

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN  
YÖNTEMLER KULLANILARAK PERFORMANS SEVİYESİNİN  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ayşe Pınar KARAKAN**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği  
Programı: Deprem Mühendisliği**

**HAZİRAN 2009**



**MEVCUT BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN  
YÖNTEMLER KULLANILARAK PERFORMANS SEVİYESİNİN  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ayşe Pınar KARAKAN  
(501061203)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.05.2009  
Tezin Savunulduğu Tarih : 05.06.2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Pelin GÜNDEŞ BAKIR**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Reha ARTAN (İ.T.Ü.)**

**Prof. Dr. Zahid MECİDOĞLU (İ.T.Ü.)**

**HAZİRAN 2009**







## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, mevcut bir okul binasının DBYBHY 2007’de belirtilen kurallar çerçevesinde “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle İtme Analizi” ve “Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi” ile performansının belirlenmesi ve bulunan performans seviyelerinin karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tez çalışmam süresince bana her türlü desteğı veren, bilgi ve tecrübelerini benle paylaşan, bana değerli vaktini ayırıp yol gösteren tez danışman hocam Sn. Doç. Dr. Pelin GÜNDEŞ BAKIR’a; yüksek lisans öğrenimim boyunca bana çok yardımcı olan Sn. Ç. Müh. Gülçin GÜLEY’e teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım.

Bu yoğun tez çalışması temposunda beni anlayışla ve sevgiyle destekleyip motive eden, her türlü zorlukta yanımda olan arkadaşlarım Gözde SEZGİN’e, Damla KANER’e ve Selim ÖZYILMAZ’a sonsuz teşekkür ederim.

Tez yazım sürecimde bana anlayışla yaklaşip zorlandığım anlarda destek veren müdürüm İnş. Yük. Mühendisi Serdar GÜVENÇLİ’ye ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bana yaşama şansı verip, bugüne kadar her zaman her kararımdayanımda olan, desteğini, sevgisini, arkadaşlığını ve anlayışını hep yüreğimde sıcacık hissettiğim annem Nermin KARAKAN’a ve babam Nihat KARAKAN’a, benim için her türlü fedakarlığı yapan, sevgisiyle ve ilgisiyle bana hep destek olan anneannem Kamile SALUR’a en içten duygularıyla minnettarım.

Haziran 2009

Ayşe Pınar KARAKAN

İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
KISALTMALAR .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ .....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MEVCUT BETONARME BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİNDE DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2007’NİN YAKLAŞIMI.....</b>	<b>3</b>
2.1 Giriş.....	3
2.2 Binalardan Bilgi Toplanması.....	3
2.2.1 Bina bilgi düzeyleri.....	4
2.2.2 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi.....	4
2.2.3 Betonarme binalarda orta bilgi düzeyi.....	5
2.2.4 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi.....	6
2.2.5 Bilgi düzeyi katsayıları.....	7
2.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	8
2.3.1 Kesit hasar sınırları.....	8
2.3.2 Kesit hasar bölgeleri.....	8
2.3.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması.....	8
2.4 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	9
2.5 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi.....	11
2.5.1 Hesap yöntemleri.....	11
2.5.2 Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi.....	12
2.5.3 Göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....	14
2.6 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi.....	15
2.6.1 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol...15	
2.6.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi.....	17
2.6.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi.....	20
2.6.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi.....	28
2.6.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi.....	28
2.6.6 Sargılı ve sargısız beton modelleri.....	28
2.6.7 Donatı çeliği modeli.....	30
2.6.8 Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri.....	31
2.6.9 Plastik mafsallı hipotezi.....	32
2.7 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	33

2.7.1 Betonarme binaların deprem performansı.....	33
2.7.2 Hemen kullanım performans düzeyi.....	33
2.7.3 Can güvenliği performans düzeyi.....	34
2.7.4 Göçme öncesi performans düzeyi.....	35
2.7.5 Göçme durumu.....	35
2.8 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	35
<b>3. MEVCUT BİR OKUL BİNASININ PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERDEN ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.....</b>	<b>39</b>
3.1 Giriş.....	39
3.2 Genel Bina Bilgileri.....	39
3.2.1 Binaya etkiyen yükler.....	42
3.2.1.1. Ölü yükler.....	42
3.2.1.2. Hareketli yükler.....	42
3.2.2 Tasarım ve performans belirlenmesi için genel parametreler.....	42
3.2.3 Binadan rölöve alınması çalışması ve binanın bilgisayar modeli.....	46
3.2.4 Performans değerlendirilmesi için dinamik özelliklerin bulunması.....	48
3.2.5 Performans değerlendirilmesinde kullanılacak eleman rijitlikleri.....	48
3.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabilirlik Tahkiki.....	49
3.4 Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Deprem Performansının Belirlenmesi.....	50
3.4.1 Malzeme modeli.....	50
3.4.2 Kesit analizleri.....	52
3.4.3 Kesitlerin plastik özelliklerinin tanımlanması.....	53
3.4.4 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi.....	55
3.4.5 Binanın modal kapasite diyagramlarının elde edilmesi.....	57
3.4.6 Doğrusal olmayan tepe yer değiştirmesinin belirlenmesi.....	61
3.4.7 Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi.....	63
3.4.8 Binanın farklı depremlerdeki performans seviyeleri.....	73
3.4.9 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi performans sonuçlarının değerlendirmesi.....	75
<b>4. MEVCUT BİR OKUL BİNASININ PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERDEN ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.....</b>	<b>77</b>
4.1 Giriş.....	77
4.2 Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi.....	77
4.3 Belirlenen Yer Hareketleri İle Zaman Tanım Alanında Analiz.....	81
4.4 Yapı Elemanlarının Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi.....	83
4.5 Bina Performansının Belirlenmesi.....	94
4.6 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi Performans Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	98
<b>5. BİNA PERFORMANS SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMALI DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>101</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>103</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>105</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>115</b>

## KISALTMALAR

<b>SAP2000</b>	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
<b>BS</b>	: Beton Sınıfı
<b>BÇ</b>	: Beton Çeliği
<b>ABYYHY1998</b>	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998
<b>DBYBHY2007</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
<b>GV</b>	: Kesit Güvenlik Sınırı
<b>GÇ</b>	: Kesit Göçme Sınırı
<b>GB</b>	: Göçme Bölgesi
<b>GÖ</b>	: Göçme Öncesi Performans Seviyesi
<b>CG</b>	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
<b>HK</b>	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
<b>MN</b>	: Kesit Minimum Hasar Sınırı
<b>TDY2007</b>	: Türk Deprem Yönetmeliği 2007
<b>TS-500</b>	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
<b>TS-10465</b>	: Türk Standardı 10465
<b>XTRACT</b>	: Cross-sectional X Structural Analysis of Components
<b>G</b>	: Düşey Sabit Yükler
<b>Q</b>	: Düşey Hareketli Yükler
<b>MHB</b>	: Minimum Hasar Bölgesi
<b>BHB</b>	: Belirgin Hasar Bölgesi
<b>İHB</b>	: İleri Hasar Bölgesi
<b>EBYİ</b>	: En Büyük Yer İvmesi



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları .....	8
Çizelge 2.2 : Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) .....	13
Çizelge 2.3 : Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) .....	13
Çizelge 2.4 : Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) .....	14
Çizelge 2.5 : Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) ve görelî kat ötelemesi oranları.....	14
Çizelge 2.6 : Görelî kat ötelemesi sınırları .....	15
Çizelge 2.7 : Donatı çeliği modeli için gerilme şekil değiştirme değerleri .....	31
Çizelge 2.8 : Kesit hasar sınırlarına göre tanımlanan beton ve çelik birim şekil değiştirme kapasiteleri .....	31
Çizelge 2.9 : Deprem etkisi parametreleri .....	36
Çizelge 2.10: Farklı deprem düzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri .....	36
Çizelge 3.1 : Binadan alınan karot değerleri.....	41
Çizelge 3.2 : Kirişlere ait donatı bilgileri .....	45
Çizelge 3.3 : Binanın periyotları ve karşı gelen etkin kütle oranları.....	48
Çizelge 3.4 : X-X doğrultusu için burulma düzensizlikleri.....	49
Çizelge 3.5 : Y-Y doğrultusu için burulma düzensizlikleri .....	49
Çizelge 3.6 : Hakim moda karşı gelen etkin kütle oranları .....	50
Çizelge 3.7 : X doğrultusu için itme eğrisi ve modal kapasite diyagramının koordinatları.....	59
Çizelge 3.8 : Y doğrultusu için itme eğrisi ve modal kapasite diyagramının koordinatları.....	60
Çizelge 3.9 : Zemin kat kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme kontrolü .....	69
Çizelge 3.10 : Zemin kat kolonlarının x doğrultusu için kesme güvenliği.....	70
Çizelge 3.11 : Zemin kat perdelerinin x doğrultusu için kesme güvenliği.....	71
Çizelge 3.12 : Zemin kat kirişleri x doğrultusu için kesme güvenliği .....	72
Çizelge 3.13 : Performans şartları.....	73
Çizelge 3.14 : Tasarım depremi için eleman hasar durumları .....	74
Çizelge 3.15 : Şiddetli deprem için eleman hasar durumları.....	75
Çizelge 3.16 : Şiddetli deprem için eleman hasar durumları.....	75
Çizelge 3.17 : Artımsal eşdeğer deprem yükü hesabına göre sonuçların değerlendirmesi.....	76
Çizelge 4.1 : Analizde kullanılan deprem kayıtları.....	78
Çizelge 4.2 : Zemin kat kolonlarının x doğrultusu için kesme güvenliği.....	90
Çizelge 4.3 : Zemin kat perdelerinin x doğrultusu için kesme güvenliği.....	91
Çizelge 4.4 : Zemin kat kirişleri x doğrultusu için kesme güvenliği .....	92
Çizelge 4.5 : Zemin kat kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme kontrolü .....	93

<b>Çizelge 4.6</b> : Imperial Valley-12140 tasarım depremi için eleman hasar durumları.	94
<b>Çizelge 4.7</b> : Imperial Valley-12230 tasarım depremi için eleman hasar durumları.	95
<b>Çizelge 4.8</b> : Erzincan tasarım depremi için eleman hasar durumları .....	95
<b>Çizelge 4.9</b> : Imperial Valley-12140 şiddetli depremi için eleman hasar durumları.	96
<b>Çizelge 4.10</b> : Imperial Valley-12230 şiddetli depremi için eleman hasar durumları	97
<b>Çizelge 4.11</b> : Erzincan şiddetli depremi için eleman hasar durumları .....	97
<b>Çizelge 4.12</b> : Zaman tanım alanında hesaba göre sonuçların değerlendirilmesi.....	99
<b>Çizelge 5.1</b> : Artımsal eşdeğer deprem yükü hesabına göre sonuçların değerlendirilmesi.....	101
<b>Çizelge 5.2</b> : Zaman tanım alanında hesaba göre sonuçların değerlendirilmesi.....	101

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Betonarme elemanlardaki kesit hasar bölgeleri.....	8
Şekil 2.2 : Doğrusallaştırılmış akma düzeyi .....	17
Şekil 2.3 : İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntısında pekleşme etkisinin göz önüne alınmaması durumu.....	18
Şekil 2.4 : İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntısında pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumu .....	18
Şekil 2.5 : Akma eğrisi ve akma vektörü.....	19
Şekil 2.6 : Herhangi bir kattaki eşdeğer deprem yükünü oluşturan kuvvet.....	21
Şekil 2.7 : İtme eğrisi.....	22
Şekil 2.8 : Modal kapasite diyagramı .....	22
Şekil 2.9 : $T_1$ 'in $T_B$ 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda $d_1$ 'in hesaplanması .	24
Şekil 2.10 : $T_1$ 'in $T_B$ 'den daha kısa olması durumunda $d_1$ 'in hesaplanması .....	25
Şekil 2.11 : Moment eğrilik ilişkisinin iki doğru ile idealize edilmesi ve $\phi_y$ 'in hesaplanması .....	27
Şekil 2.12 : Sargılı ve sargısız beton modelleri .....	30
Şekil 2.13 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi .....	31
Şekil 2.14 : Betonarme binaların performans düzeyleri.....	34
Şekil 3.1 : 1. normal kat kalıp aplikasyon planı.....	40
Şekil 3.2 : P390x30 perdesi donatı detayı .....	43
Şekil 3.3 : P30x390 Perdesi donatı detayı .....	43
Şekil 3.4 : P30x780 perdesi donatı detayı .....	44
Şekil 3.5 : P30x560 perdesi donatı detayı .....	44
Şekil 3.6 : S30x60 kolonu ve S30x70 kolonu donatı detayı.....	44
Şekil 3.7 : Okul binasının üç boyutlu bilgisayar modeli .....	47
Şekil 3.8 : Perde modeli ve modelleme esasları.....	47
Şekil 3.9 : Hesaba esas çelik gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	52
Şekil 3.10 : XTRACT kolon modeli (S30x60 tip için) .....	52
Şekil 3.11 : XTRACT kiriş modeli (K30x60 tip için).....	53
Şekil 3.12 : X doğrultusunda modal kapasite diyagramı.....	59
Şekil 3.13 : Y doğrultusunda modal kapasite diyagramı.....	60
Şekil 3.14 : X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri.....	61
Şekil 3.15 : Y doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri.....	62
Şekil 3.16 : X doğrultusundaki tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi) .....	63
Şekil 3.17 : Y doğrultusundaki tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi) .....	64
Şekil 3.18 : Y doğrultusundaki şiddetli deprem etkisiyle plastikleşen kesitler minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi) .....	64
Şekil 3.19 : X doğrultulu tasarım depreminde 30x70 kolonu hasar durumu.....	65
Şekil 3.20 : X doğrultulu tasarım depreminde 390x30 perdesi hasar durumu .....	66

