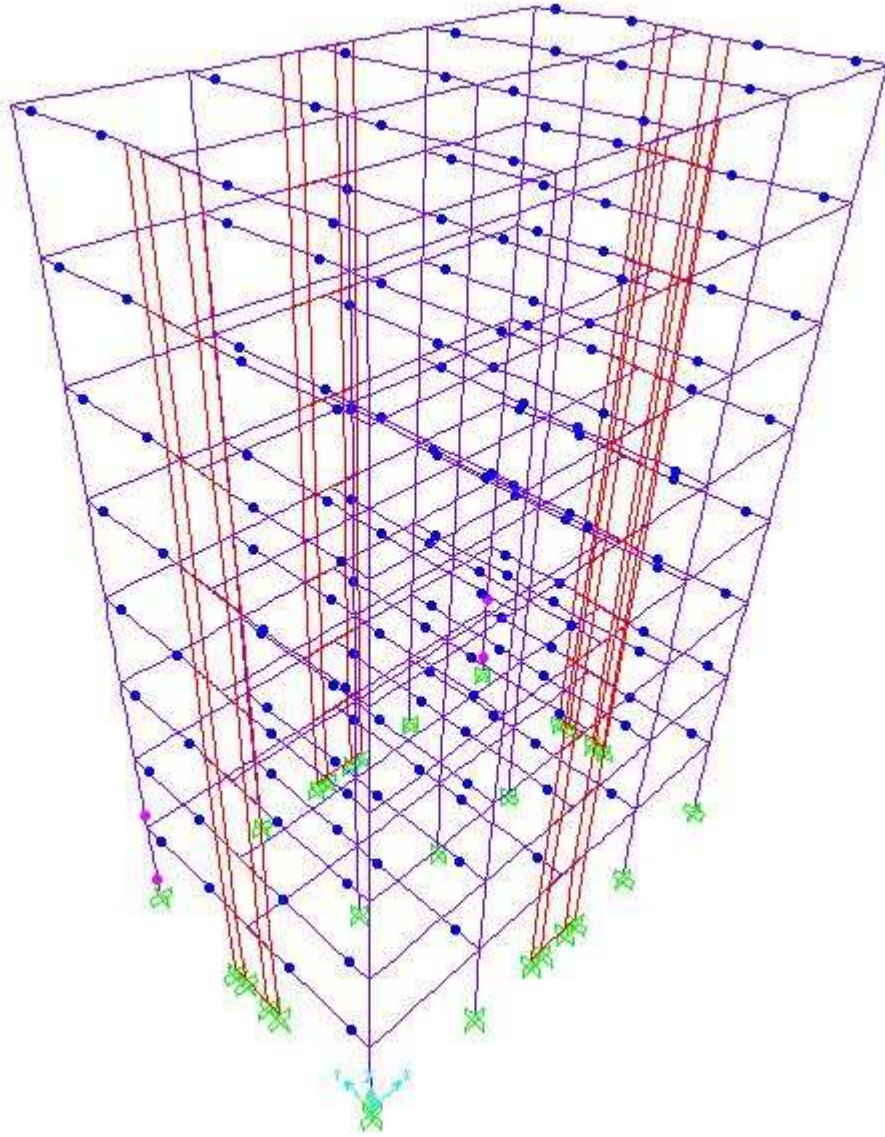
3.3.4 Yapı Elemanlarının Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

8 katlı okul binası, Bölüm 3.3.4'de bulunan tepe noktası yerdeğiştirme değerlerine ulaşmaya kadar itilmiştir. Bu işlem esnasında plastikleşen kesitler belirli bir miktarda plastik dönme yapmışlardır. Bu plastik dönmeler kesitlerdeki beton ve donatı çeliğinin şekildeğiştirmesi sayesinde oluşmuştur. Kesit hasarları için şekildeğiştirmelerin sınır değerleri Bölüm 2.2.5'te verilmiştir. Şekil 3.6 ve Şekil

3.7’de y doğrultusu için tasarım depremi şiddetli deprem etkisinde oluşan plastik mafsallar görüntülenmiştir.



Şekil 3.6 : Y Doğrultusundaki Tasarım Depremi Etkisiyle Plastikleşen Kesitler

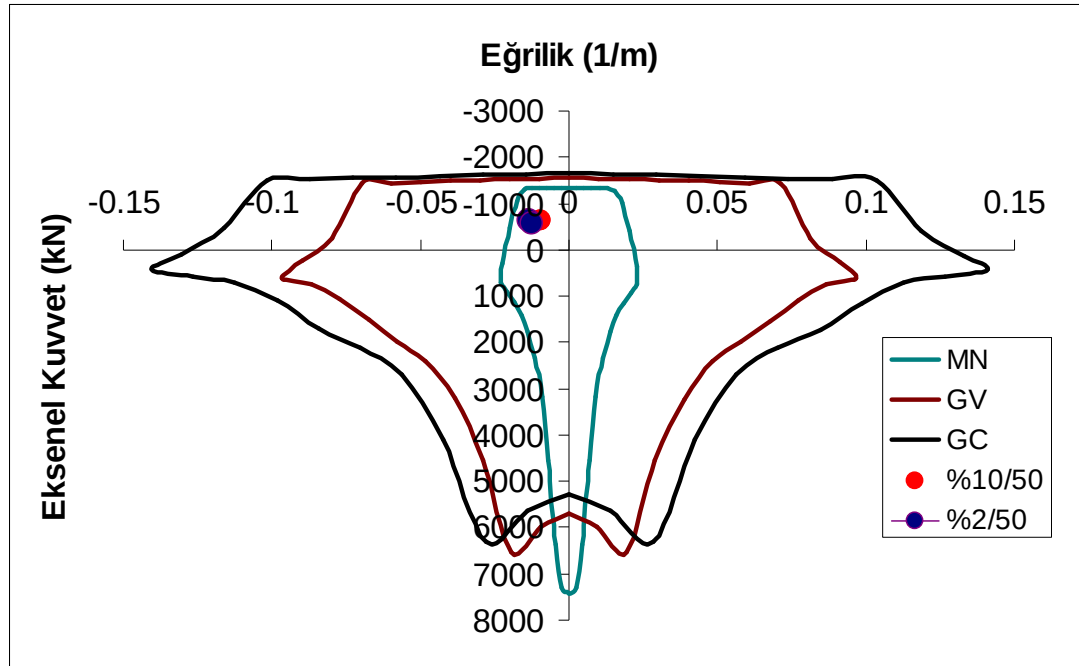


Şekil 3.7 : Y Doğrultusundaki Şiddetli Deprem Etkisiyle Plastikleşen Kesitler

Kirişler için beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri ve kesit hasarları, Bölüm 3.1.1’de tanımlandığı üzere XTRACT programı ile elde edilen, yönetmelikte verilen malzeme hasarına göre sınır şekil değiştirmelerine karşılık gelen, toplam eğrilik değerleri ve akma eğriliği değerleri yardımıyla hesaplanmıştır. Kolonlarda ise birim şekil değiştirmelerin bulunmasında eğilme momenti ve toplam dönme yanında, normal kuvvete de ihtiyaç duyulur. XTRACT programı yardımı ile MN, GV, GÇ sınır durumları için betonda veya donatı çeliğinde, verilen şekil değiştirme değerleri sabit kalacak şekilde, eksenleri toplam eğrilik ve eksenel kuvvet olan kapalı eğriler üç sınır durum için çizilir. Her bir farklı kesit için oluşturulan bu eğrilerin sınırladığı

bölgeler içinde kalan plastik kesitlerin hasar bölgeleri bulunmuş olur. Toplam eğriliği elde etmek için programdan okunan plastik dönme değeri ilk önce plastik mafsallık boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik eğriliğe akma eğriliği değerinin eklenmesi ile toplam eğrilik elde edilir. Perdelerde ise elemanlarda ki birim şekildeğişikliğini elde etmek daha basittir. Perdeyi oluşturan malzemelerinin programa non-lineer olarak tanımlanmasından dolayı, o katta ki perdenin z-doğrultusunda ki yapmış olduğu göreceli yerdeğişikliğinin kat yüksekliğine bölünmesi sonucu o perdenin birim şekil değişimi elde edilir.

Tasarım depremi altında okul binasının iki kolonu alt kesitinden mafsallaşmıştır. Bu kolonlar y doğrultusunda birbirinin simetrisi olduğu için sadece S 101 kolonunda ki mafsallık incelenmiştir. Şiddetli deprem altında ise dört adet kolonun alt kesitlerinde mafsallaşma meydana gelmiştir. Bu kolonlar da y doğrultusunda birbirinin simetrisi olduğu için iki adet kolonda ki mafsallar incelenmiştir. Perdelerde ise, tasarım depremi ve şiddetli depremde minimum hasar meydana gelmiştir. Şekil 3.8’ de ilgili kesit için hasar sınırları ve kesitin hangi hasar bölgesinde bulunduğu gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Y Doğrultulu Tasarım ve Şiddetli Deprem Etkisinde S101-S104 Kolonlarında Oluşan Hasar Durumu

Betonarme kolon-kiriş birleşimlerinde tüm sınır durumları için birleşime etki eden ve Denklem (3.10)’den hesaplanacak kesme kuvvetlerinin kuşatılmış kesitler için Denklem (3.2) ve kuşatılmamış kesitler için Denklem (3.3) ’de verilen kesme

dayanımlarını aşmaması gerekir. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda bu birleşim, gevrek olarak hasar gören eleman olarak kabul edilecektir.

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{istem} \quad (3.19)$$

Çizelge 3.18’de 1. kat için y doğrultusundaki depremde birleşim bölgelerinin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

Çizelge 3.18 : 1.Kat Kolon- Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü

Kolon	As1+As2	Ve	0.45*b _i *h*f _{cd}
1.Kat	mm2	kN	kN
S101	1200	695	2430
S102	1200	680	3240
S103	1200	680	3240
S104	1200	695	2430
S105	1800	1075	3375
S106	1800	1075	3375
S107	1800	1075	3375
S108	1200	740	2430
S109	1200	703	3240
S110	1200	703	3240
S111	1200	740	2430

Kolonların kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması ile yapılır. Çizelge 3.19’da y doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış 1. kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.19 : 1.Kat Kolonlarının Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği

Kolon	V _{istem}	A _{sw} *f _{ywm} *d/s
1.Kat	kN	kN
S101	65	79*4*420*570/150/1000=504kN
S102	50	79*4*420*370/150/1000=317kN
S103	50	79*4*420*370/150/1000=317kN
S104	65	79*4*420*570/150/1000=504kN
S105	130	79*4*420*470/150/1000=416kN
S106	129	79*4*420*470/150/1000=416kN
S107	130	79*4*420*470/150/1000=416kN
S108	109	79*4*420*570/150/1000=504kN
S109	73	79*4*420*370/150/1000=317kN
S110	73	79*4*420*370/150/1000=317kN
S111	109	79*4*420*570/150/1000=504kN

Y doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış perde 1. kat kesme istemleri kesit kesme kapasitesi ile aşağıda karşılaştırılmıştır. P101 perdesi ile P102 perdesi simetrik olduğundan hesap sadece P101 elemanı için yapılmıştır.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywm}) = 630000 (0.65 \times 1.875 + 0.0028 \times 420) = 1510 \text{ kN}$$

$$V_e = 805.42 \text{ kN}$$

$$V_e/V_r = 805.42/1510 = 0.54 < 1$$

Y doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış kiriş 1. kat kesme istemleri kesit kesme kapasitesi ile aşağıda karşılaştırılmıştır. Kesme kontrolü hem açıklıkta hem mesnette ayrı ayrı yapılmalıdır. Çizelge 3.20' de açıklık donatısı (az) için mesnetteki (fazla) kesme kuvvetleri karşılanmaya çalışıldığından güvenli tarafta bir karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 3.20 : 1.Kat Kirişleri Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği

Kiriş	V _{istem} kN	A _{sw} *f _{ywm} *d/s kN
1.Kat		
K113	170	(158/150)*420000*570=252
K114	194	(158/150)*420000*570=252
K115	150	(158/150)*420000*570=252
K116	157	(158/150)*420000*570=252
K117	128	(158/150)*420000*570=252
K118	148	(158/150)*420000*570=252
K119	150	(158/150)*420000*570=252
K120	157	(158/150)*420000*570=252
K121	170	(158/150)*420000*570=252
K122	194	(158/150)*420000*570=252

3.3.5 Binaların Farklı Depremlerde ki Performans Seviyeleri

Yapının, tasarım depreminde hemen kullanım performans seviyesini, şiddetli depremde can güvenliği performans seviyesini sağlaması istenmektedir. Aşağıdaki iki çizelgede plastikleşme olmayan elemanların yüzde cinsinden gösterimi yapılmamıştır.