Şekil 3.21 : Y doğrultulu tasarım depreminde 30×780 perdesi hasar durumu .....	66
Şekil 3.22 : Y doğrultulu tasarım depreminde 30x560 perdesi hasar durumu .....	67
Şekil 3.23 : Y doğrultulu şiddetli depremde 30×560 perdesi hasar durumu .....	67
Şekil 3.24 : Y doğrultulu şiddetli depremde 30×780 perdesi hasar durumu .....	68
Şekil 4.1 : Imperial Valley-12140 deprem kaydı.....	79
Şekil 4.2 : Imperial Valley-12230 deprem kaydı.....	79
Şekil 4.3 : Erzincan deprem kaydı .....	80
Şekil 4.4 : Elastik spektral ivme - periyot .....	80
Şekil 4.5 : Ortalama elastik spektral ivme - periyot.....	81
Şekil 4.6 : X doğrultusundaki Erzincan tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi)	83
Şekil 4.7 : Y doğrultusundaki Erzincan tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi)	84
Şekil 4.8 : X doğrultusundaki Erzincan şiddetli deprem etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi).....	84
Şekil 4.9 : Y doğrultusundaki Erzincan şiddetli deprem etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi).....	85
Şekil 4.10 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30×70 kolonu hasar durumu .....	86
Şekil 4.11 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30×390 perde hasar durumu .....	86
Şekil 4.12 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30×560 perde hasar durumu .....	87
Şekil 4.13 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30×780 perde hasar durumu .....	87
Şekil 4.14 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30×60 kolonu hasar durumu .....	88
Şekil 4.15 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30×60 kolonu hasar durumu .....	88
Şekil 4.16 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde P390×30 hasar durumu .....	89
Şekil A.1 : Bodrum kat kalıp aplikasyon planı.....	107
Şekil A.2 : Zemin kat kalıp aplikasyon planı .....	108
Şekil B.1 : Binanın 1. mod şekli .....	109
Şekil B.2 : Binanın 2. mod şekli .....	109
Şekil B.3 : Binanın 3. mod şekli .....	110
Şekil B.4 : Binanın 4. mod şekli .....	110
Şekil B.5 : Binanın 5. mod şekli .....	111
Şekil B.6 : Binanın 6. mod şekli .....	111
Şekil B.7 : Binanın 7. mod şekli .....	112
Şekil B.8 : Binanın 8. mod şekli .....	112
Şekil B.9 : Binanın 9. mod şekli .....	113
Şekil B.10: Binanın 10. mod şekli .....	113
Şekil B.11: Binanın 11. mod şekli .....	114
Şekil B.12: Binanın 12. mod şekli .....	114

## SEMBOLLER

- $A_c$  : Kolon veya perdenin brüt kesit alanı  
 $A_s$  : Boyuna donatı alanı  
 $a_1(i)$  : (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme  
 $a_1$  : Birinci (hakim) moda ait modal ivme  
 $ay_1$  : Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi  
 $C_{R1}$  : Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı  
 $d$  : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği  
 $d_1^{(i)}$  : (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme  
 $d_1^{(p)}$  : Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi  
 $d_{y1}$  : Birinci moda ait eşdeğer akma yerdeğiştirmesi  
 $E_c$  : Çerçeve betonunun elastisite modülü  
 $EI_o$  : Çatlamamış kesit eğilme rijitliği  
 $f_{cm}$  : Mevcut beton dayanımı  
 $f_{ctm}$  : Mevcut betonun çekme dayanımı  
 $f_c$  : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  
 $f_{cc}$  : Sargılı beton dayanımı  
 $f_{co}$  : Sargısız betonun basınç dayanımı  
 $f_e$  : 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  
 $h$  : Çalışan doğrultudaki kesit boyutu  
 $h_k$  : Kolon boyu (mm)  
 $h_i$  : Kat yüksekliği  
 $L_p$  : Plastik mafsal boyu  
 $l_n$  : Kirişin kolon yüzünden kolon yüzüne net açıklığı  
 $l_w$  : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu  
 $M_a$  : Kolon serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment  
 $M_{x1}$  : x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle  
 $M_D$  : Düşey yüklerden oluşan kiriş uç momentleri  
 $M_E$  : Artık moment kapasitesi  
 $M_K$  : Mevcut malzeme kapasite dayanımlarından hesaplanan moment kapasitesi  
 $M_{pi}$  : Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşme etkisi göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi  
 $M_{pj}$  : Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşme etkisi göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi  
 $(M_p)_t$  : Perdenin taban kesitinde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşme etkisi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi  
 $(M_d)_t$  : Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan moment

- $M_{\ddot{u}}$  : Kolon serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
- $N_E$  : Deprem yükleri altında oluşan kolon aksenal kuvveti
- $N$  : Deprem ve düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal kuvvet
- $N_D$  : Düşey yükler altında kolonda oluşan aksenal kuvvet
- $R_a$  : Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
- $R_{y1}$  : Birinci moda ait Dayanım Azaltma Katsayısı
- $r$  : Etki/Kapasite Oranı
- $S_{ae1}^{(1)}$  : İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
- $S_{de1}^{(1)}$  : İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
- $S_{di1}$  : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
- $s$  : Etriye aralığı
- $T_B$  : DBYBHY’de tanımlanan ivme spektrumundaki karakteristik periyot
- $T_1^{(1)}$  : Başlangıçtaki ( $i=1$ ) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
- $u_{xN1}^{(i)}$  : Binanın tepesinde ( $N$ ’inci katında)  $x$  deprem doğrultusunda ( $i$ )’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme
- $u_{xN1}^{(p)}$  : Binanın tepesinde ( $N$ ’inci katında)  $x$  deprem doğrultusunda tepe yer değiştirme istemi
- $V$  : Deprem ve düşey yükler etkisi altında kiriş uçlarında oluşan kesme kuvveti
- $V_d$  : Yüğü katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
- $V_{dy}$  : Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
- $V_e$  : Kolon ve kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
- $V_r$  : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
- $V_{x1}^{(i)}$  :  $x$  deprem doğrultusunda ( $i$ )’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti
- $\omega_1^{(1)}$  : Başlangıçtaki ( $i=1$ ) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans
- $\omega_B$  : İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısal frekans
- $(\delta_i)_{max}$  : İlgili kattaki en büyük görel kat ötelemesi
- $\epsilon_{cg}$  : Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim Şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{cu}$  : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim Şekil değiştirmesi
- $\epsilon_s$  : Donatı çeliği birim Şekil değiştirmesi
- $\epsilon_c$  : Beton basınç birim Şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{cu}$  : Sargılı betondaki maksimum basınç birim Şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{sy}$  : Donatı çeliğinin akma birim Şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{su}$  : Donatı çeliğinin kopma birim Şekil değiştirmesi
- $\phi_p$  : Plastik eğrilik istemi
- $\phi_t$  : Toplam eğrilik istemi
- $\phi_y$  : Eşdeğer akma eğriliği
- $\Phi_{xN1}$  : Binanın tepesinde ( $N$ ’inci katında)  $x$  deprem doğrultusunda birinci moda ait mod Şekli genliği
- $\Gamma_{x1}$  :  $x$  deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
- $\lambda$  : Eşdeğer Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
- $\theta_p$  : Plastik dönme istemi
- $\rho$  : Çekme donatısı oranı
- $\rho_b$  : Dengeli donatı oranı

- $\rho_s$  : Kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen ( $135^\circ$  kancalı) enine donatının hacımsal oranı
- $\rho_{sh}$  : Perdede ve duvarda yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt enkesit alanına oranı
- $\rho_{sm}$  : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
- $\rho'$  : Basınç donatısı oranı



# MEVCUT BETONARME BİR YAPININ DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLER KULLANILARAK PERFORMANS SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

## ÖZET

Bu tez çalışmasında mevcut bir okul binasının lineer olmayan (nonlinear) statik itme analizi ve dinamik time history analizi kullanılarak nasıl bir performans gösterdiği incelenmiştir. Performans analizi “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)”de anlatılan doğrusal olmayan yöntemlerden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi” kullanılarak yapılmıştır. Mevcut okul binasının üzerinde yönetmelikte tanımlanan şartlar çerçevesinde bu iki yöntem uygulanarak bulunan performans düzeyleri karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasının ilk 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(DBYBHY 2007)” kapsamında yedinci bölümde bulunan, binaların performans değerlendirmesinde kullandığı yöntemlerden, performans seviyelerinin belirlenmesinden, yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesinden ve deprem hesabına ilişkin kullanılan genel ilke kurallardan bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, örnek bir okul binasının doğrusal olmayan elastik yöntemlerden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi ile performans değerlendirmesi yapılmış, yapı elemanları hasar durumları belirlenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Dördüncü bölümde ise aynı okul binasının doğrusal olmayan yöntemlerden Zaman Tanım Alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile performans değerlendirmesi yapılmış, yapı elemanları hasar durumları belirlenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Son bölümde ise yapısal analiz sonuçları iki farklı doğrusal olmayan yöntem için karşılaştırılıp, yorumlanmıştır.



# **EVALUATION OF THE PERFORMANCE LEVEL OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE USING PUSHOVER ANALYSIS AND NONLINEAR DYNAMIC TIME HISTORY ANALYSIS**

## **SUMMARY**

In this thesis, the performance level of an existing reinforced concrete structure is analysed using Nonlinear Static Pushover Analysis and Nonlinear Time History Analysis. For the performance analysis, the nonlinear “Incremental Equivalent Earthquake Load Method” and “Dynamic Time History Analiz” is used.

In the first part of this thesis study, the topic has been started and it is explained that for what purpose the idea of assessment of the buildings’ earthquake performance has emerged.

In the second part of this thesis study, The general rules and code conditions related to the evaluation of existing structures which take place in the seventh section with in the framework of “Specification for Buildings to be Built in the Earthquake Regions” put into force in 2007 has been summarized in the second section.

In the third part of the study, the performance evaluation of a school building with nonlinear static push-over analysis, the determination of the performance level and the damage location and extent are investigated.

In the fourth part of the study, the performance evaluation of the same school building with nonlinear dynamic time history analysis, the determination of the performance level and the damage location and extent are investigated.

In the last part of the study, structural analysis results for two different nonlinear methods have been compared and discussed.



## 1. GİRİŞ

Deprem etkisi doğal afetlerin en önemlilerinden biridir. Meydana getirdiği etkilerin dikkate değer pek çok özelliği bulunmaktadır. Bundan dolayı, deprem etkisinin incelenmesi ve depreme dayanıklı bina tasarımı da, özel bir mühendislik yaklaşımı gerektirir. Deprem etkisinin en önemli özelliği, meydana gelen can kayıplarının hemen hemen hepsinin, insanlar tarafından inşa edilen yapıların davranışı ile ilgili olmasıdır. Deprem etkisinin diğer bir özelliği de, günümüzde teknolojisinde bile, kabul edilebilir önceden haber verme olanağının bulunmamasıdır. Gerçekte, depremin oluş zamanı yeter doğrulukta tahmin edilerek haber verilebilse ve böylece insanların hayatları kurtulabilse bile, yapıların yine deprem etkisine dayanıklı olarak inşa edilmesi gerekir. Yapılarda meydana gelen hasarlar, toplumun ekonomisinde önemli kayıplara neden olur. Ülkemizde de meydana gelen depremler büyük mal ve can kayıplarına yol açmıştır. Özellikle 1999 yılında yaşanan iki büyük deprem Kocaeli ve Bolu-Düzce depremleri bunun en ağır örnekleridir. Genellikle toplumların hayat seviyesinin bir göstergesi de kullandıkları yapılarıdır. Bu nedenle deprem etkisinin anlaşılması ve doğurduğu kuvvetlerin karşılanması önemlidir.

Deprem etkisinin bir diğer özelliği de, şiddetinin yapının özelliklerine bağlı olmasıdır. Bilinen yaklaşımla, taşıyıcı sistemin dayanımını arttırarak deprem etkisi karşılanabileceği gibi, sistemin rijitliğini azaltarak deprem etkisini de azaltmak mümkündür. Bu ikinci yol, deprem etkisindeki yapıların davranışının bilinmesi gereğini ortaya koyar. Diğer önemli bir farklılık da, deprem etkisinin dinamik bir özelliğe sahip olmasıdır. Taşıyıcı sistemde bazı küçük ayrıntılara özen göstermek, yapının deprem altındaki davranışında olumlu yönde önemli farklılıklara neden olabilir. Bu ise, deprem etkisi altında yapının davranışının incelenmesinin önemine işaret eder.

Ülkemizde yaşanan depremler sonucu binalarda oluşan hasarları en aza indirmek amacıyla mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla 6 Mart 2007'de ülkemizde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) yürürlüğe girmiştir. Deprem Bölgelerinde

Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde" bir deprem etkisi altında uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirme tasarım ilkeleri tanımlanmıştır. Bu yönetmelikteki amaç, hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabılır düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması şeklindedir [1]. Yönetmelik Bölüm 7'de "Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi" ve "Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi" olmak üzere iki ayrı hesap yöntemi önerilmiştir.

Doğrusal analiz yöntemleri kuvvet esaslı yöntemler olup, genel olarak yapıya etkimesi beklenen deprem kuvvetlerinin elemanlar tarafından karşılanıp karşılanmadığını sorgulamaktadır. Bu yöntem yaklaşık sonuçlar verebilse de, deprem sırasında oluşabilecek hasar büyüklükleri ve tipleri hakkında net fikirler ortaya koyamamaktadır. Bu durumda daha gerçekçi ve yapının elastik ötesi davranışlarını da hesaba katan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılmalıdır.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, deplasman esaslı bir yöntem olup yapının depremde ne kadar elastik ötesi şekil değiştirme yapacağı araştırılarak bu elastik ötesi yer değiştirmenin eleman plastik şekil değiştirme kapasitesi tarafından karşılanıp karşılanmayacağını tahkik eder. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde, gözönüne alınan dinamik davranışın tek bir titreşim modu ile kısıtlı olması bu yöntemlerin en önemli dezavantajıdır. Bu nedenle, bu yöntemler sadece iki boyutlu davranış gösteren az katlı ve düzenli binalar için güvenle uygulanabilir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde amaç, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan en büyük yer değiştirmelere ve en büyük plastik şekil değiştirmelere ilişkin deprem isteminin belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak mevcut bina performans seviyesi belirlenecektir. İlk olarak statik itme analizi yöntemi kullanılarak daha sonra da Zaman Tanım Alanında hesap yöntemi kullanılarak mevcut bir okul binasının deprem sonrası performans seviyesi belirlenecek ve bulunan sonuçlara göre karşılaştırmalı değerlendirme yapılacaktır.

## **2. MEVCUT BETONARME BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİNDE DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2007’NİN YAKLAŞIMI**

### **2.1 Giriş**

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bu yöntemin yeni yapıların tasarımında da kullanılması söz konusu olmuştur. Performansa dayalı tasarımın amacı yapının deprem performansını, güvenliğini, göçme şeklini (sünek, gevrek), yapı içerisindeki en kritik kesitleri ve hasar durumunu, oluşan plastik mafsalların şekil değiştirme yeteneğini belirlemek ve iç kuvvet dağılımını gözlemektir.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme özellikle son yıllarda yaşanan depremler sonrasında önemi daha çok kavranan bir konu olmuştur. Bu amaçla hazırlanan DBYBHY 2007’de deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri tanımlanmıştır.

### **2.2 Binalardan Bilgi Toplanması**

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve daha önce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür.

### **2.2.1 Bina bilgi düzeyleri**

Binaların incelenmesinden elde edilen mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılır.

*Sınırlı Bilgi Düzeyi'*nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

*Orta Bilgi Düzeyi'nde* binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

*Kapsamlı Bilgi Düzeyi'*nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

### **2.2.2 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi**

*Bina Geometrisi:* Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölevesi çıkarılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, röleve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının her kattaki yerini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

*Eleman Detayları:* Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere

perde ve kolonların %10'unun ve kirişlerin %5'inin pas payları sıyrılarak donatı ve donatı bindirme boyu tespiti yapılacaktır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümde yapılmalı, ancak donatı bindirme boyunun tespiti amacıyla en az üç kolonda bindirme bölgelerinde yapılmalıdır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Donatı tespiti yapılan betonarme kolon ve kirişlerde bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı, kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

*Malzeme Özellikleri:* Her katta kolonlardan veya perdelerden TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde en az iki adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılacak ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

### **2.2.3 Betonarme binalarda orta bilgi düzeyi**

*Bina Geometrisi:* Binanın betonarme projeleri mevcut ise, binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projesine uygunluğu kontrol edilir. Proje yoksa, saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölövesi çıkarılacaktır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının her kattaki yerini, açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

*Eleman Detayları:* Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise sınırlı bilgi düzeyi malzeme özelliklerindeki koşulları geçerlidir, ancak pas payları

sıyırılarak donatı kontrolü yapılacak, perde, kolon ve kirişlerin sayısı her katta en az ikişer adet olmak üzere o kattaki toplam kolon sayısının %20'sinden ve kiriş sayısının %10'undan az olmayacaktır. Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için sınırlı bilgi düzeyi malzeme özelliklerinde belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleştirme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m<sup>2</sup>'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı ( $f_{ck}$ ) olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik dayanımı eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

#### **2.2.4 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi**

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcuttur. Binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılacak ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde

tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için orta bilgi düzeyi eleman detaylarında belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleştirme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 200 m<sup>2</sup>'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı ( $f_{ck}$ ) olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacaktır, çeliğin akma ve kopma dayanımları ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Uygun değil ise, en az üç adet örnek daha alınarak deney yapılacaktır, elde edilen en elverişsiz değer eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

### **2.2.5 Bilgi düzeyi katsayıları**

İncelenen binalardan edinilen bilgi düzeylerine göre, eleman kapasitelerine uygulanacak Bilgi Düzeyi Katsayıları kullanılmaktadır [1] (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları**

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

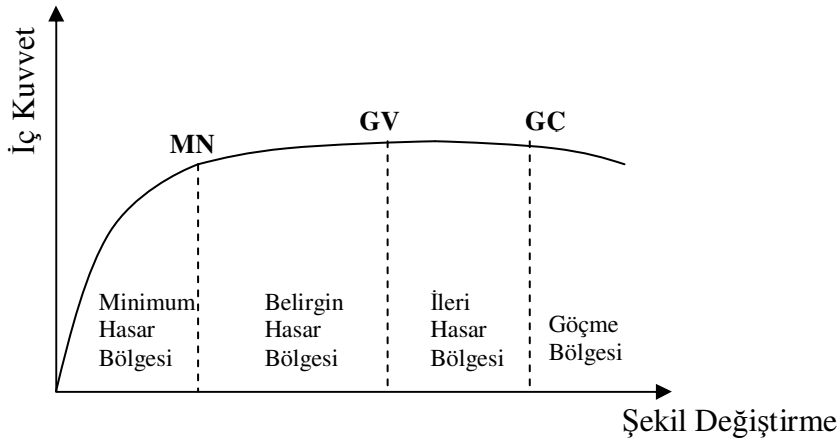
## 2.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

### 2.3.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır [1]. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı (MN)*, *Güvenlik Sınırı (GV)* ve *Göçme Sınırı (GÇ)*'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.

### 2.3.2 Kesit hasar bölgeleri

Şekil 2.1'de tariflendiği gibi, 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 [1].



**Şekil 2.1 : Betonarme elemanlardaki kesit hasar bölgeleri**

### 2.3.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması

İç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.

## 2.4 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Bu amaçla doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Ancak, teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin birebir aynı sonucu vermesi beklenmemelidir. Aşağıda tanımlanan genel ilke ve kurallar her iki türdeki yöntemler için de geçerlidir [1].

- Deprem etkisinin tanımında, DBYBHY'07 2.4'de verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY'07 7.8'e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır. Deprem hesabında DBYBHY'07 2.4.2'de tanımlanan Bina Önem Katsayısı uygulanmayacaktır.
- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir. Hareketli düşey yükler, DBYBHY'07 7.4.7'ye göre deprem hesabında göz önüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri DBYBHY'07 Bölüm 6'ya göre belirlenecektir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.
- Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları DBYBHY'07 2.7.1.2'ye göre hesaplanacak, kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlilik uygulanmayacaktır.

- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre DBYBHY'07 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.
- DBYBHY'07 3.3.8'e göre kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:
  - a) Analizde beton ve donatı çeliğinin DBYBHY'07 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
  - b) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
  - c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemliy diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamaş kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

(a) Kirişlerde:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

(b) Kolon ve perdelerde,

$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$

Eksenel basınç kuvveti  $N_D$ 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.  $N_D$ , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamaş kesitlere ait  $(EI)_o$  eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği  $(EI)_e$  kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme

- 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 donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır.
- DBYBHY'07 Bölüm 2'deki modelleme esasları geçerlidir.

## 2.5 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

### 2.5.1 Hesap yöntemleri

Binaların deprem performansının doğrusal elastik yöntem ile hesaplanmasında eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olmak üzere iki tip yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler DBYBHY bölüm 2.7 ve 2.8'de tariflenmiştir. Aşağıda belirtilenler DBYBHY'te tariflenen bu yöntemlere uygulanacak ek kurallardır.

*Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nin uygulanabilmesi için yapının bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmaması gereklidir. Ayrıca ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$  şartının sağlamalıdır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabı Denklem (2.1)'te tanımlanmıştır.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \lambda \geq 0.10A_0IW \quad (2.1)$$

$W$ : Yapının toplam ağırlığı

$A(T_1)$ : Spektral ivme katsayısı

$R_a(T_1)$ : Deprem yükü azaltma katsayısı

$A_0$ : Etkin yer ivmesi katsayısı

$I$ : Bina önem katsayısı

Burada  $R_a = 1$  alınacak ve denklemin sağ tarafı  $\lambda$  katsayısı ile çarpılacaktır.  $\lambda$  katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğer binalarda 0.85 alınacaktır.

*Mod Birleştirme Yöntemi*'nin uygulanması için yönetmelikte herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Mod birleştirme yönteminde kullanılan elastik spektral ivme Denklem 2.2'de tanımlanmıştır. Bu denklemde  $R_a=1$  alınmalıdır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönüyle uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınacaktır.

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

$S_{aR}(T_n)$  :  $n$ 'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme

$S_{ae}(T_n)$  : Elastik spektral ivme

$R_a(T_n)$  : Deprem yükü azaltma katsayısı

### 2.5.2 Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde elemanlarının ve güçlendirilmiş dolgu duvarı kesitlerinin *etki/kapasite oranları* ( $r$ ) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılacaktır [1].

Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise “*sünek*”, kesme ise “*gevrek*” olarak sınıflanırlar. 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.

$$r = \frac{M_E}{M_K - M_D} \quad (2.3)$$

$M_E$  : Deprem etkisi ile oluşan eğilme momenti (deprem istemi)

$M_D$  : Düşey yüklerden oluşan eğilme momenti

$M_K$  : Eğilme momenti kapasitesi

$M_K - M_D$  : Artık moment kapasitesi

Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti  $V_e$ 'nin, tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu *mevcut malzeme dayanımı* değerleri kullanılarak TS-500'e [2] göre hesaplanan kesme kapasitesi  $V_r$ 'yi aşmaması gereklidir. Kolon, kiriş ve perdelerde  $V_e$ 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılacaktır. Düşey yükler ile birlikte  $R_a=1$  alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin  $V_e$ 'den küçük olması durumunda ise  $V_e$  yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır. Deprem performansı değerlendirilmesinde kolon (2.4), kiriş (2.5) ve perdeler (2.6) için kullanılacak  $V_e$  değeri aşağıda tanımlanmıştır.

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

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

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

Yukarıda verilen sünek eleman koşullarını sağlamayan betonarme elemanlar, *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak tanımlanacaktır.

**Çizelge 2.2** : Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ )

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

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları ( $r$ ), Çizelge 2.2-2.4'de verilen sınır değerler ( $r_s$ ) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Çizelge 2.2-2.4'deki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.

**Çizelge 2.3 :** Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ )

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılam a	$\frac{V}{b_w d f_{ct}}$ <sup>(1)</sup>	MN	GV	GÇ
$\leq 0.1$	Var	$\leq 0.65$	3	6	8
$\leq 0.1$	Var	$\geq 1.30$	2.5	5	6
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Var	$\leq 0.65$	2	4	6
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Var	$\geq 1.30$	1.5	2.5	3.5
$\leq 0.1$	Yok	$\leq 0.65$	2	3.5	5
$\leq 0.1$	Yok	$\geq 1.30$	1.5	2.5	3.5
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Yok	$\leq 0.65$	1.5	2	3
$\geq 0.4$ ve $\leq 0.7$	Yok	$\geq 1.30$	1	1.5	2
$\geq 0.7$	-	-	1	1	1

**Çizelge 2.4 :** Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ )

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

Betonarme binaların güçlendirilmiş yığma dolgu duvar elemanlarının hasar bölgelerinin belirlenmesinde ayrıca Çizelge 2.5'te verilen görelî kat ötelemesi sınırları sağlanacaktır. Görelî kat ötelemesi oranı, ilgili katta hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilecektir.

**Çizelge 2.5 :** Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ( $r_s$ ) ve görelî kat ötelemesi oranları

$\ell_{duvar} / h_{duvar}$ oranı aralığı 0.5 - 2.0	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
Etki/Kapasite Oranı ( $r_s$ )	1	2	-
Görelî Kat Ötelemesi Oranı	0.0015	0.0035	-

### 2.5.3 Görelî kat ötelemelerinin kontrolü

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 2.6'da 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 2.6'da  $\delta_{ji}$  i'inci katta j'inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yer değiştirme farkı olarak hesaplanan görelî kat ötelemesini,  $h_{ji}$  ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir [1].

**Çizelge 2.6 : Görelî kat ötelemesi sınırları**

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
$\delta_{ji} / h_{ji}$	0.01	0.03	0.04

## **2.6 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi**

Deprem etkisi altında 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 değerlendirilmesi yapılır.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların göçme anına kadar olan davranışına dair oldukça kesin sonuçlar vermektedir. Ayrıca deprem etkisinde binanın davranışı ile ilgili mekanizma durumlarını gösterecek sonuçlar sunabildiği için gerçekçi çözümler üretilmesine olanak tanır.

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.

### **2.6.1 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol**

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için yönetmelikte doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde tanımlanan kurallara uyulacaktır.

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

c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yer değiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, DBYBHY’07 2.4’te tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY’07 7.8’de yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yer değiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

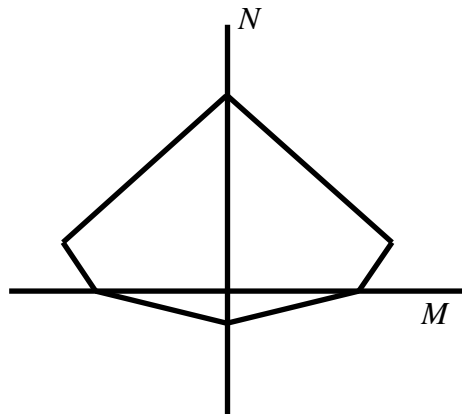
d) Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yer değiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme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

e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY’07 7.6.8’e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için DBYBHY’07 7.6.9’da tanımlanan betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında görelî kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekil değiştirme istemleri, DBYBHY’07 7.6.10’da tanımlanan güçlendirilen dolgu duvarlarının şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, DBYBHY’07 7.6.11’de tanımlanan betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

## 2.6.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

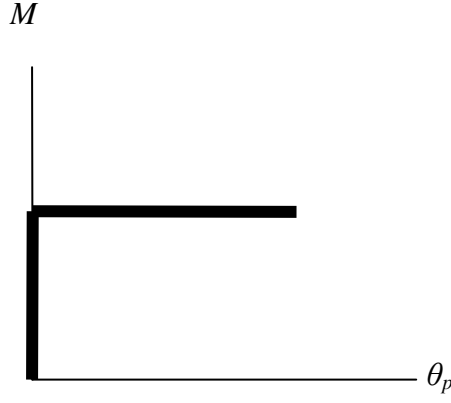
Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeniyle yönetmelikte doğrusal elastik olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezi*'ne karşılık gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde gibi taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan *plastik şekil değiştirme bölgesi*'nin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit alınabilir ( $L_p=0.5h$ ).