Çizelge 3.21 : Tasarım Depremi İçin Eleman Hasar Durumları

Kirişler (%)	Katlar	MHB	BHB	İHB	GB
	1.Kat	50	50	0	0
	2.Kat	30	70	0	0
	3.Kat	20	80	0	0
	4.Kat	20	80	0	0
	5.Kat	20	80	0	0
	6.Kat	30	70	0	0
	7.Kat	70	30	0	0
	8.Kat	100	0	0	0
Kolonlar (%)	1.Kat	19	0	0	0
	2.Kat	0	0	0	0
	3.Kat	0	0	0	0
	4.Kat	0	0	0	0
	5.Kat	0	0	0	0
	6.Kat	0	0	0	0
	7.Kat	0	0	0	0
	8.Kat	0	0	0	0
Perdeler (%)	1.Kat	100	0	0	0
	2.Kat	100	0	0	0
	3.Kat	100	0	0	0
	4.Kat	100	0	0	0
	5.Kat	100	0	0	0
	6.Kat	100	0	0	0
	7.Kat	100	0	0	0
	8.Kat	100	0	0	0

İncelenen okul binası tasarım depremi için 1.mod doğrultusu olan y doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamamaktadır. Okul binasının tasarım depremi için y doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamamasının nedeni, hemen kullanım performans düzeyi için Çizelge 2.6'da verilen şartlardan herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u BHB'ne geçebilir şartının ihlalidir.

Çizelge 3.22 : Şiddetli Deprem İçin Eleman Hasar Durumu

	Katlar	MHB	BHB	İHB	GB
Kirişler (%)	1.Kat	0	100	0	0
	2.Kat	0	100	0	0
	3.Kat	0	100	0	0
	4.Kat	0	100	0	0
	5.Kat	0	100	0	0
	6.Kat	0	100	0	0
	7.Kat	0	100	0	0
	8.Kat	0	100	0	0
Kolonlar (%)	1.Kat	19	0	0	0
	2.Kat	19	0	0	0
	3.Kat	0	0	0	0
	4.Kat	0	0	0	0
	5.Kat	0	0	0	0
	6.Kat	0	0	0	0
	7.Kat	0	0	0	0
	8.Kat	0	0	0	0
Perdeler (%)	1.Kat	100	0	0	0
	2.Kat	100	0	0	0
	3.Kat	100	0	0	0
	4.Kat	100	0	0	0
	5.Kat	100	0	0	0
	6.Kat	100	0	0	0
	7.Kat	100	0	0	0
	8.Kat	100	0	0	0

Okul binası şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

3.4 DBYBHY 2007 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu bölümde 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarımı yapılan okul yapısının deprem performansı doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi “ kullanılarak irdelenecektir.

Yapı elemanlarında kullanılacak olan çatlama kesitlere ait eğilme rijitlikleri bölümün başında irdelenmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan bir statik analiz göze alınır. Bu analiz

kuvvet kontrollü olup sonuçları zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

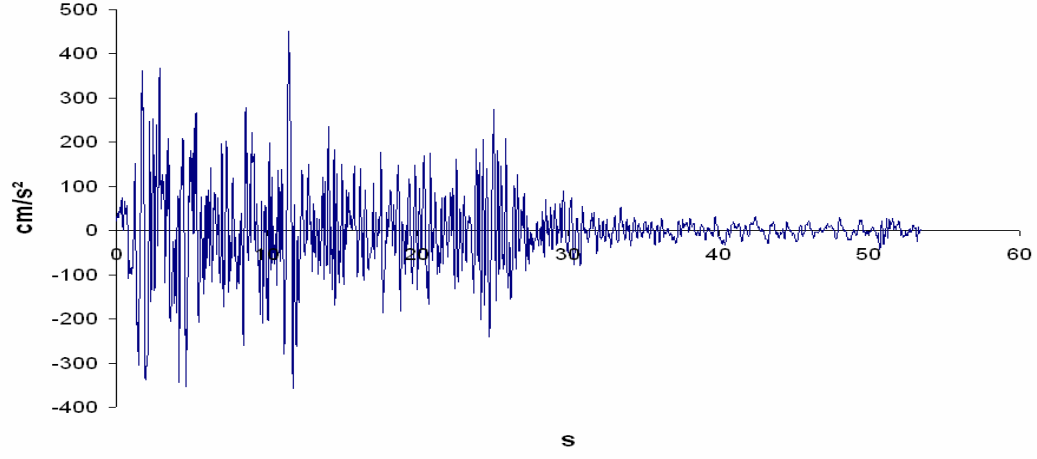
Analizde DBYBHY 2007' de ki tasarım spektrum eğrisine uygunluğu gösterilen üç adet benzeştirilmiş yer hareketi kullanılmıştır. Bu yer hareketlerinin oluşturulmasında, kullanılan tasarım spektrum eğrisi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depreme karşılık gelmektedir. 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan depremin spektrum eğrisi, tasarım spektrum eğrisinin 1.5 katı olduğundan 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan depremin benzeştirilmiş yer hareketi kaydı da tasarım spektrum eğrisi kullanılarak oluşturulan yer hareketlerinin 1.5 ile büyütülmüş halidir. Yapının simetrik olmasından dolayı yer hareketi Y doğrultusu için tek yönde uygulanmıştır.

3.4.1 Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

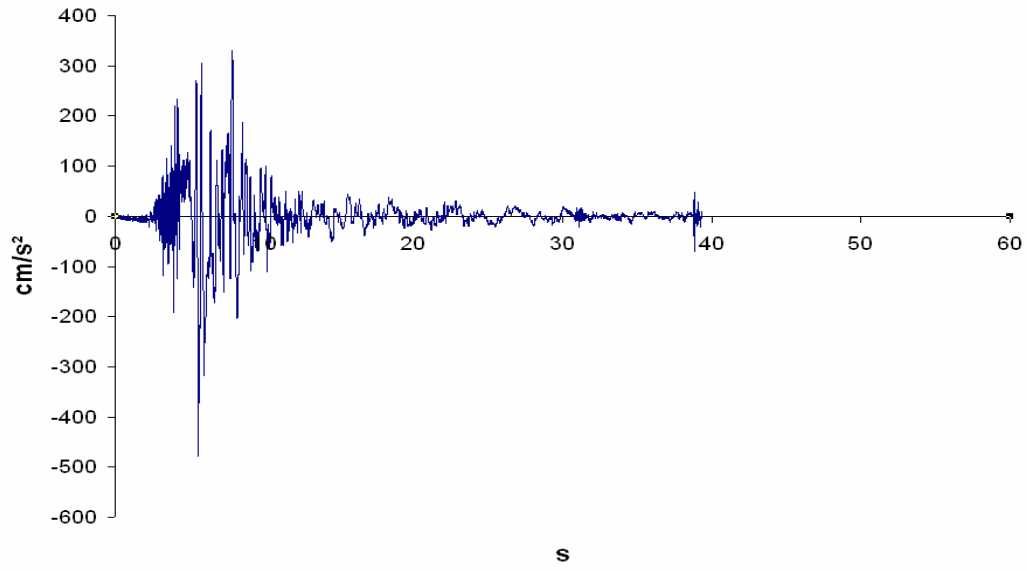
Analizde kullanılacak, en az üç adet depremin, ivme kayıtlarının uyması gereken koşullar deprem yönetmeliğinin 2.9.1 bölümünde verilmiştir. Bu koşullar aşağıdaki gibidir:

1. Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
2. Deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0 g 'den daha küçük olmayacaktır.
3. Her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, yönetmelikte tasarım için bölüm 2.4'te tanımlanan spektrumun $S_{ae}(t)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

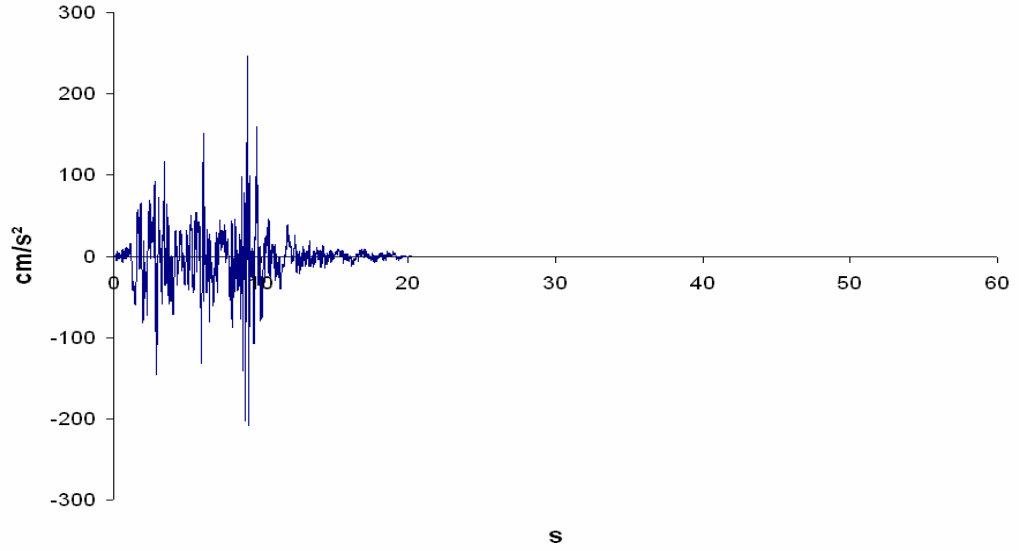
Birinci koşulun sağlanması için, depremlerin süresinin 0.95s'nin beş katında ve 15s'den uzun olması gerekir. Bu yapı için deprem süresinin alt limiti 15 saniyedir. Analizlerde LA01, LA04 kayıtlarının 35 saniyesi BO27 kaydının ise tamamı kullanılmıştır. Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 de depremlerin ivme kayıtları gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : LA01 Depreminin İvme Kaydı