Sadece aksel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır. Plastik mafsallar, kolon ve kirişlerin uçlarına, perdelerde ise her katta kat tabanına yerleştirilir. Eğilme ve aksel kuvvet altında plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin tanımlanmasında beton ve donatının mevcut dayanımları esas alınmalıdır. Betonun maksimum basınç kısılması 0.003, donatı çeliğinin maksimum uzaması 0.01 alınabilir. Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Doğrusallaştırılmış akma düzeyi

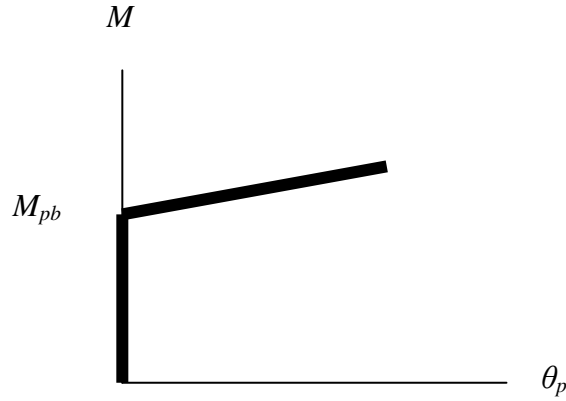
Eğilme etkisindeki elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmalıdır.



**Şekil 2.3 :** İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntısında pekleşme etkisinin göz önüne alınmaması durumu

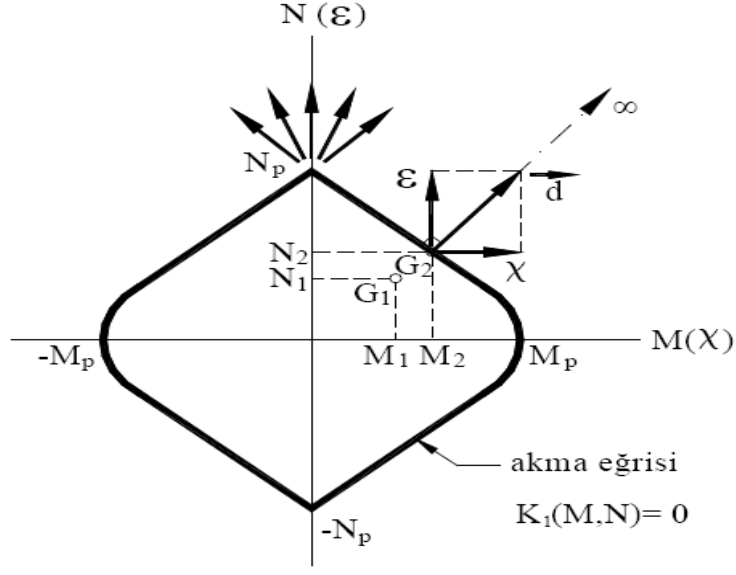
Modellemede kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 2.3).

Bu durumda plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınmalıdır. Pekleşme etkisinin göz önüne alındığı durumlarda iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlanması gereken koşullar, uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanabilir (Şekil2.4).



**Şekil 2.4 :** İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntısında pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumu

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklarda, iç kuvvet ve şekil değiştirme durumlarının geometrik olarak gösterilimi için  $M-N$  ( $\chi - \varepsilon$ ) dik koordinat sisteminden yararlanır (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5 :** Akma eğrisi ve akma vektörü

Bu koordinat sisteminde, verilen bir iç kuvvet durumu koordinatları  $M$  ve  $N$  olan bir  $G$  noktası ile temsil edilebilir.  $G$  noktasının  $K_1(M,N) = 0$  akma koşulunun belirlediği akma eğrisinin içinde bulunması, kesitin doğrusal-elastik davrandığını veya kesitte meydana gelen doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin sonlu olduğunu ifade eder.  $G$  noktasının akma eğrisi üzerinde bulunması halinde kesitin taşıma kapasitesi sona erer ve iç kuvvetler doğrultularında sonsuz plastik şekil değiştirmeler meydana gelebilir. Değişen dış etkiler altında, kesitteki iç kuvvet durumunu ifade eden  $G$  noktası akma eğrisi üzerinde hareket eder veya bu eğrinin içine doğru yönelir; fakat akma eğrisinin dışına çıkamaz.

Kesitteki plastik şekil değiştirmeler  $d(\chi, \varepsilon)$  plastik şekil değiştirme (akma) vektörü ile tanımlanır.

İdeal elasto-plastik malzemedan yapılmış kesitlerde, akma vektörü akma yüzeyine diktir [3]. Diklik özelliği nedeniyle, akma vektörünün  $\chi$  ve  $\varepsilon$  bileşenleri;

$$\chi = \mu \frac{\partial K_1}{\partial M} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = \mu \frac{\partial K_1}{\partial N} \quad (2.8)$$

şeklinde,  $K_1(M,N)$  fonksiyonuna bağlı olarak ifade edilebilirler. Burada  $\mu$ , akma vektörü  $d$ 'nin şiddetini belirleyen bir katsayıyı göstermektedir. Akma eğrisinin dış

normalinin süreksizlik gösterdiği köşe noktalarında, akma vektörü iki dış normalin arasında herhangi bir doğrultuda olabilir.

### **2.6.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi**

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi'nin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina külesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

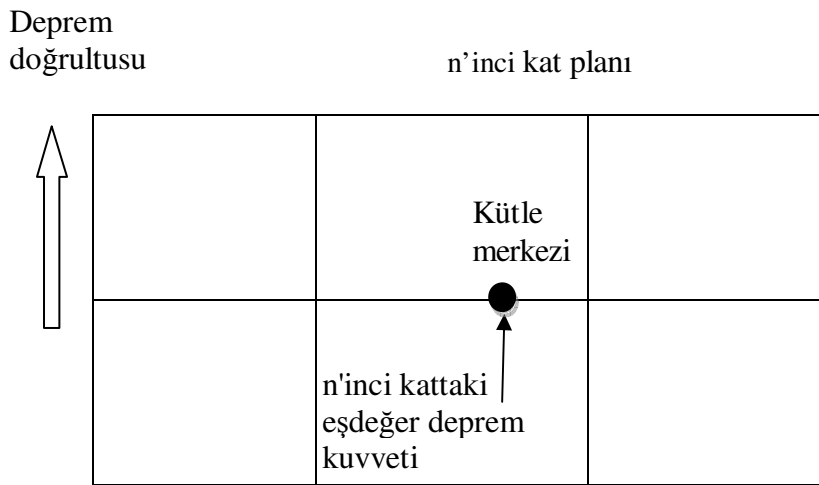
Bu koşulların sağlanması durumunda, göz önüne alınan bina için depremin aşılma olasılığına göre hedeflenen performans düzeyleri belirlenir ve bina performansı bu düzeyler için kontrol edilir.

Herhangi bir performans düzeyi için izlenmesi gereken adımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Binanın 3 boyutlu analitik modeli oluşturulur.
2. Kolon ve perde plastik kesitleri için moment - plastik dönme ilişkisi ve etkileşim diyagramı, kiriş plastik kesitleri için ise moment - plastik dönme ilişkisi tanımlanır ve söz konusu plastik kesitler, kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına, perde net açıklıklarının ise alt uçlarına konulur.
3. Çatlamamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılarak, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin (1.0G + 0.3Q) göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır.
4. Yapısal elemanların çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri hesaplanır. Çatlamış

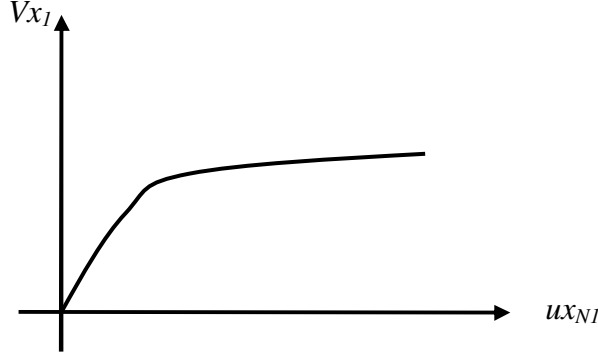
kesite ait eğilme rijitliği kirişler için çatlama kesite ait rijitliğin %40'ı olarak hesaplanır, kolon ve perdeler için ise 3. adımda yapılan analiz sonucunda elde edilen aksel kuvvetlere göre çatlama kesite ait rijitliğin %40'ı ile %80'i arasında değişir . Analizin bu aşamadan sonraki bölümünde çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılır.

5. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, dinamik serbestlik dereceleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınır ve doğrusal elastik davranış için doğal titreşim periyodları ve mod şekilleri hesaplanır.
6. Eşdeğer deprem yükü dağılımı, her katta deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Eşdeğer deprem yükündeki kuvvetler, sadece göz önüne alınan deprem doğrultusundaki kuvvetlerden oluşur. Bu durum, Şekil 2.6'daki kat planında gösterilmiştir.



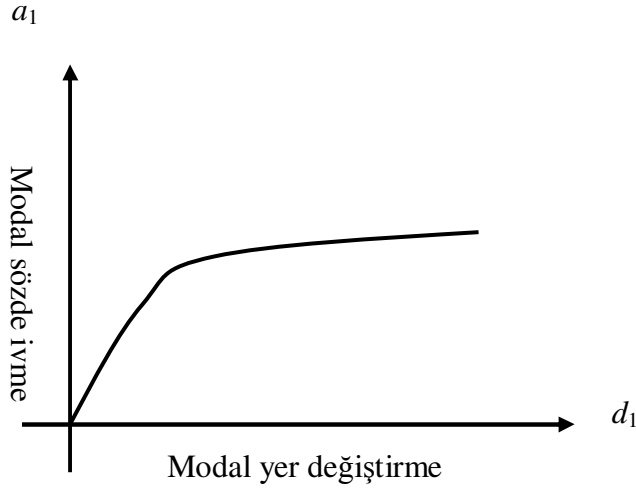
**Şekil 2.6 :** Herhangi bir kattaki eşdeğer deprem yükünü oluşturan kuvvet

7. Kütlelerle uyumlu düşey yüklerin ( $1.0G + 0.3Q$ ) göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz tekrarlanır. Ardından dağılımı 5. adımda belirlenmiş olan eşdeğer deprem yüklerinin monotonik olarak adım adım artırılması ile doğrusal olmayan itme analizi yapılır ve koordinatları "tepe yer değiştirmesi - taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilir (Şekil 2.7).



**Şekil 2.7 : İtme eğrisi**

8. İtme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak, koordinatları "modal yer değiştirme-modal ivme" olan modal kapasite diyagramı elde edilir (Şekil2.8).



**Şekil 2.8 : Modal kapasite diyagramı**

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (2.9)$$

- $a_1^{(i)}$  : (*i*)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme,  
 $V_{x1}^{(i)}$  : *x* deprem doğrultusunda (*i*)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti,  
 $M_{x1}$  : *x* deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütlelerdir.

DBYBHY 2007’de tanımlanan elastik davranış spektrumu kullanılarak hakim moda ait modal yer değiştirme istemi ( $d_1$ ) hesaplanır. Tanım olarak modal yer değiştirme istemi  $d_1$ , doğrusal olmayan spektral yer değiştirme  $S_{di1}$ ’e eşittir (Denklem 2.10)

$$d_1 = S_{di1} \quad (2.10)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme  $S_{di1}$ , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirme  $S_{del}$ ’e bağlı olarak elde edilir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{del} \quad (2.11)$$

$C_{R1}$  : Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı,

$S_{del}$  : İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirmedir.

Doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme  $S_{del}$ , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme  $S_{ael}$ ’den hesaplanır.

$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (2.12)$$

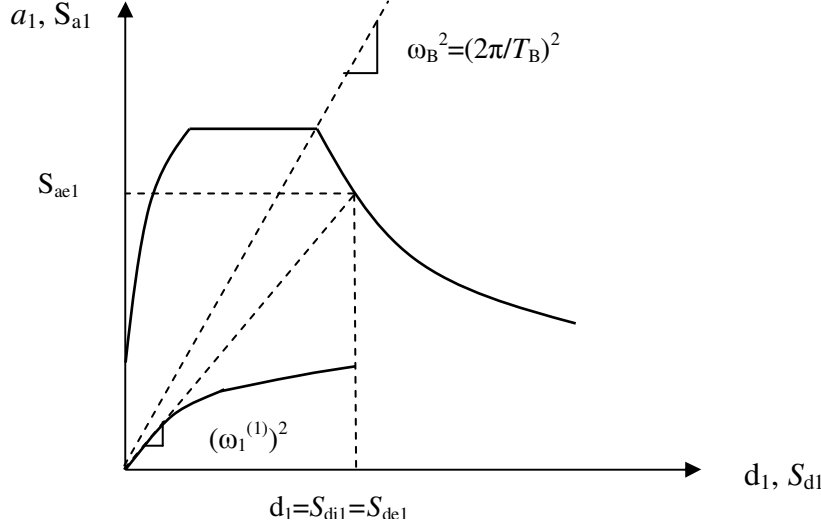
$$S_{ael} = S_{del} (\omega_1^{(1)})^2 \quad (2.13)$$

$S_{ael}$ : İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme,

$\omega_1^{(1)}$ :Başlangıçtaki ( $i=1$ ) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal açısal frekanstır.

a) Hakim moddaki doğal titreşim periyodu  $T_1$ ’in spektrum karakteristik periyodu  $T_B$ ’ye eşit veya daha uzun olması durumunda;  $d_1$ , eşit yer değiştirme kuralı kullanılarak  $T_1$  periyoduna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye ( $S_{del}$ ) eşit alınır (Şekil 2.9).Buna göre  $C_{R1}$  katsayısı 1’e eşittir (Denklem 2.14 ).

$$C_{R1} = 1 \quad (2.14)$$



**Şekil 2.9 :**  $T_1$ 'in  $T_B$ 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda  $d_1$ 'in hesaplanması

b) Hakim moddaki doğal titreşim periyodu  $T_1$ 'in spektrum karakteristik periyodu  $T_B$  'den daha kısa olması durumunda,  $d_1$ ,  $S_{de1}$ 'in  $C_{R1}$  katsayısıyla çarpılması ile hesaplanır (Denklem 2.15, Şekil 2.10).

$$d_1 = C_{R1} S_{de1} \quad (2.15)$$

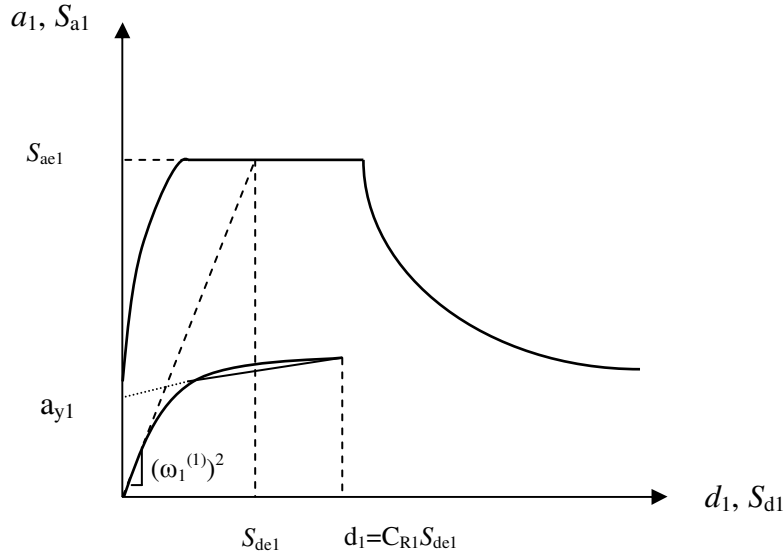
$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (2.16)$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.17)$$

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (2.18)$$

Denklem (2.15), (2.16), (2.17) ve (2.18)'nin uygulanabilmesi için ardışık bir yaklaşım kullanmak gerekmektedir. Bu ardışık yaklaşım aşağıdaki paragrafta özetlenmektedir.

Öncelikle  $C_{R1} = 1$  olarak başlanır ve modal kapasite diyagramının son noktası  $d_1 = S_{de1}$  kabul edilerek altında kalan alan ( $A_0$ ) hesaplanır, ilk kısmının eğimi  $\omega_1^{21}$ 'ye ( $\omega_1 = 2\pi / T_1$ ) ve altında kalan alan  $A_0$ 'a eşit olacak şekilde modal kapasite diyagramı iki doğrudan oluşacak şekilde idealize edilir. Birinci ve ikinci doğru parçalarının kesişimi Denklem (2.18)'de kullanılacak  $a_{y1}$  değerini verir. Daha sonra Denklem (2.17) ve (2.15) kullanılarak  $d_1$  değeri hesaplanır. Bu değerle daha önceden varsayılan  $d_1$  değeri kabul edilebilir ölçüde birbirine yakınsa, hakim moda ait modal yer değiştirme istemi hesaplanmış olur.



**Şekil 2.10** :  $T_1$ 'in  $T_B$ 'den daha kısa olması durumunda  $d_1$ 'in hesaplanması

Değilse, ardışık iki adımda elde edilen  $d_1$  değerleri kabul edilebilir ölçüde birbirine yakın olana kadar ardışık yaklaşım devam ettirilir.

9. Göz önüne alınan deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi hesaplanır (Denklem 2.19).

$$u_{xN1} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1 \quad (2.19)$$

Denklem (2.19)'daki  $u_{xN1}$ , göz önüne alınan deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi,  $\Phi_{xN1}$ , binanın tepesinde göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim moda ait mod şekli genliği,  $\Gamma_{x1}$ , deprem doğrultusundaki hakim moda ait katkı çarpanı,  $d_1$  ise 8.adımda hesaplanan modal yer değiştirme istemidir.  $\Gamma_{x1}$ , Denklem (2.20) ile hesaplanır.

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.20)$$

$$L_{x1} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xi1} \quad (2.21)$$

$$M_1 = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xi1}^2 + m_i \Phi_{yi1}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta i1}^2) \quad (2.22)$$

Denklem (2.21) ve (2.22)'deki  $m_i$  i'inci katın kütlesi,  $m_{\theta i}$  kütle eylemsizlik

momenti,  $\Phi_{x1}$ ,  $\Phi_{y1}$  ve  $\Phi_{\theta1}$  ve sırasıyla 1. mod şeklinin i'inci katta göz önüne alınan deprem doğrultusundaki yatay bileşeni, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki yatay bileşeni ve düşey eksen etrafındaki dönme bileşenidir.

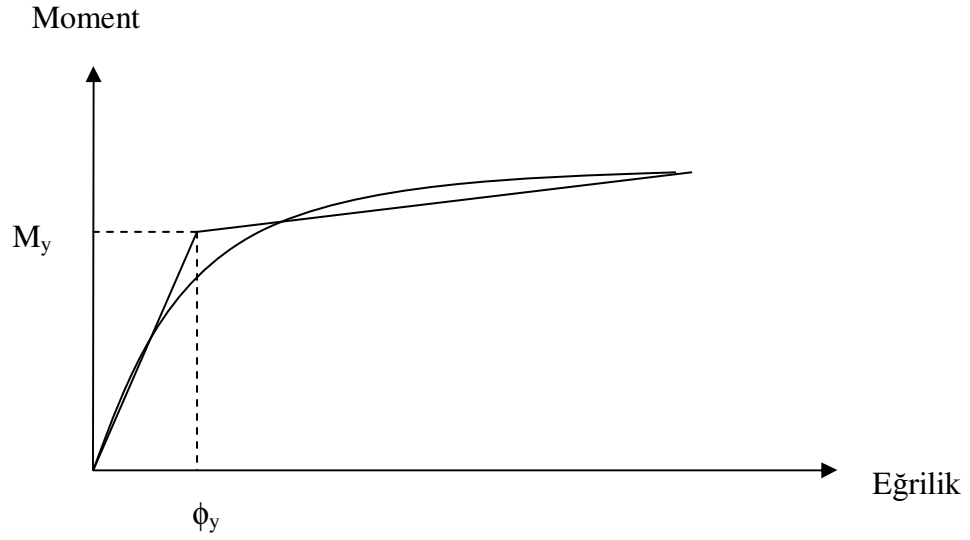
10. Doğrusal olmayan itme analizinde, hesaplanan tepe yer değiştirmesi istemine karşılık gelen itme adımındaki eleman kesme kuvvetleri elde edilir. Bu kesme kuvvetleri, TS-500'e göre belirlenen kesme kuvveti dayanımları ile karşılaştırılır. Eğer bir elemanın uçlarındaki kesme kuvvetlerinden büyük olanı, kesme kuvveti dayanımından büyükse, o elemanın kırılma türü gevrek kırılmadır ve elemanın hasar durumunun Göçme Sınırını (GÇ) aştığı kabul edilir. Ters durumda elemanın kırılma türü sünektir.
11. Kırılma türü sünek olan eleman uçlarında, hesaplanan tepe yer değiştirmesi istemine karşılık gelen itme adımındaki plastik dönme istemleri ( $\theta_p$ ) elde edilir.  $\theta_p$ 'ye karşılık gelen plastik eğrilik istemi ( $\phi_p$ ) Denklem (2.23) kullanılarak hesaplanır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.23)$$

Denklem (2.23)'deki  $L_p$  plastik mafsal boyudur ve çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısına eşit alınır ( $L_p = 0.5h$ ).

Bu aşamadan sonra betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile, donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemini hesaplayabilmek için kesit moment eğrilik ilişkilerine gerek duyulmaktadır. Bu nedenle, kiriş kesitleri için, hesaplanan tepe yer değiştirmesi istemine karşılık gelen itme adımındaki plastik dönme isteminin yönüne bağlı olarak moment-eğrilik ilişkisi elde edilir. Kolon kesitleri için ise, hesaplanan tepe yer değiştirmesi istemine karşılık gelen itme adımındaki eksenel kuvvetler altında moment-eğrilik ilişkisi elde edilir. Moment-eğrilik ilişkisi, amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ve pekleşmeyi de gözönüne alan bir donatı çeliği modeli kullanılarak elde edilmelidir. Bölüm 2.6.6 ve 2.6.7'de beton ve donatı çeliği modellerinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

Kesit için elde edilen moment-eğrilik ilişkisi iki doğru ile idealize edilir ve eşdeğer akma eğriliği ( $\phi_y$ ) hesaplanır (Şekil 2.11).



**Şekil 2.11** : Moment eğrilik ilişkisinin iki doğru ile idealize edilmesi ve  $\phi_y$ 'in hesaplanması

Kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan  $\phi_y$  eşdeğer akma eğriliği, Denklem (2.23) ile tanımlanan  $\phi_p$  plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki  $\phi_t$  toplam eğrilik istemi elde edilecektir (Denklem 2.24).

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.24)$$

Moment-eğrilik analizinde  $\phi_t$ 'ye karşılık gelen donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi ile göz önüne alınan performans düzeyine bağlı olarak kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi istemi veya sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi istemi elde edilir.

12. Bölüm 2.6.8'de açıklanan performans düzeyi için çelik ve beton birim şekil değiştirmesi sınırları hesaplanır ve 11. adımda elde edilen istemlerle karşılaştırılır. Bir elemanın iki ucundan herhangi birindeki istemler sınırlardan büyükse, eleman göz önüne alınan performans düzeyini sağlamıyor demektir.
13. Her katta hedef performans düzeyini sağlamayan kirişlerin kattaki toplam kiriş sayısına oranı ve hedef performans düzeyini sağlamayan kolonların aldıkları kesme kuvvetinin toplam kat kesme kuvvetine oranı belirlenir. Bu oranların herhangi bir katta, göz önüne alınan performans düzeyi için belirlenmiş

oranlardan yüksek olması durumunda binanın bu performans düzeyi için yeterli olmadığı sonucuna varılır.

#### 2.6.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

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

#### 2.6.5 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 yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

#### 2.6.6 Sargılı ve sargısız beton modelleri

Doğrusal olmayan elastik yöntemler ile performansın belirlenmesinde, başka bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, Mander modeline göre sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme şekil değiştirme bağıntıları kurulabilir.

Sargılı beton basınç gerilmesi  $f_c$ , basınç birim şekil değiştirmesi  $\epsilon_c$ 'nin fonksiyonu olarak Denklem 2.25'de belirtilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (2.25)$$

Buradaki sargılı beton dayanımı  $f_{cc}$  ile sargısız beton dayanımı  $f_{co}$  arasındaki ilişki Denklem 2.26'da verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (2.26)$$

Burada,  $f_e$  etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Denklem 2.27’de verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.27)$$

Burada,  $f_{yw}$  enine donatı akma dayanımı,  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacımsal oranları,  $k_e$  ise Denklem 2.28’te tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{2b_0 h_0}\right)^{-1} \quad (2.28)$$

Burada,  $a_i$  kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı,  $b_0$ ,  $h_0$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını,  $s$  düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı,  $A_s$  ise boyuna donatı alanını göstermektedir.

Denklem 2.25’deki normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi  $x$  ile  $r$  değişkenine ilişkin bağıntılar Denklem 2.29 ve 2.30’da verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (2.29)$$

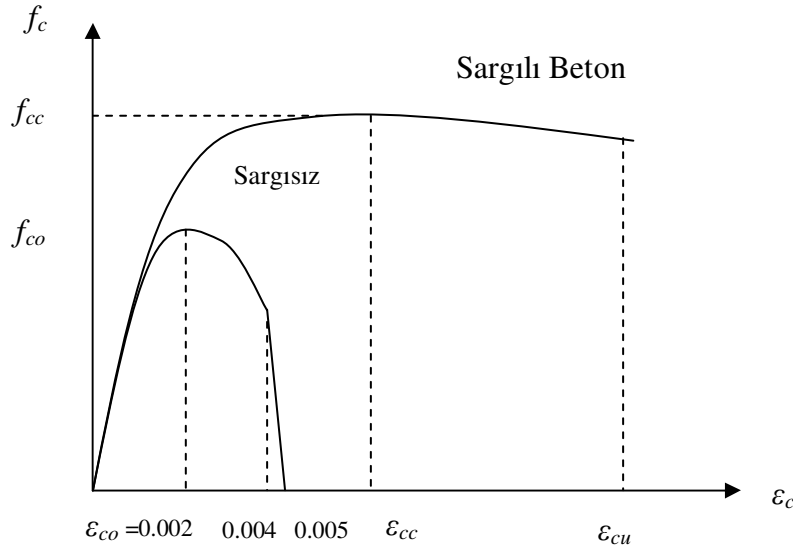
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad E_{sec} \cong \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.30)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi,  $\varepsilon_{cu}$ , Denklem 2.31’de verilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.31)$$

Burada  $\rho_s$  toplam enine donatının hacımsal oranını (dikdörtgen kesitlerde  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$ ),  $\varepsilon_{su}$  enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekil değiştirmesini göstermektedir.

Sargılı beton için verilen Denklem 2.25,  $\varepsilon_c = 0.004$ ’e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı,  $f_e = 0$  ve buna bağlı olarak Denklem 2.26’da  $\lambda_c = 1$  olacağından Denklem 2.26 ve Denklem 2.29’da  $f_{cc} = f_{co}$  ve  $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$  alınır;  $\varepsilon_c = 0.005$ ’te  $f_c = 0$  olarak tanımlanır.  $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$  aralığında gerilme şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır.