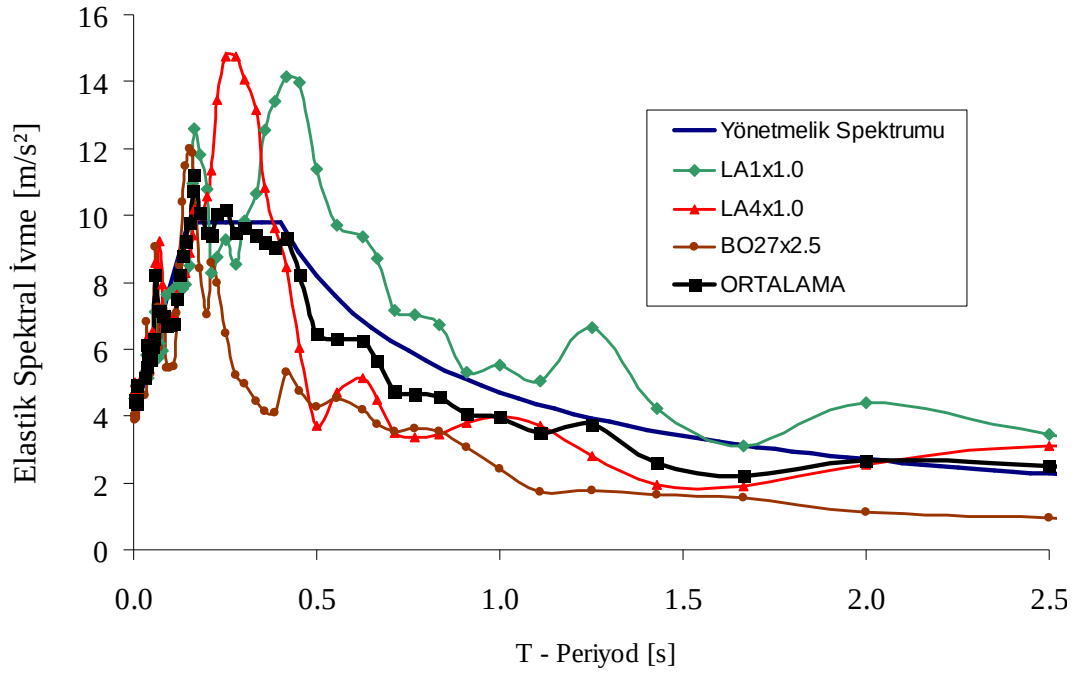


Şekil 3.10 : LA04 Depreminin İvme Kaydı



Şekil 3.11 : BO27 Depreminin İvme Kaydı

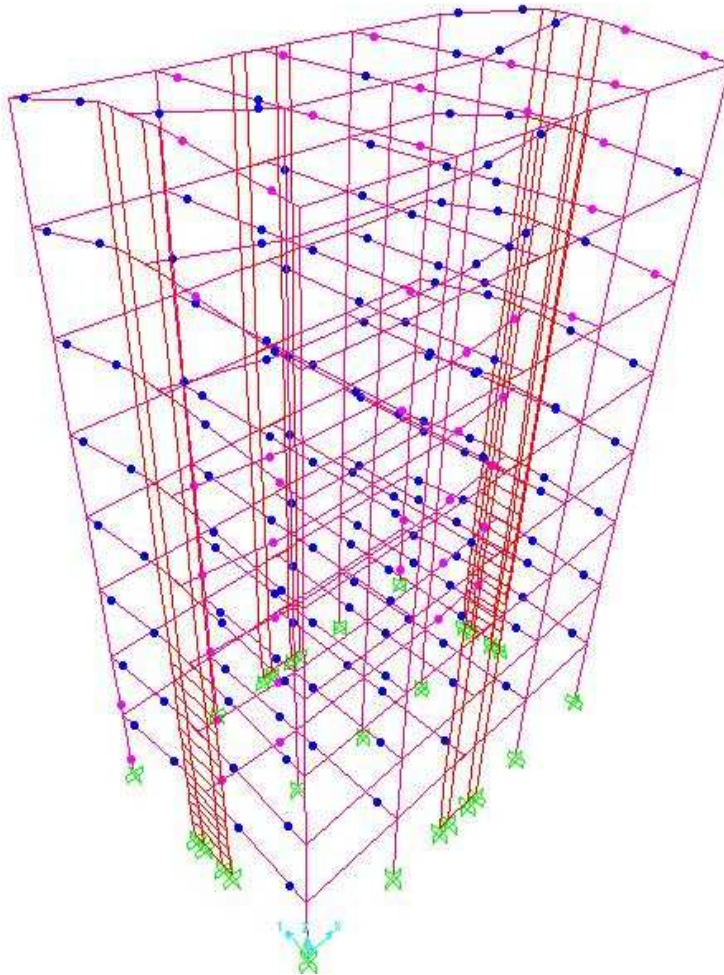
Analizde kullanılacak olan LA1, LA4, BO27 depremleri ve bu üç depremin ortalamasının elastik ivme spektrumları ile yönetmelik ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için Şekil 3.12’de verilmiştir.



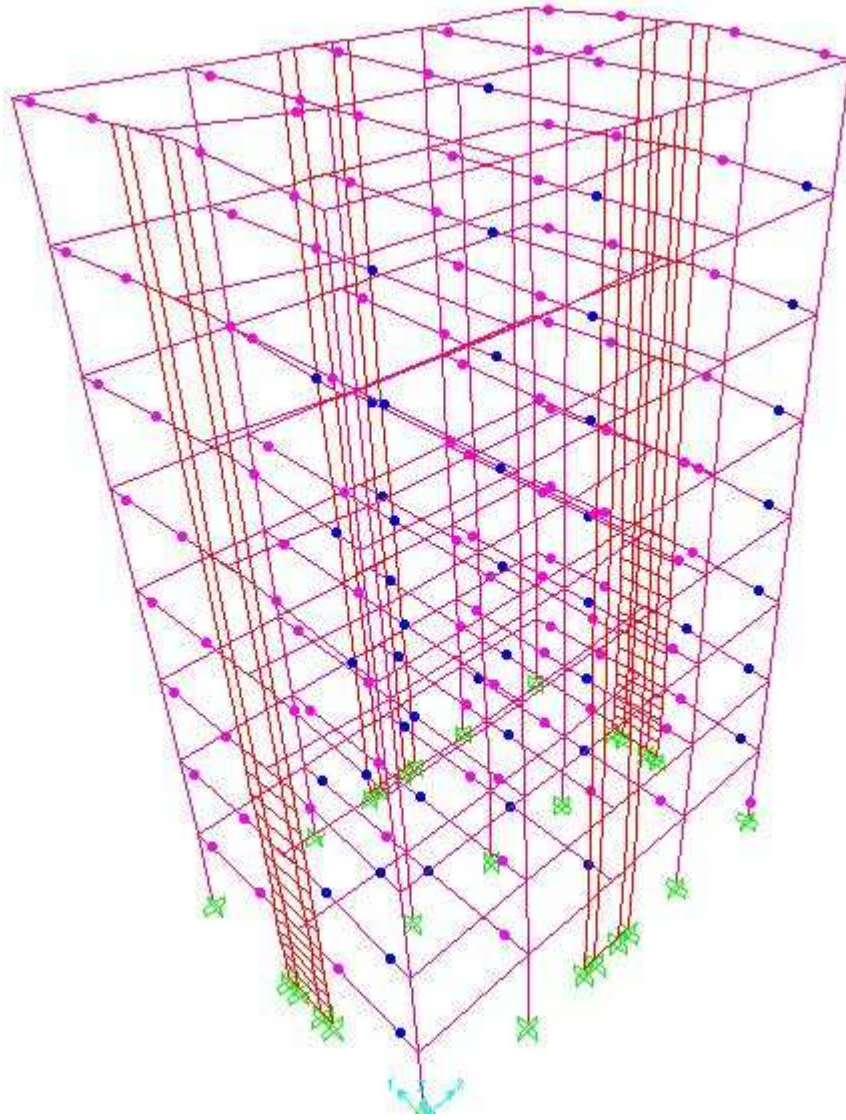
Şekil 3.12 : Analizde Kullanılacak Olan Depremlerin Elastik İvme Spektrumları

3.4.2 Kesit Hasarlarının Belirlenmesi

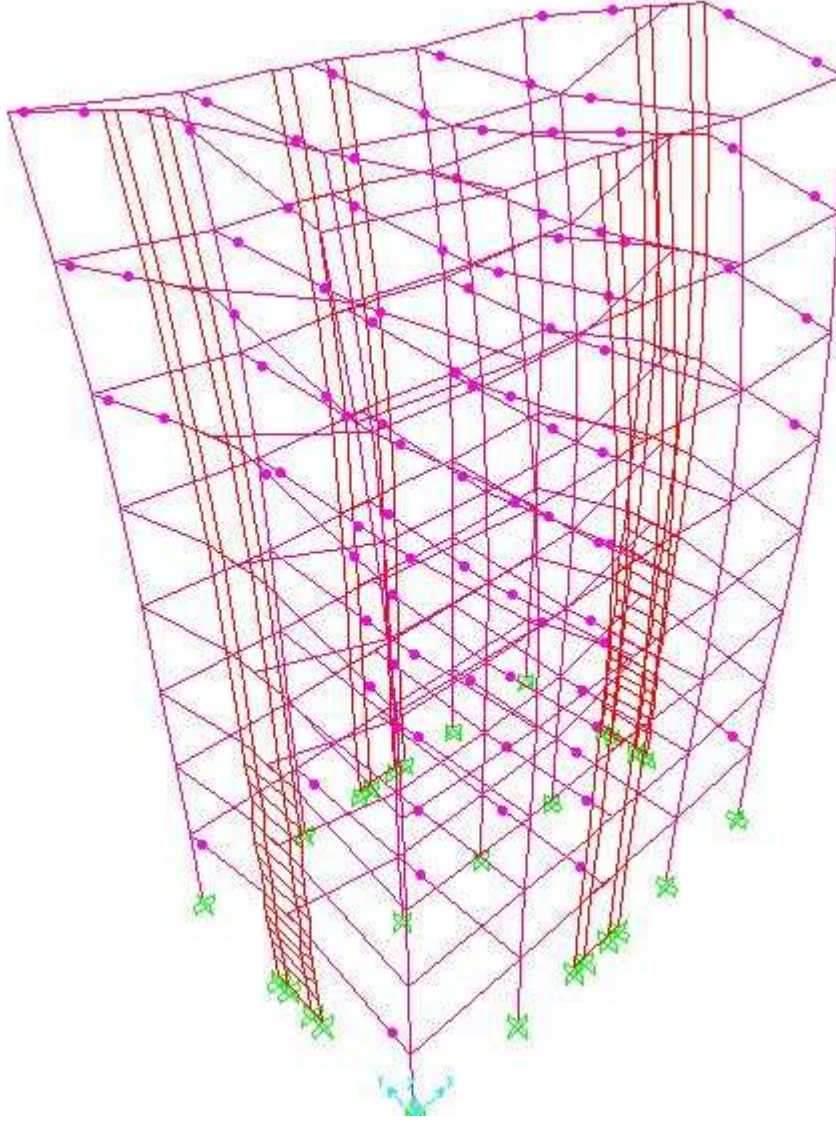
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi için kesit hasarlarının belirlenmesinde izlenen yol artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde izlenen yol ile aynıdır. Ancak, yönetmelik uyarınca, yapıya etkitilmiş üç farklı ivme kaydının yapıda oluşturduğu maksimum sonuçlar değerlendirilmede kullanılır. Şekil 3.13 Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’ de y doğrultusunda tasarım depremi etkisinde oluşan plastik mafsallar görüntülenmiştir. Burada tasarım depremi etkisinde oluşan plastik dönmelerin anlamı, yönetmelikte tasarım depremi için verilen ivme spektrumuna yakın spektral ivme değerlerine sahip ve Bölüm 3.4.1’de tariflenen koşulları sağlayan 3 depremin oluşturduğu en büyük plastik dönmedir. Şiddetli deprem için, tasarım depreminde kullanılan ivme kayıtlarının genliği 1.5 kat artırılmıştır.



Şekil 3.13 : LA01 Tasarım Dep.Etkisiyle Plastikleşen Kesitler



Şekil 3.14 : LA04 Tasarım Depremi Etkisiyle Plastikleşen Kesitler

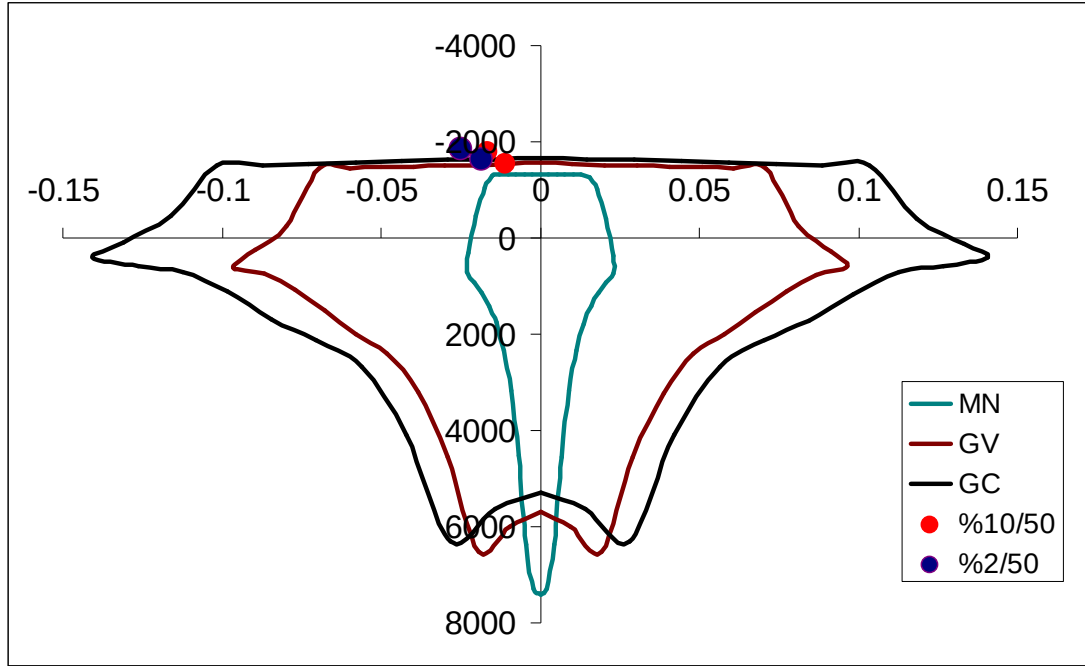


Şekil 3.15 : BO27 Tasarım Depremi Etkisiyle Plastikleşen Kesitler

Kiriş ve kolon hasarlarının belirlenmesi Bölüm 3.3.4’te tariflendiği gibidir. Perdeler de ise malzemelerin non-lineer tanımlanmasından dolayı hasar durumunu tespit etmek daha kolaydır. Perdelerde hasar durumu, deprem etkisinden dolayı perdenin z doğrultusunda yapmış olduğu uzamanın, yüksekliğe bölünmesi ile elde edilen birim şekil değişikliğinin DBYBHY 2007 ‘ de verilen limit değerler ile kıyaslanması sonucu elde edilir.