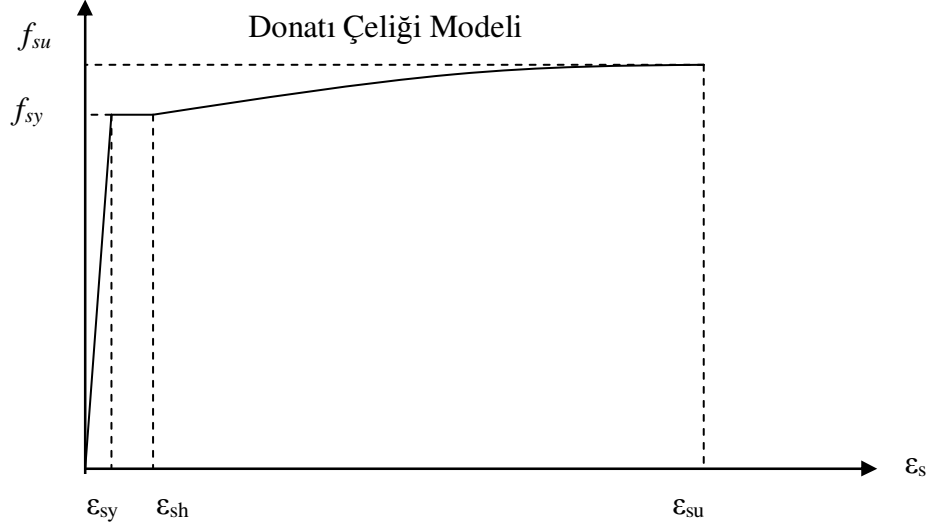


**Şekil 2.12 : Sargılı ve sargısız beton modelleri**

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'deki sargılı ve sargısız betonların gerilme şekil değiştirme grafiği Şekil 2.12'de verilmiştir. Burada  $\epsilon_{co}$ ,  $\epsilon_{cc}$ ,  $\epsilon_{cu}$ ,  $f_{co}$ ,  $f_{cc}$ , sırasıyla sargısız betonun taşıyacağı en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme, sargılı betonun taşıyacağı en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme, sargılı betondaki en büyük basınç birim şekil değiştirmesi, sargısız betonun basınç dayanımı, sargılı betonun basınç dayanımı tanımlarına karşılık gelmektedir.

### 2.6.7 Donatı çeliği modeli

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan notasyon ile donatı çeliği için aksenal gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.13'de verilmiştir. Deprem yönetmeliği donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üç parçaya bölmüştür. Bunlar parçaları; elastik bölge, plastik plato bölgesi ve pekleşme bölgesi olarak tanımlanabilir [4]. Burada  $\epsilon_{sy}$ ,  $\epsilon_{sh}$ ,  $\epsilon_{su}$ ,  $f_{sy}$ ,  $f_{su}$ , sırasıyla donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin pekleşmeye başladığı andaki birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin akma dayanımı, donatı çeliğinin kopma gerilmesi tanımlarına karşılık gelmektedir. Donatı Çeliği Modeli için yukarıda bahsedilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.



**Şekil 2.13 :** Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

**Çizelge 2.7 :** Donatı çeliği modeli için gerilme şekil değiştirme değerleri

Kalite	$f_{sy}$ (Mpa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}$ (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

### 2.6.8 Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) Çizelge 2.8’de tanımlanmıştır [5].

**Çizelge 2.8 :** Kesit hasar sınırlarına göre tanımlanan beton ve çelik birim şekil değiştirme kapasiteleri

Kesit Hasar Sınırı	Sargısız Beton		Sargılı Beton	
	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi
MN	0.004	0.010	0.0035	0.010
GV	0.004	0.004	0.0135	0.004
GÇ	0.004	0.060	0.018	0.060

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.

### 2.6.9 Plastik mafsal hipotezi

Çubuk elemanlarda moment etkisinden dolayı eğilme rijitliği ile ters orantılı bir eğrilik meydana gelir. Bu eğriliğin, moment değerinin çelikte akma oluşturacak şekilde değiştirme değerlerine ulaşmaya kadar yukarıdaki değişkenlerle orantılı olduğu kabul edilebilir. Bu değerden sonra betonarme kesit ulaşabileceği, malzemenin izin verdiği, en büyük eğrilığe kadar momentteki küçük artımlarla serbestçe dönebilir. Bir çubuk için bu akma momenti değerinin tek bir noktada değil, belirli bir uzunluk boyunca oluşacağı açıktır. Bu ise aslında plastikleşme olarak tanımlanan bu davranışın çubuktaki herhangi bir A ve B noktaları arasında yayılı olduğunu gösterir. Bu iki noktanın birbirlerine göre dönmesi toplam eğriliğin giriş boyunca integrasyonu ile Denklem (2.32)'deki gibi hesaplanabilir.

$$\theta_{BA} = \int_A^B \phi_i dx = \int_A^B (\phi_{\text{elastik}} + \phi_{\text{plastik}}) dx = \int_A^B \phi_{\text{elastik}} dx + \int_A^B \phi_{\text{plastik}} dx \quad (2.32)$$

Çoğu durumda plastik eğrilik elastik eğrilığe oranla büyük olduğu için yalnızca plastik eğrilik durumu göz önüne alınabilir. Plastikleşen bölgedeki eşdeğer plastik mafsal boyu, hesaplanan en büyük plastik eğrilik değerinin toplam dönmeye bölünmesiyle, Denklem (2.33)'de verildiği gibi, elde edilebilir.

$$L_p = \frac{\theta_{BA \text{ plastik}}}{\phi_{p \text{ max}}} = \frac{1}{\phi_{p \text{ max}}} \int_A^B \phi_{\text{plastik}} dx \quad (2.33)$$

Plastik mafsal boyunun (2.33) ile belirlenmesi, plastik mafsal kabulünün oluşturduğu kolaylığı ortadan kaldırır [3]. Deprem yönetmeliği plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğunu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak tanımlamıştır [1].

Plastik mafsal metodu ile analiz için MASTAN2 adlı Matlab kodlu program, malzemenin doğrusal olmayan davranışını aşağıdaki bazı kabuller sayesinde matematik modelle temsil edilebilmektedir [7].

- Plastik deformasyonlar elemanların (çubukların) uçlarında uzunluğu olmayan plastik bölgelerde (plastik mafsallarda) temsil edilmiştir.
- Malzeme pekleşmesiz elasto-plastik malzeme olarak kabul edilmiştir.
- Çubuktaki kayma gerilmeleri ve çubuk eksenine dik normal gerilmelerin plastik deformasyona etkisi ihmal edilmiştir.
- Yukarıdaki maddelerin bir sonucu olarak, plastik dönmeyi başlatan aksenal kuvvet ve eğilme kuvveti, plastikleşme bölgesinin elastik durumdan tam plastik duruma aniden geçişine sebep olur.
- Plastik şekil değiştirmeler akma yüzeyine dik oluşur.

Diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen pek çok programda, çubuk elemanlar için yukarıdaki maddelere benzer kabuller yer almaktadır. Bu maddelerden özellikle diklik koşulu aksenal kuvvetin değişiminin fazla olduğu sistemler için daha büyük önem kazanmaktadır.

## **2.7 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi**

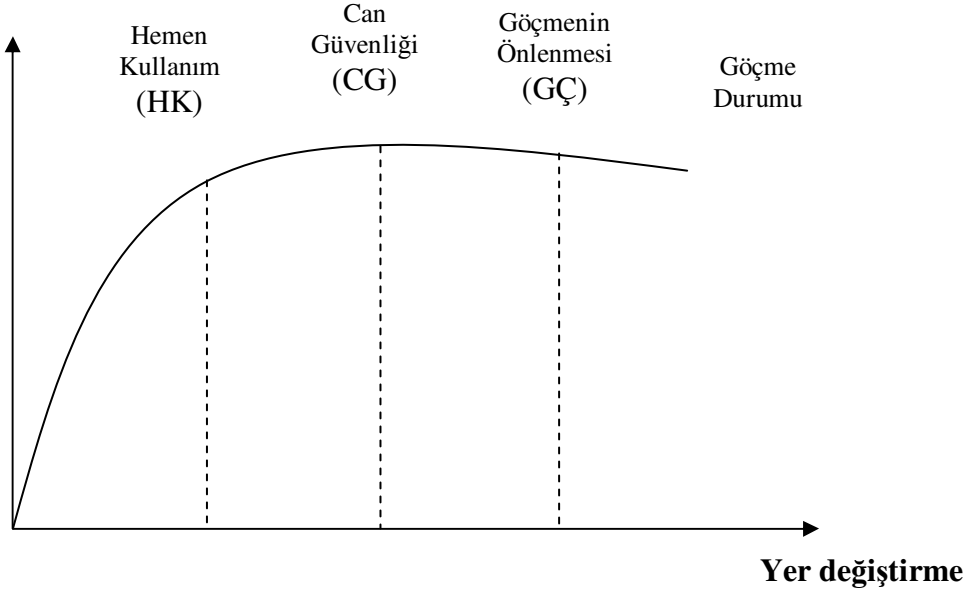
### **2.7.1 Betonarme binaların deprem performansı**

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilgilidir. Bina deprem performans düzeyi doğrusal elastik ve/veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile belirlenir. Binaların deprem performansı dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Bu hasar durumları aşağıda tanımlanmaktadır [1] (Şekil 2.14).

### **2.7.2 Hemen kullanım performans düzeyi**

Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için eleman bazında yapılan hasar tespiti sonucunda, kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunabilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'nde kalmalıdır. Eğer gevrek olarak göçen elemanlar varsa, bunların sünek duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir. Hemen kullanım durumu için binada sınırlı düzeyde elastik ötesi davranışa izin verilmektedir.

## Deprem Yüğü



Şekil 2.14 : Betonarme binaların performans düzeyleri

Kolon ve perdelerin en düşük hasar seviyesinde kalması sınırlandırılırken, kirişlerde belirli bir oranda bir üst hasar seviyesine geçmesine izin verilmektedir.

### 2.7.3 Can güvenliği performans düzeyi

Eğer gevrek olarak göçen elemanlar varsa, bu elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binalar Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde kabul edilir.

a) Herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan hasar tespiti sonucunda ikincil yani yatay yük taşıyıcı sistem elemanları dışındaki kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla % 30'u ve kolonların (b) maddesi uyarınca tanımlanmış kesimi kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.

b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında kalmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetleri toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30

aşmaması gerekir. (Güçlü kolon-zayıf kiriş şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmez).

Kirişlerde oran olarak verilen hasar durumunun kolonlarda kesme kuvveti ile ilişkilendirilmesi, yapı içerisindeki farklı kolonların sistem taşıma kapasitesine etkisinin kıyaslanması sonucu verilmiştir. En üst katın sistem taşıyıcılığına etkisinin düşük olduğu da göz önünde bulundurulmuştur.

#### **2.7.4 Göçme öncesi performans düzeyi**

Varsa gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması şartı ile aşağıda belirtilen koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

a) Herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan hasar tespiti sonucunda ikincil yani yatay yük taşıyıcı sistem elemanları dışındaki kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi'ne* geçebilir.

b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30 aşmaması gerekir. (Güçlü kolon-zayıf kiriş şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmez). Bu durumda binada can güvenliği tehlikesi söz konusudur.

#### **2.7.5 Göçme durumu**

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bu durumda binanın göçmesi beklenmektedir.

### **2.8 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri**

Binaların performans hedefleri için yönetmelikte üç farklı deprem durumu tanımlanmaktadır (Çizelge 2.9) [8].

Kullanım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 72 yıl olan bu depremin, binanın ömrü boyunca en az bir kere

ortaya çıkması kuvvetle olasıdır. Maksimum deprem etkisi, tasarım depreminin yarısı (0.2g) olarak kabul edilir.

**Çizelge 2.9 :** Deprem etkisi parametreleri

Deprem Türü	Maksimum Deprem Etkisi (g)	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	0.2	%50	72 Yıl
Tasarım Depremi	0.4	%10	475 Yıl
En Büyük Deprem	0.6	%2	2475 Yıl

**Çizelge 2.10:** Farklı deprem düzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

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

**Tasarım Depremi:** 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Ortalama dönüş periyodu 475 yıl olan bu deprem bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşı gelmektedir. Maksimum deprem ivmesi 0.4g olarak kabul edilir.

En Büyük Deprem: 50 yılda meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. 2475 yıllık dönüş periyodu ile oluşabilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Maksimum depremin etkisi tasarım depreminin 1.5 katı (0.6g) büyüklüğündedir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.10'da verilmiştir.