Tasarım depreminde okul binasında ki kirişlerin büyük bir bölümü belirgin hasar bölgesinde çıkmıştır. Perdelerde ise, birinci kattaki P101 ve P102 perdelerin donatılarında 0.024 oranında birim şekil değiştirme meydana gelmiştir. Bu oran yönetmelikte Belirgin Hasar Bölgesi olarak belirtilmiştir. Birinci kattan sonraki diğer katlarda perdelerde ki hasar durumu minimum hasar bölgesi olarak

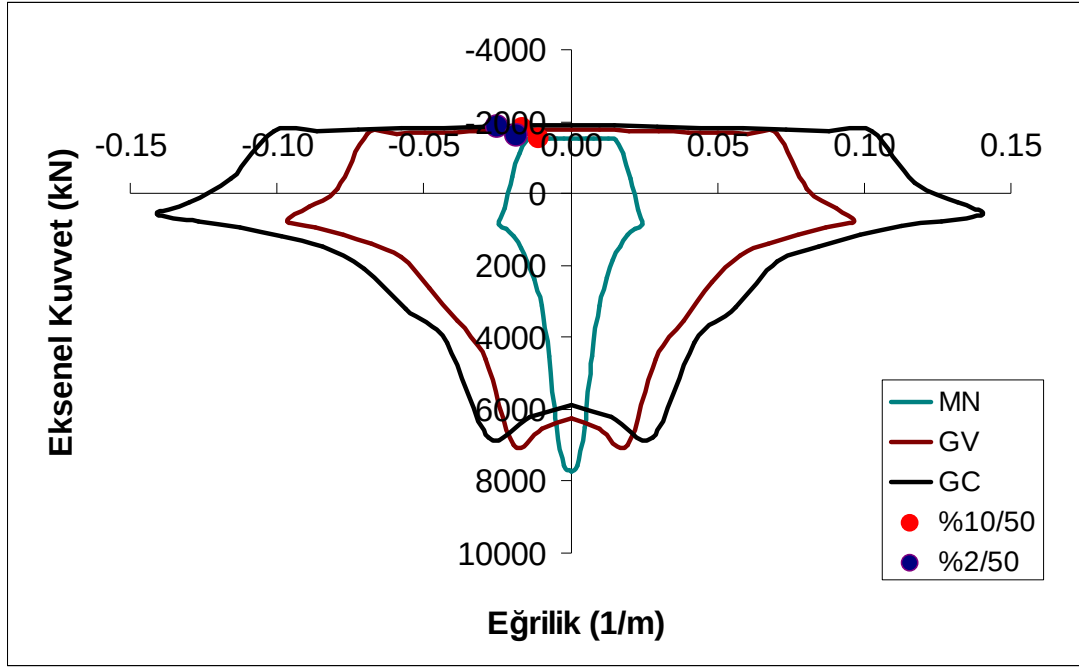
hesaplanmıştır. Kolonlarda ise, tasarım depreminin etkimesinden dolayı bazı kolonlarda aksel çekme meydana gelmiştir. Oluşan bu aksel çekme S101 kolonunun aksel çekme kapasitesinden büyük olduğu için bu kolonun hasar durumu göçme bölgesinde çıkmaktadır. Sadece bu sonuç bile, okul binasının tasarım depreminde hemen kullanım, şiddetli depremde ise can güvenliğini performans seviyesini sağlamadığını göstermektedir. Şekil 3.16’ da S101 ve S201 kolonlarının tasarım depremi ve şiddetli depremde altında ki hasar durumları gösterilmektedir.



**Şekil 3.16 : Y Doğrultulu Tasarım Depremi ve Şiddetli Depremde
S101-S201 Kolonları Hasar Durumu**

Ayrıca şiddetli deprem altında S101 ve S201 kolonlarının yanı sıra S102, S105 ve S106 kolonlarında da mafsallaşmalar meydana gelmiştir. Bu kolonların da hasarlarında belirleyici rol aksel çekme kuvveti olmuştur. Bu hasarlarda LA1 depremi belirleyici olmuştur.

Mafsal oluşan kolonlarda aksel çekme kapasitesini arttırmak için donatı alanını arttırmamız gereklidir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda mafsal oluşan kolonlardaki donatı oranını minimum %3 yaparsak kolonlar kısmen de olsa göçme bölgesinden çıkmış olmaktadır. Şekil 3.20’ de bu durum gösterilmektedir.



Şekil 3.17 : Donatı Oranı %3 olan S101 ve S201 Kolonları Hasar Durumları

Betonarme kolon-kiriş birleşimleri için Bölüm 3.3.4’te tarif edilen yöntem zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap içinde geçerlidir.

Çizelge 3.23’te 1. kat için y doğrultusundaki depremde birleşim bölgelerinin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir. V_e değerinin tanımı Denklem (3.19)’da verilmiştir.

Çizelge 3.23 : 1.Kat Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Kontrolü

Kolon	As_1+As_2	V_e	$0.45*b_i*h*f_{cd}$
1.Kat	mm ²	kN	kN
S101	1200	852	2430
S102	1200	730	3240
S103	1200	730	3240
S104	1200	852	2430
S105	1800	1160	3375
S106	1800	1161	3375
S107	1800	1160	3375
S108	1200	852	2430
S109	1200	730	3240
S110	1200	730	3240
S111	1200	852	2430

Kolonlarda ise kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması ile olur. Çizelge 3.24’ de y doğrultulu şiddetli deprem etkileri

altında hesaplanmış olan 1.kat kolon kesme kuvveti istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.24 : 1.Kat Kolonlarının Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği

Kolon	V _{istem}	A _{sw} *f _{ywm} *d/s
1.Kat	kN	kN
S101	222	79*4*420*570/150/1000=504kN
S102	100	79*4*420*370/150/1000=317kN
S103	100	79*4*420*370/150/1000=317kN
S104	222	79*4*420*570/150/1000=504kN
S105	214	79*4*420*470/150/1000=416kN
S106	216	79*4*420*470/150/1000=416kN
S107	214	79*4*420*470/150/1000=416kN
S108	222	79*4*420*570/150/1000=504kN
S109	100	79*4*420*370/150/1000=317kN
S110	100	79*4*420*370/150/1000=317kN
S111	222	79*4*420*570/150/1000=504kN

Y doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış perde 1. kat kesme istemleri kesit kesme kapasitesi ile aşağıda karşılaştırılmıştır. P101 perdesi ile P102 perdesi simetrik olduğundan hesap sadece P101 elemanı için yapılmıştır.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywm}) = 630000 (0.65 \times 1.875 + 0.0028 \times 420) = 1510 \text{ kN}$$

$$V_e = 1078 \text{ kN}$$

$$V_e/V_r = 1078/1510 = 0.72 < 1$$

Bu oran, y doğrultusunda 3 şiddetli deprem etkisinde perdelerin kesme güvenliğini sağladığını göstermektedir.

Y doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış kiriş 1. kat kesme istemleri kesit kesme kapasitesi ile aşağıda karşılaştırılmıştır. Kesme kontrolü hem açıklıkta hem mesnette ayrı ayrı yapılmalıdır. Çizelge 3.25’ de açıklık donatısı (az) için mesnetteki (fazla) kesme kuvvetleri karşılanmaya çalışıldığından güvenli tarafta bir karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 3.25 : Kat Kirişleri Y Doğrultusu İçin Kesme Güvenliği

Kiriş	Vistem	$A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot d/s$
1.Kat	kN	kN
K113	195	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K114	170	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K115	151	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K116	160	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K117	130	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K118	150	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K119	151	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K120	160	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K121	195	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$
K122	170	$(158/150) \cdot 420000 \cdot 570 = 252$

3.4.3 Binanın Farklı Depremlerdeki Performans Seviyeleri

Okul binasının, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depreminde hemen kullanım performans seviyesini, 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan şiddetli depremde can güvenliği performans seviyesini sağlaması istenmektedir.

Yapı, tasarım depremi için y doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans seviyesini kiriş hasarlarından ve göçme bölgesinde bulunan S101 ve S102 kolon hasarlarından dolayı sağlamamaktadır. Okul binası şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans seviyesini, tasarım depreminde olduğu gibi kolon hasarlarının göçme durumunda çıkmasından dolayı sağlamamaktadır.

Sonuç olarak yapı y doğrultusunda yapılmış olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile performans analizinde, tasarım depremi altında hemen kullanım performans seviyesini ve şiddetli deprem altında can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.

Çizelge 3.26 : Tasarım Depremi İçin Eleman Hasar Durumları

Kirişler (%)	Katlar	MHB	BHB	İHB	GB
	1.Kat	0	100	0	0
	2.Kat	0	100	0	0
	3.Kat	0	100	0	0
	4.Kat	0	100	0	0
	5.Kat	0	100	0	0
	6.Kat	0	100	0	0
	7.Kat	20	80	0	0
	8.Kat	30	70	0	0
Kolonlar (%)	1.Kat	0	0	0	36
	2.Kat	0	0	0	36
	3.Kat	0	0	0	0
	4.Kat	0	0	0	0
	5.Kat	0	0	0	0
	6.Kat	0	0	0	0
	7.Kat	0	0	0	0
	8.Kat	0	0	0	0
Perdeler (%)	1.Kat	50	50	0	0
	2.Kat	100	0	0	0
	3.Kat	100	0	0	0
	4.Kat	100	0	0	0
	5.Kat	100	0	0	0
	6.Kat	100	0	0	0
	7.Kat	100	0	0	0
	8.Kat	100	0	0	0

Çizelge 3.27 : Şiddetli Deprem İçin Eleman Hasar Durumu

	Katlar	MHB	BHB	İHB	GB
Kirişler (%)	1.Kat	0	100	0	0
	2.Kat	0	80	20	0
	3.Kat	0	60	40	0
	4.Kat	0	60	40	0
	5.Kat	0	60	40	0
	6.Kat	0	60	40	0
	7.Kat	0	60	40	0
	8.Kat	0	60	40	0
Kolonlar (%)	1.Kat	0	0	0	100
	2.Kat	0	0	0	36
	3.Kat	0	0	0	0
	4.Kat	0	0	0	0
	5.Kat	0	0	0	0
	6.Kat	0	0	0	0
	7.Kat	0	0	0	0
	8.Kat	0	0	0	0
Perdeler (%)	1.Kat	50	0	50	0
	2.Kat	50	50	0	0
	3.Kat	100	0	0	0
	4.Kat	100	0	0	0
	5.Kat	100	0	0	0
	6.Kat	100	0	0	0
	7.Kat	100	0	0	0
	8.Kat	100	0	0	0

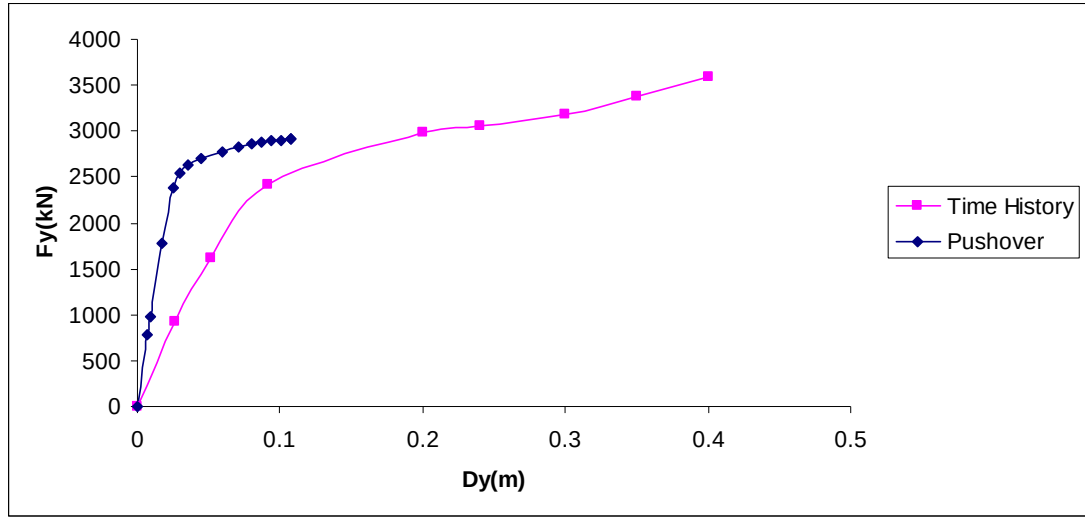
3.4.4 Doğrusal Olmayan Statik ve Dinamik Çözümün Karşılaştırılması

Bu bölümde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap (ZTAH) ve Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi (AİA) sonuçları karşılaştırılmıştır. Başlangıçta y doğrultusunda şiddetli deprem için, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap esnasında katların yaptığı en büyük yerdeğiştirme değerleri 1' e göre normalize edilmiştir. Benzer işlem artımsal itme analizi içinde yapılmıştır.

Çizelge 3.28 : Y Doğrultusu İçin Normalize Edilmiş Kat Ötelemeleri

Kat	ZTAH	AİA
8	1.00	1.00
7	0.90	0.89
6	0.78	0.75
5	0.65	0.64
4	0.50	0.50
3	0.35	0.35
2	0.20	0.20
1	0.07	0.06

Çizelge 3.28’ de ki değerlerin karşılaştırılması ile 8 katlı okul binası için artımsal itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan kat öteleme oranlarının yakın olduğu görülmüştür. Bu yakınlık sayesinde, yüksek modların etkilerinin küçük olduğu çıkarımı yapılır.



Şekil 3.18 : Y Doğrultulu Deprem İçin ZTAH ve AİA Tepe Deplasman-Taban Kesme Kuvveti Grafiği

Şekil 3.18’ de y doğrultu deprem etkisinde okul binasının tepe deplasman kuvvet grafiği verilmiştir. Burada yapılan karşılaştırma kabaca bir karşılaştırmadır. Bunun başlıca sebebi AİA’ nin yönetmelikteki ivme spektrumuna göre yapılması ancak ZTAH için kullanılan depremlerin spektruma tam uygun olmamasıdır.

4. SONUÇLAR

“Betonarme bir taşıyıcı sistemin deprem performansının değişik yöntemlerle karşılaştırmalı değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışması dâhilinde, 2007 Deprem Yönetmeliği’ne göre tasarlanmış sekiz katlı perde ve çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme bir okul binası için yine aynı yönetmelikte bulunan üç farklı yöntemle göre performans düzeyleri belirlenmiştir. Taşıyıcı sistemin tasarımı ve performans düzeylerinin belirlenmesinde SAP2000 programından, kesit moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramlarının hesaplanmasında XTRACT programından yararlanılmıştır. Ayrıca seçilen örnek kesitlerde bu hesaplama adımları verilmiştir.

Binanın deprem performansının belirlenmesinde üç yöntem kullanılmıştır. Bunlar *“Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”*, *“Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”* ve *“Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap”* yöntemleridir. Kullanılan yöntemlerden eşdeğer deprem yüğü yöntemi ile doğrusal elastik değerlendirme yaklaşımı kuvvet esaslı bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, kesit iç kuvvetlerinin deprem istemini belirlenerek dolaylı yoldan hasar (elastik ötesi şekil değiştirme) belirlenmiştir. Diğer iki yöntemden artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi, ilk yöntem gibi statik bir yöntem olmasına rağmen doğrusal olmayan bir yöntem olduğu için yapının deprem altındaki iç kuvvet ve şekil değiştirme istemi ve dolayısıyla kesit hasarları doğrudan belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal hesap yönteminde ise belirli sayıda deprem kaydının yapıya etkitilmesi sonucunda, yapının iç kuvvet ve şekil değiştirme talebi doğrusal olmayan dinamik analizle hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

- a. Doğrusal elastik eşdeğer deprem yüğü yöntemi ile deprem performansının değerlendirilmesi sonucunda tasarım depremi etkisinde okul binası y doğrultusunda hedeflenen hemen kullanım performans düzeyini sağlamamaktadır. Düşey taşıyıcı sistemin bazı elemanlarında minimum hasar oluşmuştur. Yapının tasarım depremi için y doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans düzeyini sağlamamasının nedeni, belirgin hasar bölgesine geçen kirişler ve belirgin hasar bölgesine geçen bazı düşey taşıyıcı elemanlardır. Eğer kirişlerin

kolonlara göre döşeme ile birleştikleri göz önüne alınırsa ve bu açıklamaya dayanarak göz ardı edilmek istenirse, durumun değişecektir.. Yapı şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans düzeyini de sağlamamaktadır. Bunun nedeni ise düşey taşıyıcı elemanlardan perdelerin 1.katta ileri hasar bölgesine geçmesidir ve Deprem Yönetmeliği'nin 7.7.3b maddesi uyarınca, ileri hasar bölgesinde ki düşey taşıyıcı elemanların, her bir katta düşey taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20' nin altında olmalıdır maddesinin ihlalidir.

- b. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem performansının değerlendirilmesi sonucunda tasarım depremi etkisinde okul binası y doğrultusunda, belirgin hasar bölgesine geçen kirişlerden dolayı, hedeflenen hemen kullanım performans düzeyini sağlamamaktadır. Belirgin hasar bölgesine geçen kirişlerin, belirgin hasar bölgesine geçenlerinin oranı arttırılırsa taşıyıcı sistem performans durumu değişecektir Yapı şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans düzeyini sağlamaktadır.
- c. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem performansının değerlendirilmesi sonucunda tasarım depremi etkisinde okul binası y doğrultusunda, hedeflenen hemen kullanım performans düzeyini sağlamamaktadır. Yapı, şiddetli deprem için y doğrultusunda istenilen can güvenliği performans düzeyini de sağlamamaktadır. Bunun nedeni ise 1. katta bulunan bazı kolonların hasar durumunun yüksek düzeyde ki eksenel çekme kuvvetinden dolayı göçme bölgesinde çıkmasıdır.
- d. Yapıda artımsal itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan kat ötelenme oranlarının yakın olduğu görülmüştür. Bu yakınlık sayesinde yüksek modların etkilerinin küçük olduğu sonucu çıkarılabilir.
- e. Deprem Yönetmeliği' ne göre, moment kapasitesi ve dinamik büyültme katsayısı göz önüne alınarak hesaplanan kesme kuvvetine göre boyutlandırılmış perdelerin her üç yöntem sonucunda da kesme güvenliğini sağladığı görülmüştür.
- f. Deprem Yönetmeliği'ne göre uygun olarak doğrusal olmayan malzeme özelliklerine göre tasarlanmış olan perdelerde üç performans belirleme yönteminde iki farklı hasar durumu meydana gelmiştir. Örneğin şiddetli deprem için perdeler, eşdeğer deprem yükü yönteminde ileri hasar bölgesinde, artımsal

itme analizinde minimum hasar bölgesinde, zaman tanım alanında hesap yönteminde ise ileri hasar bölgesinde çıkmıştır.

- g. Sonuç olarak, uygulanan üç farklı performans belirleme yönteminde farklı sonuçlar bulunmasının temel sebebi her bir hesap yöntemi için yapılan kabullerdir. Bu sonuç bize gösteriyor ki, Deprem Yönetmeliği'nin 7. bölümde bulunan mevcut yapıların değerlendirilmesi bölümünde uygulanan kuralların, aynı yönetmelikteki bölüm 2 ve bölüm 3' de bulunan yeni bir bina tasarımı için uygulanacak olan kurallara göre biraz daha katı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, bu sonucun çok sınırlı bir sayısal çalışmadan çıkarıldığı unutulmamalıdır.
- h. İncelenen yapıda doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elemanlarda oluşan hasar durumları y doğrultusu için ayrı ayrı yüzde oranı olarak Ek C' de gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Eyidoğan, H.**, 2003. Tektonik ve Deprem Tehlikesi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İTÜ, İstanbul, 26-30 Mayıs.
- [2] **Celep, Z.**, 2007. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [3] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [4] **VISION 2000**, 1995. Performance Based Seismic Engineering of Buildings, *Structural Engineers Association of California*, California.
- [5] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [6] **FEMA-273/274**, 2000. Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [7] **ETABS** Extended 3d Analysis of Building System, Computers and Structures Inc.2000. *Berkeley*, California
- [8] **SAP2000** Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Desing of Structure, Computers and Structures Inc. 2000. *Berkeley*, California
- [9] **FEMA – 440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [10] **Priestley, M.J.N.**, 2003. Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revisited, *IUSS Press*, Pavia.

EKLER

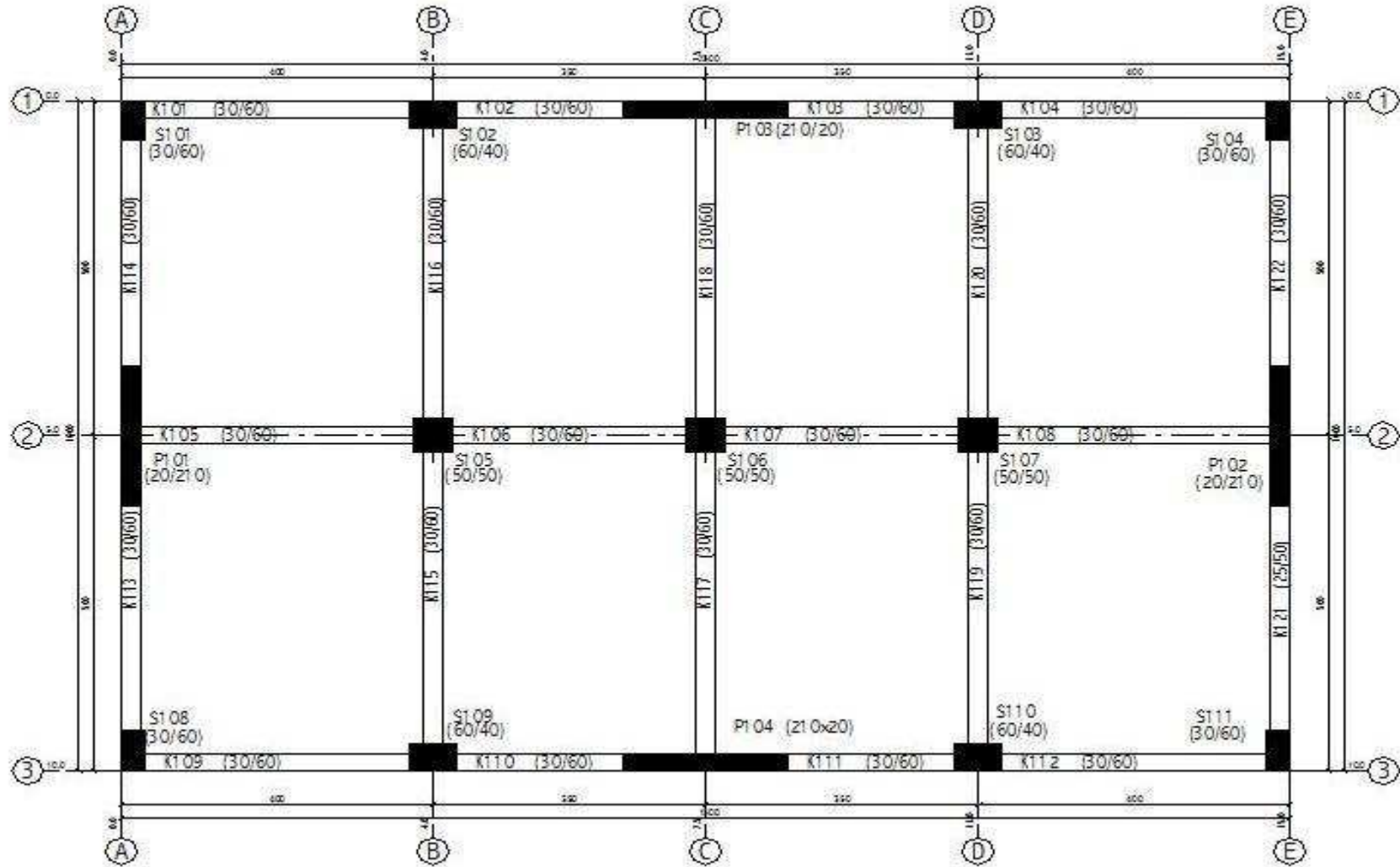
- EK A : Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi İçin Kiriş Hasar Durumu
- EK B : 1.Kat Kalıp Planı
- EK C : Taşıyıcı Sistem Elemanları Hasar Yüzdeleri