### **3. MEVCUT BİR OKUL BİNASININ PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERDEN ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

#### **3.1 Giriş**

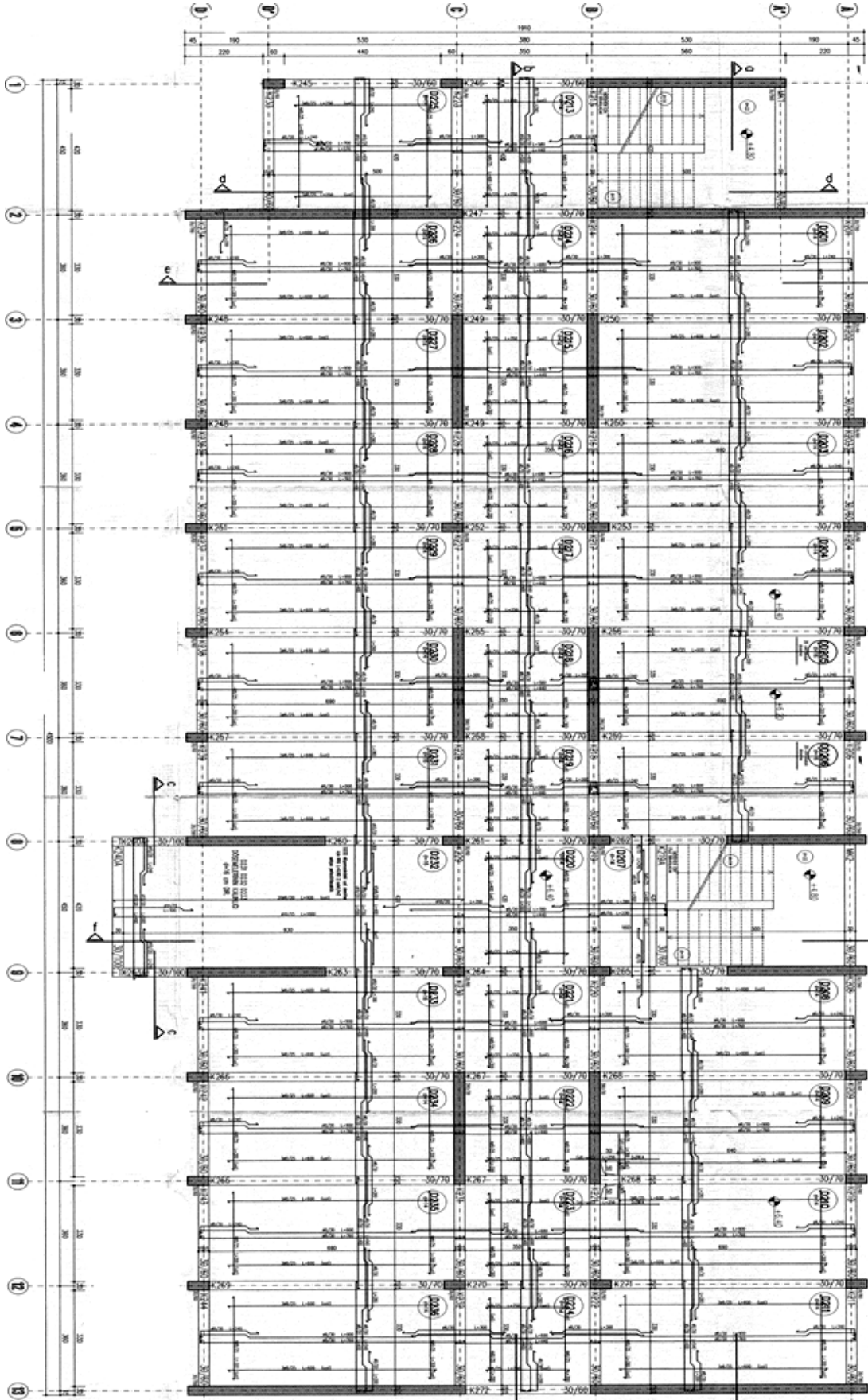
Bu bölümde Erenköy’de bulunan beş katlı Erenköy İlköğretim Okulu binasının yönetmelikte bulunan doğrusal elastik olmayan yöntemlerden Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu performans değerlendirmesi Z2 zemin sınıfına göre, 50 yılda %10 aşılma olasılıklı deprem “tasarım depremi” için x ve y doğrultusunda, 50 yılda %2 aşılma olasılıklı deprem “şiddetli deprem” için y doğrultusunda yapılmıştır.

#### **3.2 Genel Bina Bilgileri**

Bu bölümde performans belirleme yöntemleri için ortak bilgi ve ön hesaplamalar içeren yapının; tasarım ve performans değerlendirme parametreleri, binanın bilgisayar modeli, çatlama kesite ait eleman rijitlikleri ve performans değerlendirme için dinamik özellikler bu kısımda aktarılmıştır. Yapı taşıyıcı sistemi çerçeve ve perdelerden oluşmaktadır. 1.normal kat kalıp planı Şekil 3.1 ile verilmiştir. 1. normal kat, 2. normal kat ve 3. normal kat kalıp planları aynıdır. Zemin kat ve bodrum kat planları Ek A’da verilmiştir.

##### Bina Bilgileri

- Kat adedi 5 (bodrum+zemin+3 normal kat)
- Bina Kat Yüksekliği 3.20 m (Bodrum katta 3.62 m)
- Toplam Bina Yüksekliği 16.42 m
- Kullanım Amacı Okul



Şekil 3.1 : 1. normal kat kalıp aplikasyon planı

### Malzeme Bilgileri

- Beton Basınç Dayanımı C25 ( $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ )
- Çelik Çekme Dayanımı S420 ( $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$ )
- Betonarme Elastisite Modülü,  $[E_c]$  30250 Mpa

Donatı Çeliği Elastisite Modülü,  $[E_s]$  200000 Mpa

### Proje Parametreleri

- Deprem Bölgesi 1.Derece Deprem Bölgesi
- Etkin Yer İvme Katsayısı,  $[A_0]$  0.4
- Bina Önem Katsayısı,  $[I]$  1.4
- Yerel Zemin Sınıfı Z2
- Spektrum Karakteristik Periyotları  $T_A = 0.15 \text{ s.}$  ,  $T_B = 0.40 \text{ s.}$

TÜBİTAK Projesi 107M-573 kapsamında Erenköy İlköğretim binasından 350 adet schmidt okumaları yapılmış ve karot numuneleri alınarak, laboratuarda test edilmiştir. Proje gelişme raporunda belirtildiği üzere yapılan schmidt okumalarının karotlarla korelasyonları sonucunda binada beton dayanımı ( $f_{ck}$ ) 25 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur [14]. Binadan alınan karot değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 : Binadan alınan karot değerleri**

Bodrum Kat	Karot Değerleri			
Eleman No	Karot No	Boyutlar (mm)	Kırılma Kuvveti (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
B-12 aksı kolonu	K 1	91x92	281.9	43.4
C-8 aksı kolonu	K 2	91x94	267.5	41.1
B-5 aksı kolonu	K 3	91x94	288.5	44.4
Zemin Kat	Karot Değerleri			
Eleman No	Karot No	Boyutlar (mm)	Kırılma Kuvveti (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
B-8 aksı kolonu	K 4	91x92	208.5	32.1
C-5 aksı kolonu	K 5	91x95	260.2	40.0

### 3.2.1 Binaya etkiyen yükler

#### 3.2.1.1. Ölü yükler

Ölü yükler döşeme ağırlıkları ve duvar ağırlıkları olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve kirişlere etkilmiştir. Kiriş ve kolon ağırlıkları analiz programında çubukların kendi kütlelerinin ağırlığı dikkate alındığından hesaba katılmamıştır. Bu hesaplarda kabul edilen bazı yükler aşağıda özetlenmiştir [2]. Döşeme plak kalınlığı 14 cm. olup ıslak hacimlerde düşük döşeme vardır ve düşük döşeme plak kalınlığı 16 cm. dir.

#### Döşeme yükü analizi (d=14 cm):

$$\text{Döşeme Öz Ağırlığı} = 0.14\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 3.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva + Kaplama Ağırlığı} = 0.04\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$$

#### Döşeme yükü analizi (d=16 cm):

$$\text{Döşeme Öz Ağırlığı} = 0.16\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva + Kaplama Ağırlığı} = 0.04\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Curuf} = 0.20\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 3.6 \text{ kN/m}^2$$

#### Duvar yükü analizi:

$$\text{Duvar Çizgisel Yükü} = (3.20-0.6)\text{m} \times 3.75 \text{ kN/ m}^2 = 9.75 \text{ kN/m}$$

#### 3.2.1.2. Hareketli yükler

TS 498’de konutlar için minimum hareketli yük  $3.5\text{kN/m}^2$  olarak belirtilmiştir [10], bu binanın tasarımında dikkate alınan hareketli yük  $3.5\text{kN/m}^2$  dir. Merdiven ve koridor hareketli yükü ise  $5\text{kN/m}^2$  dir. En üst katın hareketli yükünü  $2\text{kN/m}^2$ , kar yükünü  $0.755\text{kN/m}^2$  aldık.

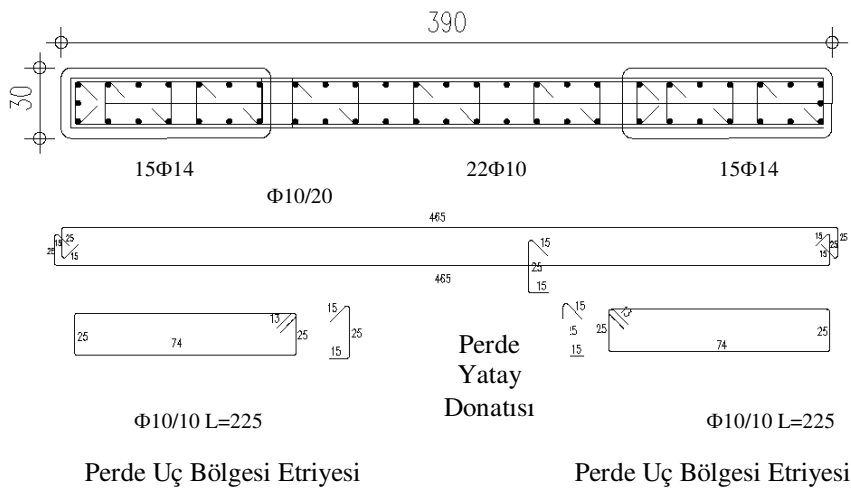
### 3.2.2 Tasarım ve performans belirlenmesi için genel parametreler

Binada  $30 \times 60$  ve  $30 \times 70$  olmak üzere 2 farklı tip kolon boyutu bulunmaktadır. Perdelerde ise  $30 \times 390$ ,  $390 \times 30$ ,  $30 \times 780$ ,  $30 \times 560$ ,  $30 \times 360$ ,  $30 \times 420$  olmak üzere altı farklı tip perde boyutu mevcuttur. Kolonlarda boyuna donatı oranı %1 civarındadır.

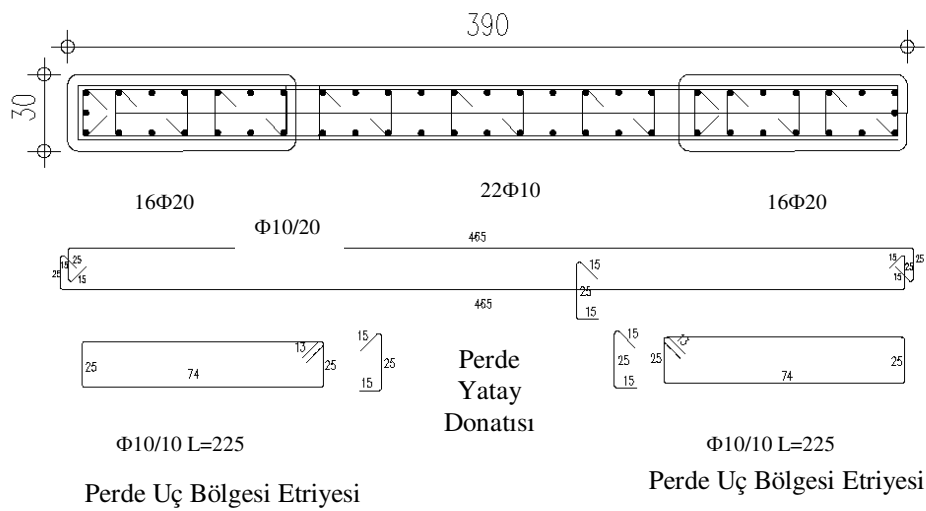
Yapının bulunduğu yerel zemin sınıfı “Z2” olarak göz önüne alınmıştır. Tasarım ve performans değerlendirmede yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmamıştır.

Tasarım aşamasında yapısal analizler, üç boyutlu dinamik analiz yapılabilen SAP 2000 V11.0.4 programı kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda mevcut yapıdaki 30x390, 390x30, 30x780, 30x560 perdelerinin ve S30x60, S30x70 kolonlarının donatı detayları Şekil 3.2 , 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6’da verilmiştir.

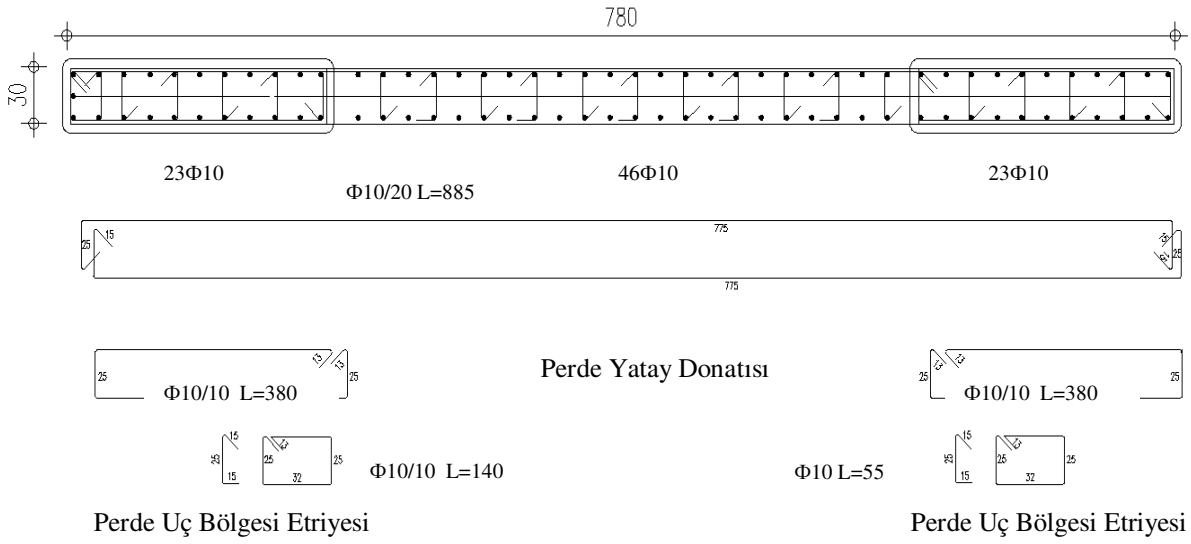
Kirişler için donatı bilgileri Çizelge 3.2’de sunulmuştur. Teze konu olan binada kirişler 30/60cm, 30/70cm, 30/82cm, 30/100cm boyutlarındadır. Bu kirişler Çizelge 3.2’de verildiği gibi 36 farklı tip donatı düzenine sahiptir. Bu tabloda görülen üst donatı negatif moment, alt donatı ise pozitif moment için konulmuştur.  $M_r$  momentleri, XTRACT programı yardımıyla hesaplanmıştır.