EK A

Çizelge A.1 : Doğrusal Elastik Yöntem İçin 1.Kat Kirişlerin Hasar Durumları

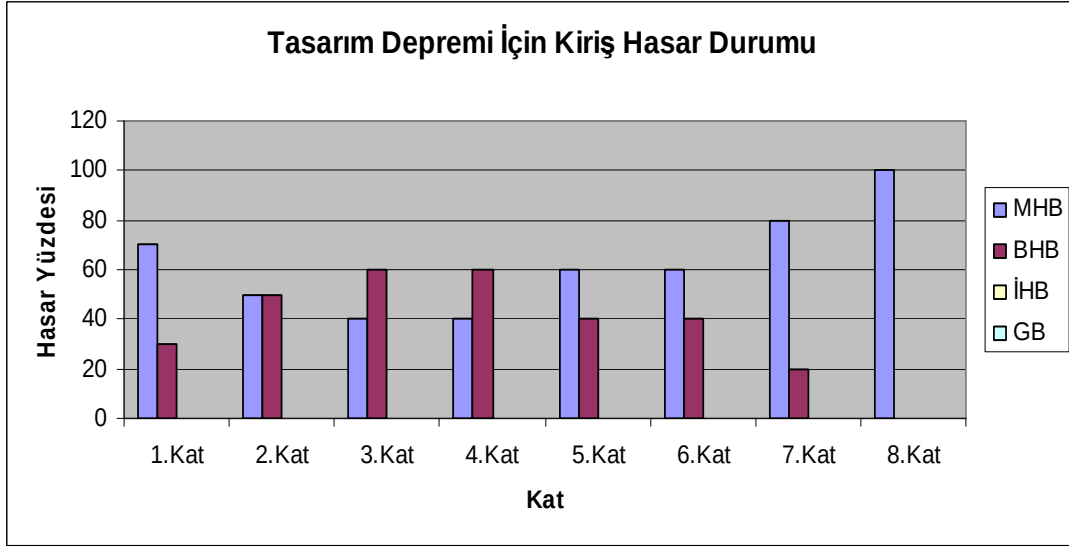
Kiriş	Eleman Ucu	Kiriş Boyu	V _{dy}	M(g+n _g)	M _r	1.0Me	1.5Me	r	1.5r	(p-p')/p _b	V _e /(b _w d _f c _t m)	V _e /V _r	Hasar Sınırları			50 Yıl %10	50 Yıl %2
													MN	GV	GÇ		
		(m)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)									(Hasar)	(Hasar)
K113	Sol	5.00	28.22	-18.12	120.12	570.07	855.105	4.12	6.19	-0.12	0.39	0.33	3	7	10	BH	BH
K113	Sağ	5.00	44.32	-31.15	-231.1	-633.247	-949.8705	3.17	4.75	0.12	0.44	0.38	3	6.5	9.5	BH	BH
K114	Sol	5.00	44.32	-31.15	120.12	633.247	949.8705	4.19	6.28	-0.12	0.44	0.38	3	7	10	BH	BH
K114	Sağ	5.00	28.22	-18.12	-231.1	-570.07	-855.105	2.68	4.01	0.12	0.39	0.33	3	6.5	9.5	MH	BH
K115	Sol	5.00	66.66	-56.84	120.12	335.06	502.59	1.89	2.84	-0.12	0.51	0.44	3	7	10	MH	MH
K115	Sağ	5.00	73.3	-73.45	-231.1	-328.05	-492.075	2.08	3.12	0.12	0.54	0.45	3	6.5	9.5	MH	BH
K116	Sol	5.00	73.3	-73.45	120.12	328.05	492.075	1.69	2.54	-0.12	0.54	0.45	3	7	10	MH	MH
K116	Sağ	5.00	66.66	-58.85	-231.1	-335.06	-502.59	1.95	2.92	0.12	0.51	0.44	3	6.5	9.5	MH	MH
K117	Sol	5.00	62.35	-45.40	120.12	292.28	438.42	1.77	2.65	-0.12	0.50	0.43	3	7	10	MH	MH
K117	Sağ	5.00	74.47	-75.69	-231.1	-309.74	-464.61	1.99	2.99	0.12	0.54	0.46	3	6.5	9.5	MH	MH
K118	Sol	5.00	74.47	-75.69	120.12	309.74	464.61	1.58	2.37	-0.12	0.54	0.46	3	7	10	MH	MH
K118	Sağ	5.00	62.35	-45.40	-231.1	-292.28	-438.42	1.57	2.36	0.12	0.50	0.43	3	6.5	9.5	MH	MH
K119	Sol	5.00	66.66	-56.84	120.12	335.06	502.59	1.89	2.84	-0.12	0.51	0.44	3	7	10	MH	MH
K119	Sağ	5.00	73.3	-73.45	-231.1	-328.05	-492.075	2.08	3.12	0.12	0.54	0.45	3	6.5	9.5	MH	BH
K120	Sol	5.00	73.3	-73.45	120.12	328.05	492.075	1.69	2.54	-0.12	0.54	0.45	3	7	10	MH	MH
K120	Sağ	5.00	66.66	-58.85	-231.1	-335.06	-502.59	1.95	2.92	0.12	0.51	0.44	3	6.5	9.5	MH	MH
K121	Sol	5.00	28.22	-18.12	120.12	570.07	855.105	4.12	6.19	-0.12	0.39	0.33	3	7	10	BH	BH
K121	Sağ	5.00	44.32	-31.15	-231.1	-633.247	-949.8705	3.17	4.75	0.12	0.44	0.38	3	6.5	9.5	BH	BH
K122	Sol	5.00	44.32	-31.15	120.12	633.247	949.8705	4.19	6.28	-0.12	0.44	0.38	3	7	10	BH	BH
K122	Sağ	5.00	28.22	-18.12	-231.1	-570.07	-855.105	2.68	4.01	0.12	0.39	0.33	3	6.5	9.5	MH	BH

EK B

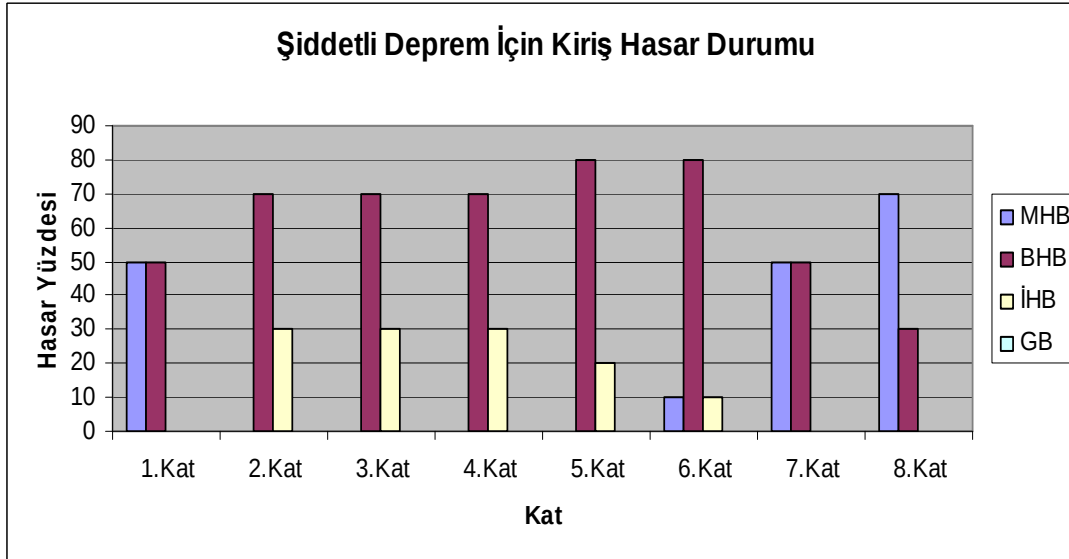


Şekil 1.B: 1 Kat Kalıp Planı (Zemin Kat)

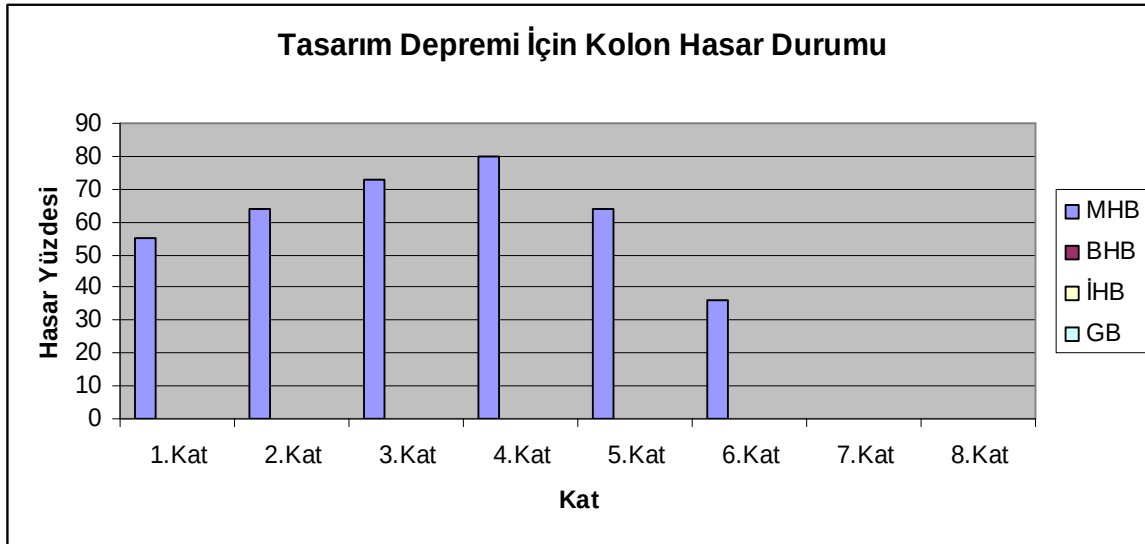
EK C



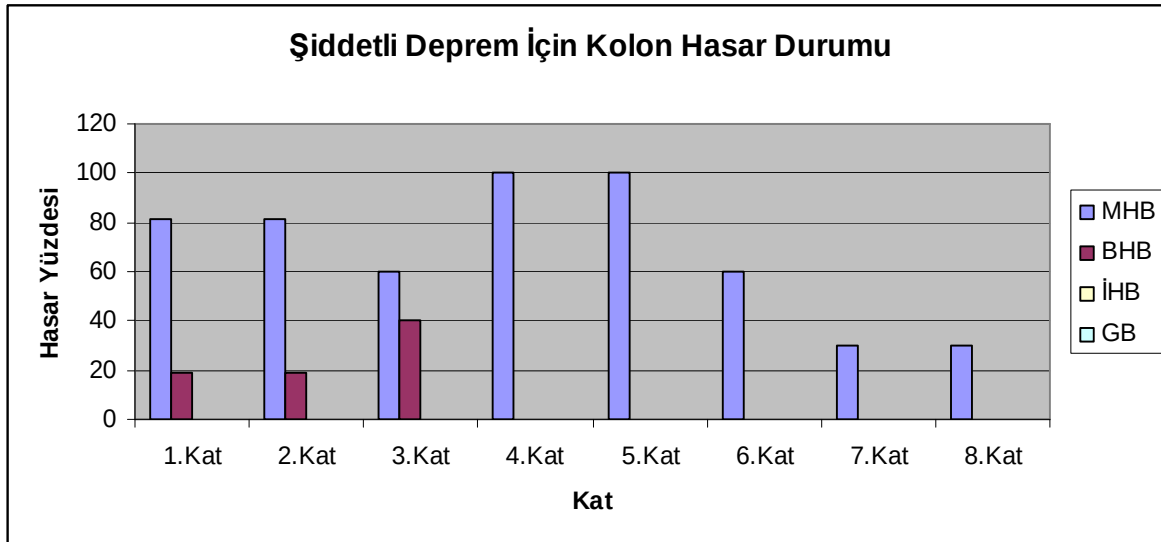
Çizelge C.1 : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi



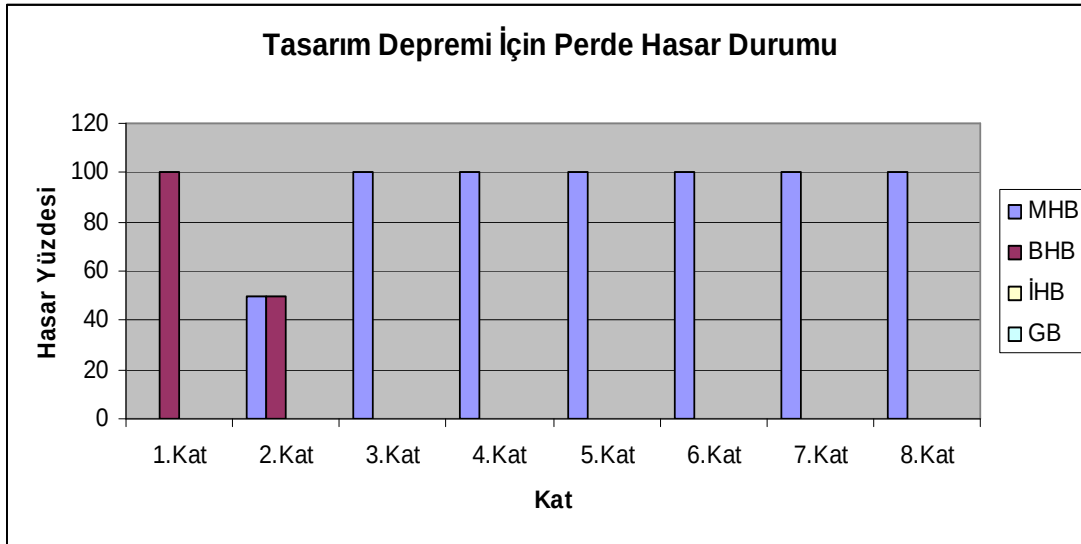
Çizelge C.2 : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi



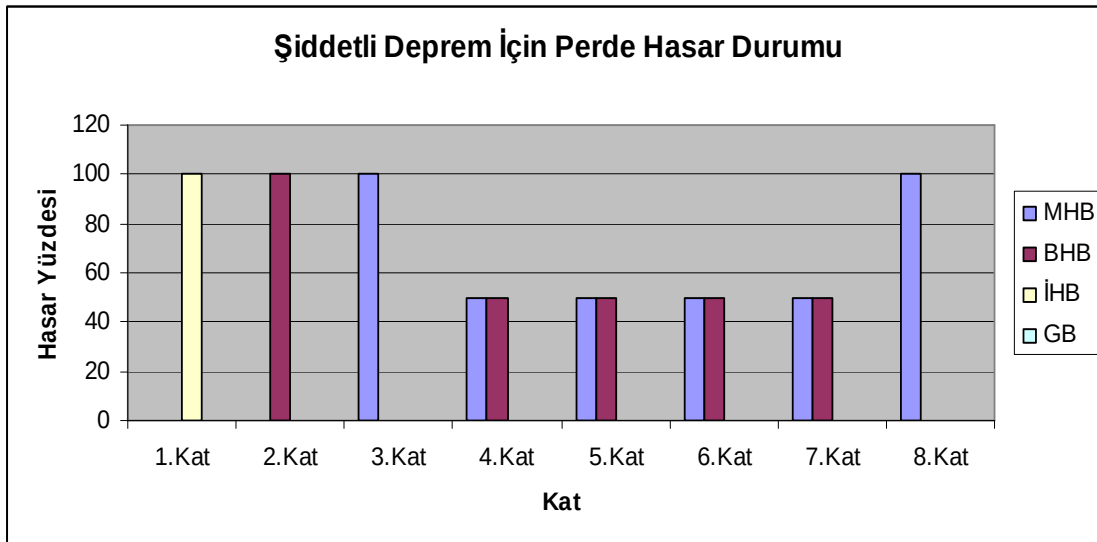
Çizelge C.3 : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi



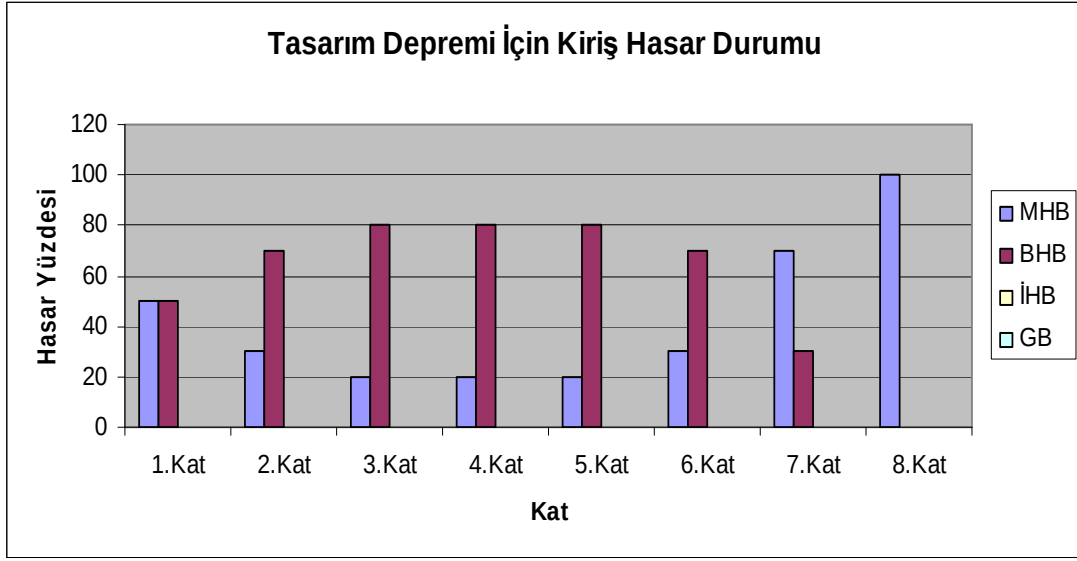
Çizelge C.4 : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi



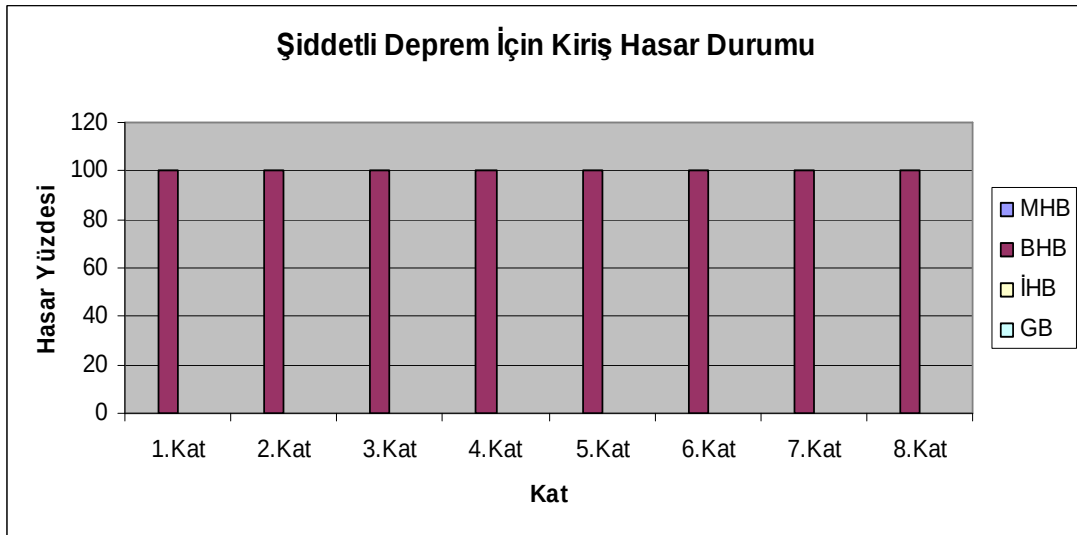
Çizelge C.5 : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi



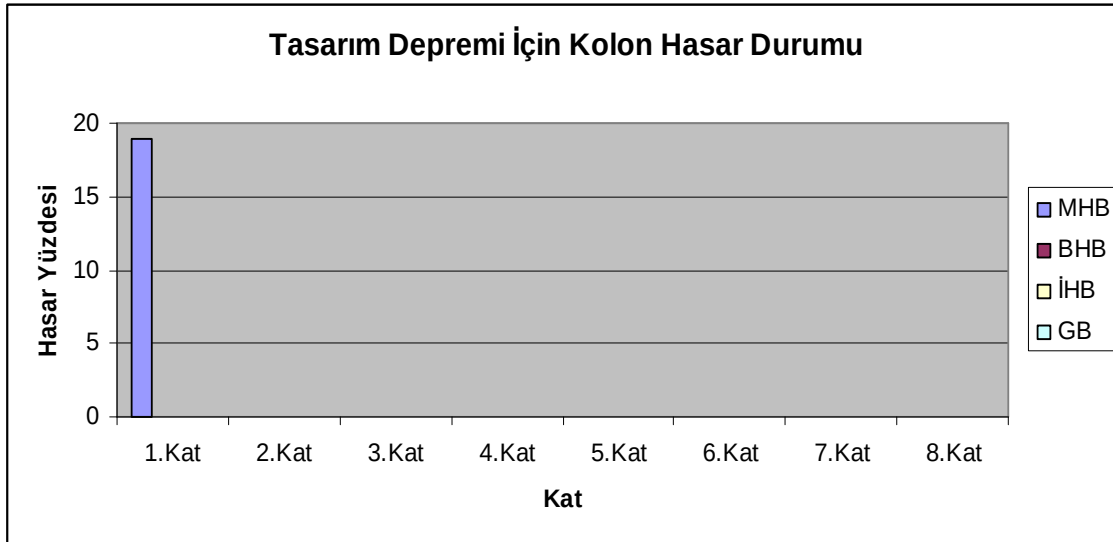
Çizelge C.6 : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi



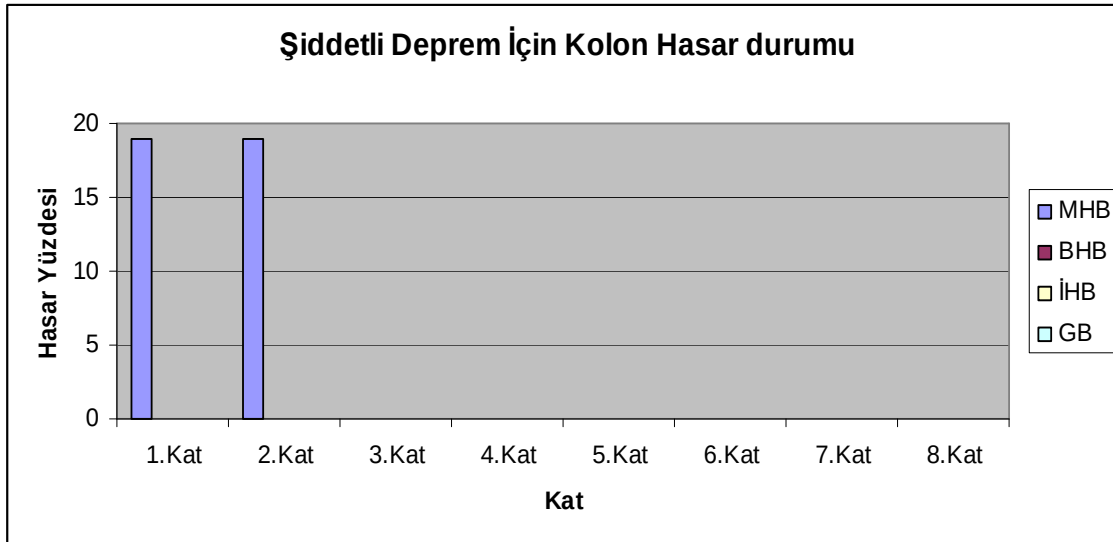
Çizelge C.7 : Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi



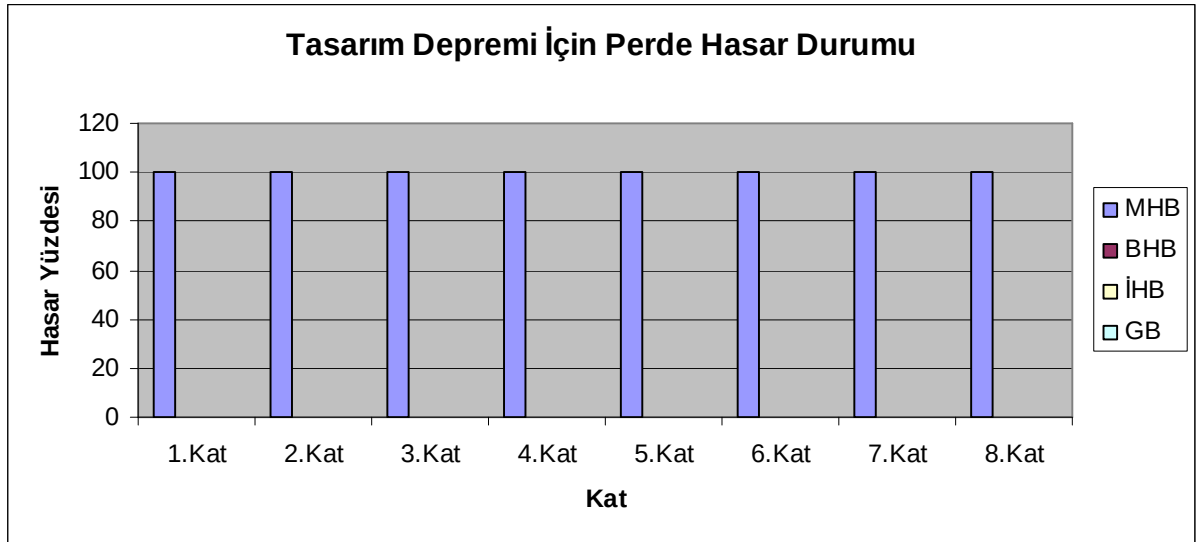
Çizelge C.8 : Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi



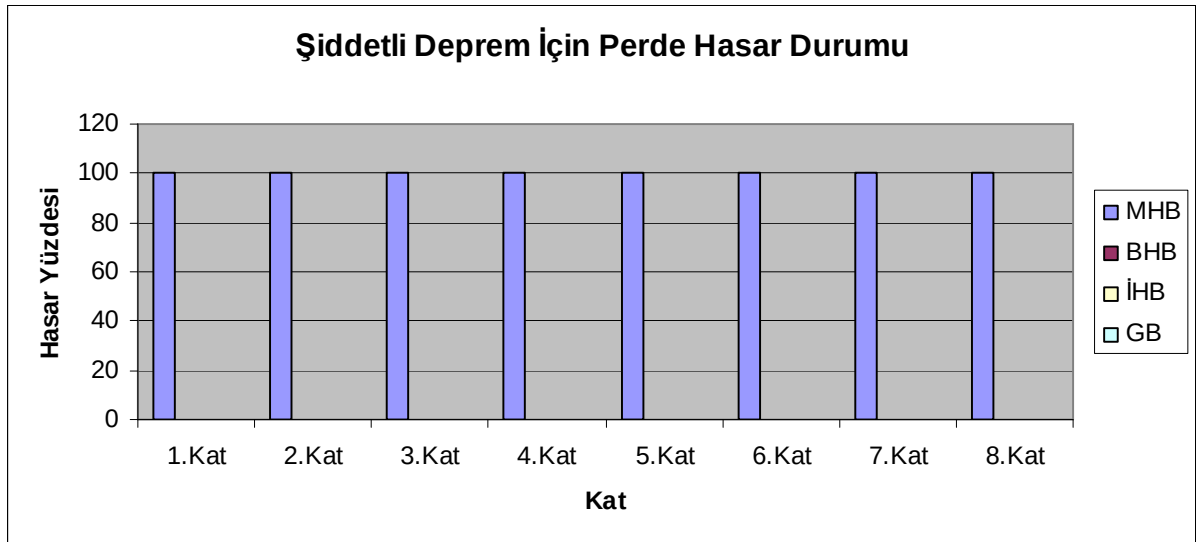
Çizelge C.9 : Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi



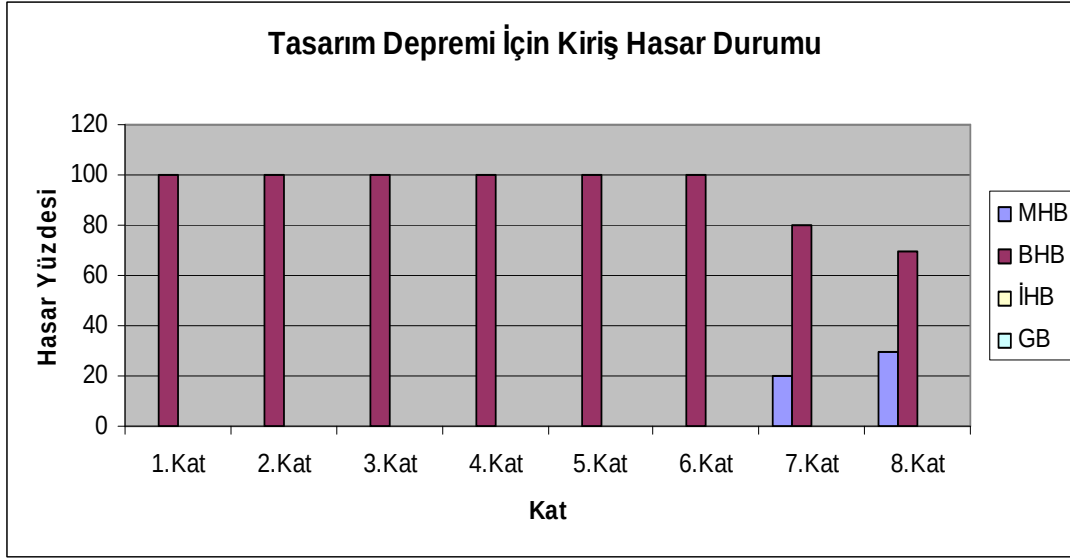
Çizelge C.10 : Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi



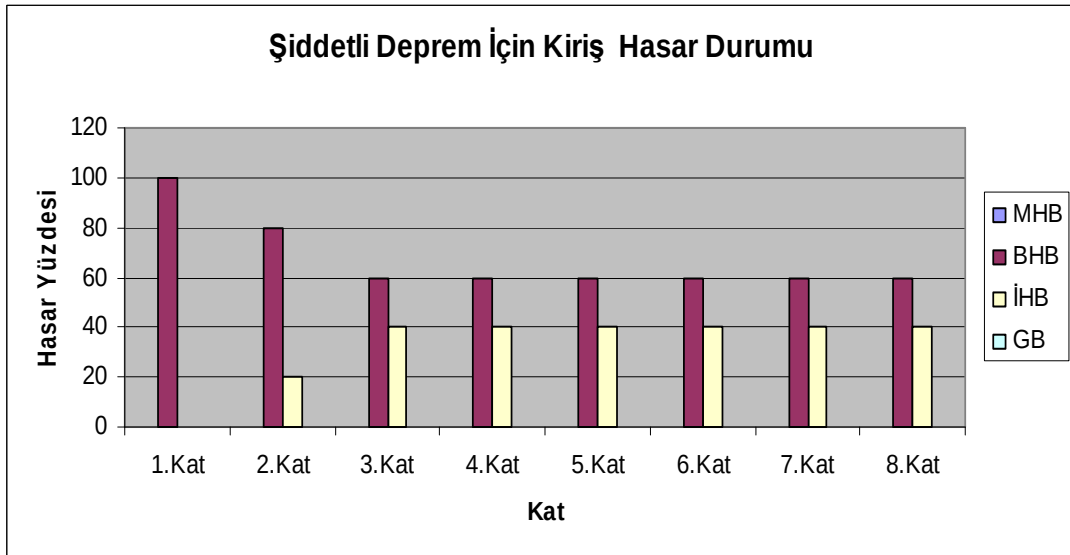
Çizelge C.11 : Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi



Çizelge C.12 : Artımsal İtme Analizi Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi



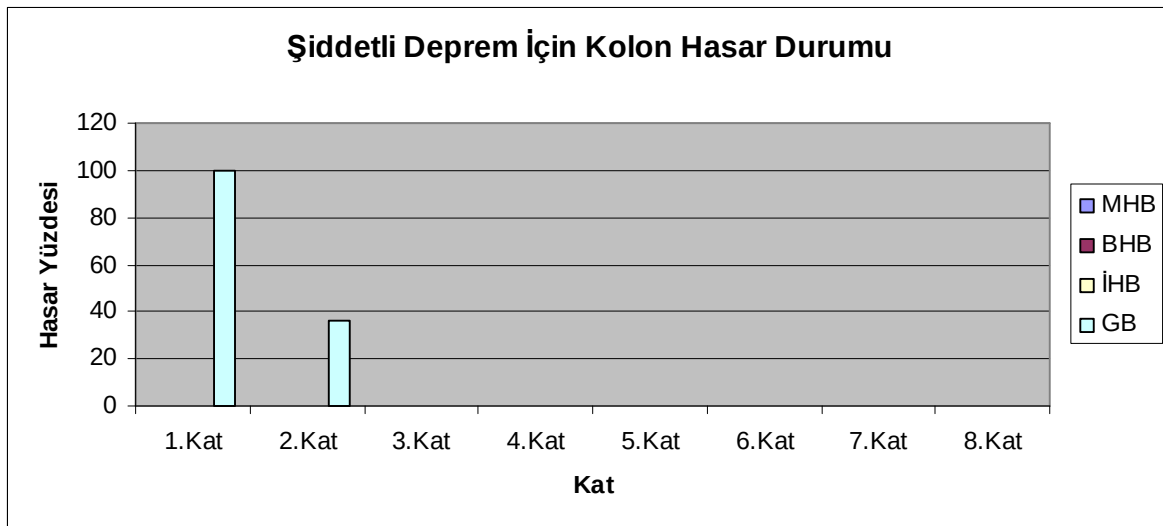
Çizelge C.13 : Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi



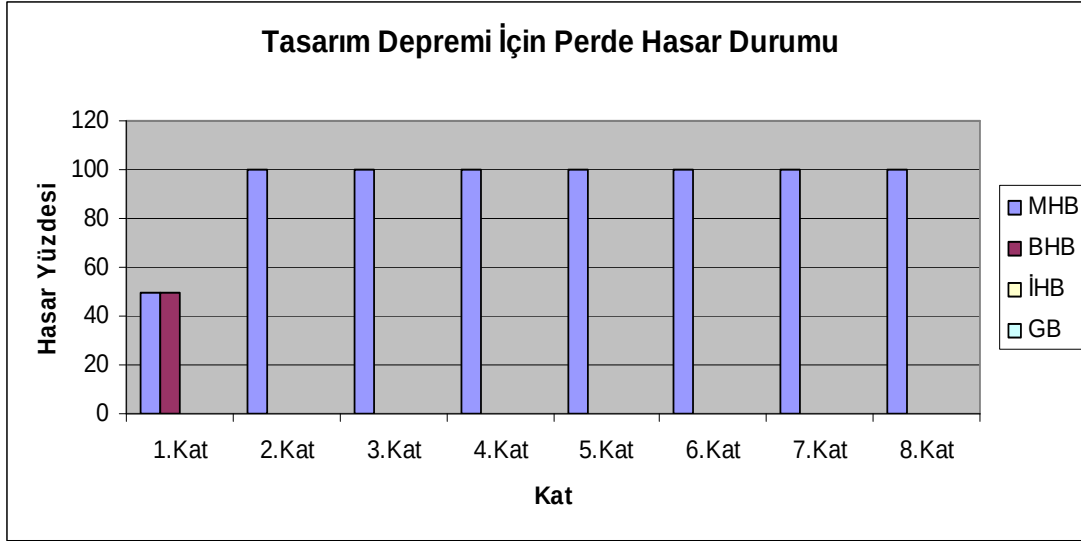
Çizelge C.14 : Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kiriş Hasar Yüzdesi



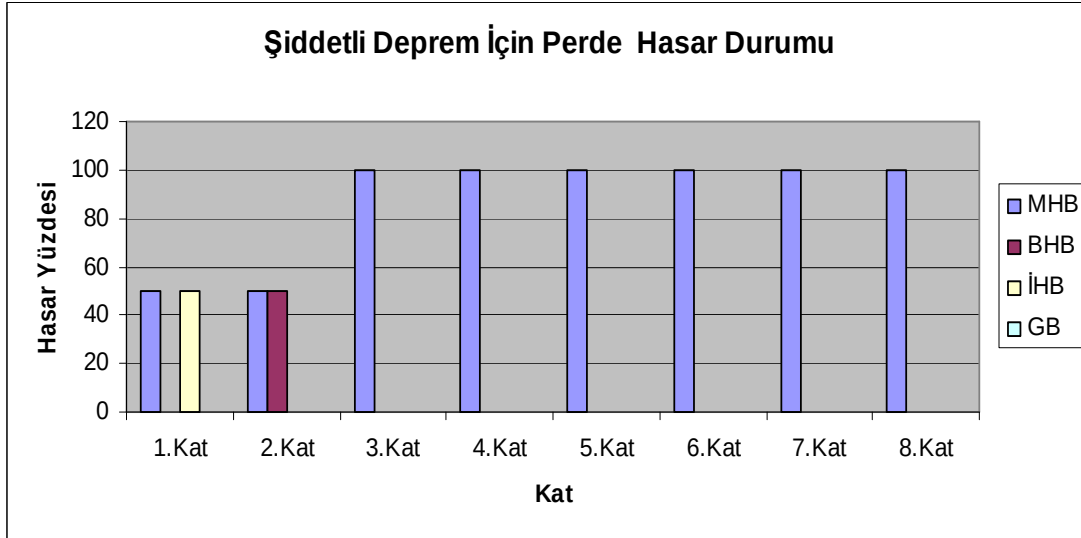
Çizelge C.15 : Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi



Çizelge C.16 : Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Kolon Hasar Yüzdesi



Çizelge C.17 : Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Tasarım Depremi Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi



Çizelge C.18 : Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Şiddetli Deprem Etkisi Sonucu Oluşan Perde Hasar Yüzdesi

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Emrah Beceren

Doğum Yeri ve Tarihi: Sivas – 30.01.1983

Lise: Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yazar 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversite’sin den mezun olduktan sonra, 2008 yılının Ocak ayından itibaren İstanbul İl Özel İdaresi’ nde çalışmaya başlayıp halen proje kontrolü ve şantiye kontrollüğü görevlerine devam etmektedir.