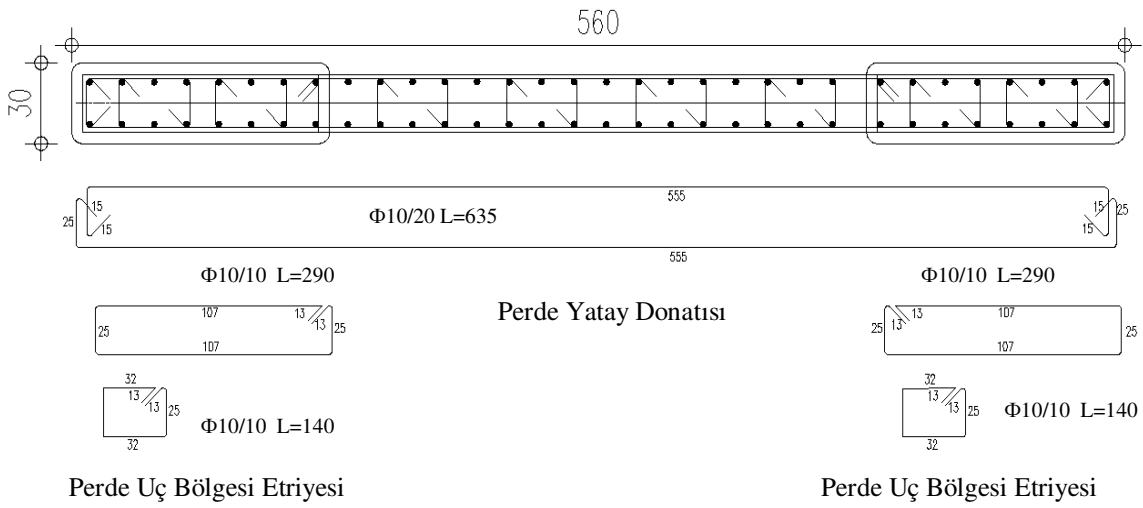
**Şekil 3.2 : P390x30 Perdesi Donatı Detayı**



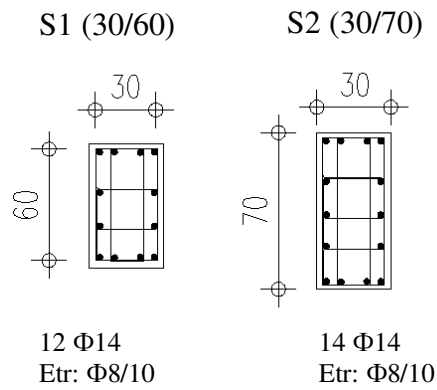
**Şekil 3.3 : P30x390 Perdesi Donatı Detayı**



**Şekil 3.4 : P30x780 perdesi donatı detayı**



**Şekil 3.5 : P30x560 perdesi donatı detayı**



**Şekil 3.6 : S30x60 kolonu ve S30x70 kolonu donatı detayı**

**Çizelge 3.2 : Kirişlere ait donatı bilgileri**

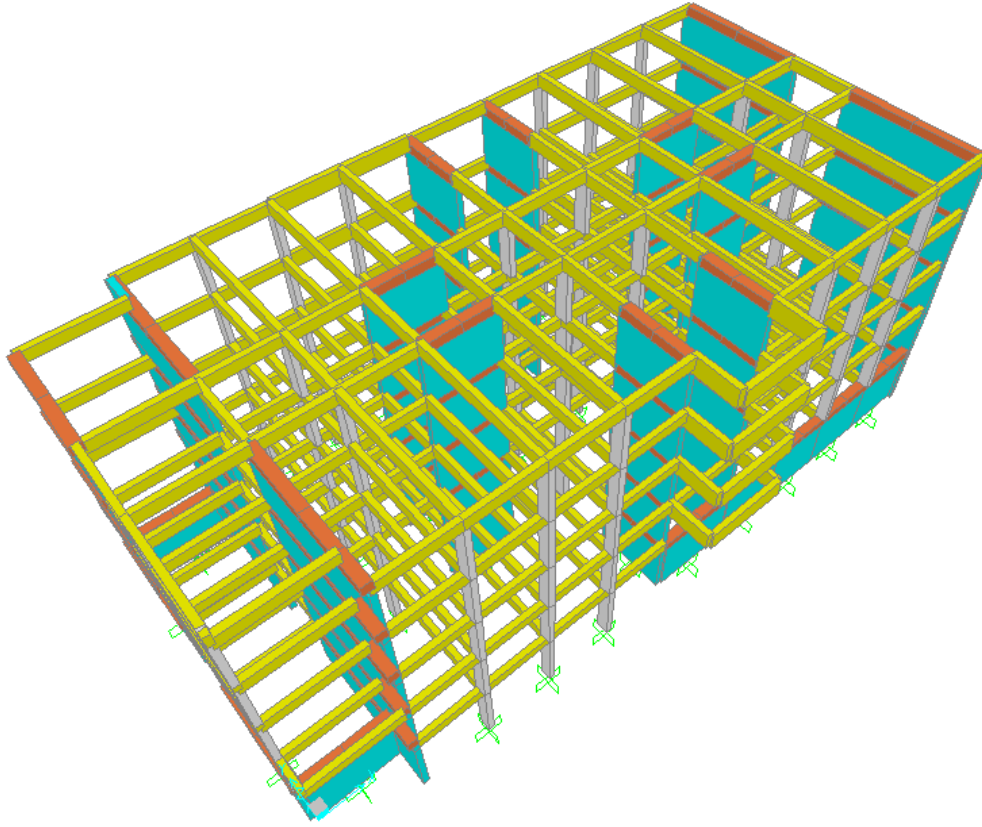
<b>Kesit Tipi</b>	<b>Üst Donatı</b>	<b>Üst Donatı Alanı (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>M<sub>r</sub> (-) (kNm)</b>	<b>Alt Donatı</b>	<b>Alt Donatı Alanı (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>M<sub>r</sub> (+) (kNm)</b>
1	2ø14+1ø16	5.09	-105.821	3ø14	4.62	96.0498
2	2ø14+2ø16	7.10	-147.609	3ø14	4.62	96.0498
3	2ø14+2ø16	7.10	-206.653	4ø14	6.16	179.293
4	2ø14+2ø16	7.10	-147.609	3ø14+1ø16	6.63	137.838
5	3ø16	6.03	-170.951	4ø16	8.04	227.934
6	2ø16+4ø14	10.18	-211.642	3ø14+1ø16	6.63	137.838
7	2ø16+4ø14	10.18	-211.642	3ø14	4.62	96.0498
8	3ø16+2ø14	9.11	-189.397	3ø14+2ø16	8.64	179.626
9	5ø20	15.71	-326.611	4ø20	12.57	261.33
10	6ø20	18.84	-391.684	6ø20	18.84	391.684
11	2ø14+2ø16+2ø20	13.38	-328.747	3ø16	6.03	148.157
12	2ø20+4ø16	14.32	-351.842	3ø16	6.03	148.157
13	2ø20+4ø16	14.32	-351.842	4ø16	8.04	197.543
14	4ø16	8.04	-197.543	4ø16	8.04	197.543
15	4ø16	8.04	-197.543	3ø16	6.03	148.157
16	4ø14	6.16	-128.066	3ø14	4.62	96.0498
17	3ø16+2ø14	9.11	-189.397	3ø14+1ø16	6.63	137.838
18	2ø20+4ø14	12.44	-258.628	3ø14+2ø16	8.64	179.626
19	5ø14+2ø16	11.72	-243.659	3ø14	4.62	96.0498
20	5ø14+1ø16	9.71	-201.871	3ø14	4.62	96.0498
21	3ø20+3ø14	14.04	-291.892	3ø14+3ø16	10.65	221.414
22	2ø16+3ø14	8.64	-179.626	3ø14	4.62	96.0498
23	3ø14+1ø16	6.63	-137.838	3ø14	4.62	96.0498
24	3ø16	6.03	-216.537	4ø16	8.04	288.716
25	4ø14	6.16	-128.066	3ø14	4.62	96.0498
26	3ø14+2ø16	8.64	-179.626	3ø16	6.03	125.364
27	8ø20	25.14	-522.661	8ø20	25.14	522.661
28	5ø16	10.05	-246.928	4ø16	8.04	197.543
29	5ø20	15.71	-564.146	3ø20	9.42	338.272
30	2ø14+4ø16	11.12	-231.185	3ø14+2ø16	8.64	179.626
31	5ø14	7.70	-160.083	3ø14	4.62	96.0498
32	5ø20	15.71	-445.378	3ø20	9.42	267.057
33	6ø14	9.24	-227.027	3ø14	4.62	113.513
34	5ø14	7.70	-189.189	4ø14	6.16	151.351
35	4ø14	6.16	-151.351	4ø14	6.16	151.351
36	4ø14	6.16	-151.351	3ø14	4.62	113.513

### 3.2.3 Binadan rölöve alınması çalışması ve binanın bilgisayar modeli

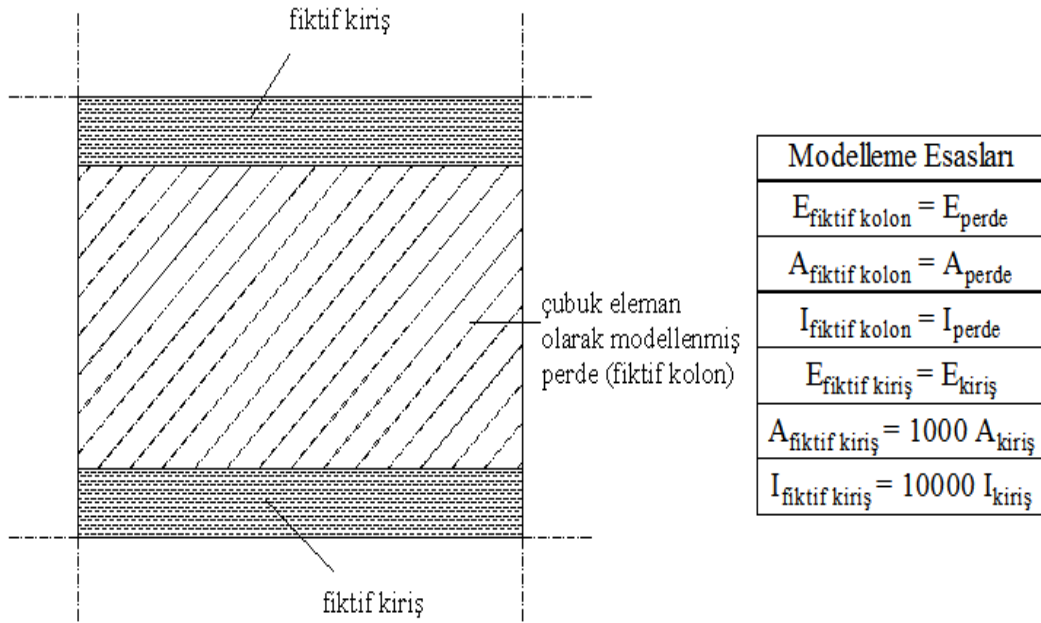
Teze konu olan okul binası, projeleri mevcut bir bina olduğundan yerinde ölçüm, kontrol, rölöve alınması çalışmaları yapılabilmektedir. Ölçümlerin yapılmasında şerit metre ve lazer metreden faydalanılmış ve taşıyıcı sistem elemanlarında sıva kalınlığı kontrolü için açılmış bölgelerden ölçüm yapılmıştır. Proje üzerindeki ölçüler ile kiriş, kolon, perde boyutlarının, kat yüksekliklerinin, kapı pencere boşluklarının birebir uyduğu gözlemlenmiştir.

Binadaki 2-4 aksları arasındaki bölümler tip projede yer almakla beraber uygulamada inşa edilmemiştir. 4 aksından sonra aradaki 2 aks kaldırılarak 1-2 aksının olduğu bölüme kaydırılmış 4 aksı üzerindeki kolonlar ve kirişler uygulanmamış olup 2 aksı üzerindeki 30x780'lik perde ve 30x60'lık kiriş uygulanmıştır. Bu uygulama tüm katlarda bu şekildedir. Bunun dışında proje ile uyuşmayan bir tek K047, K147, K247, K347, K447 kirişlerinin boyutlarıdır. Tüm katlarda 30x70 olarak gösterilen kiriş boyutları 30x60 olarak uygulanmıştır. Bunların dışında taşıyıcı sistemde proje ile uymayan ölçü bulunmamaktadır.

Erenköy İlköğretim Okulu'nun rölövesi bu şekilde alınmış olup bina SAP 2000'de modellenmiştir (Şekil 3.7) Yapı çubuk elemanlar kullanılarak modellenmiştir.  $X$  ve  $y$  koordinatlarının başlangıç noktaları kalıp planında 1 ve D akslarının kesiştiği noktadır. Kirişler için  $i$  ucu, kirişler  $x$  doğrultusunda uzanıyorsa 1 aksına, kirişler  $y$  doğrultusunda uzanıyorsa D aksına, yakın olan uçtur. Diğer uç ise  $j$  ucu olarak isimlendirilmiştir. Kolon ve perdelerde elemanın zemine yakın olan ucu  $i$ , diğer ucu  $j$  olarak isimlendirilmiştir. Döşeme yükleri kirişlere üçgen ve yamuk yayılı yük olarak etkilmiştir. Kat döşemeleri bu bina için deprem yönetmeliğinin de izin verdiği şekilde rijit diyafram olarak tariflenmiştir. SAP 2000 kabuk elemanlara plastik mafsal atama işlemini müsaade etmediği için perdeler orta kolon modeline göre çubuk eleman olarak modellenmiştir [11]. Perde genişliğini temsilen fiktif kolonlar ve rijit fiktif kirişler kullanılmıştır. Fiktif kolonlar perde boyutlarındaki kolon olarak tanımlanmış çubuk eleman olarak modellenmiştir. Fiktif kirişler 50x50 boyutunda sonsuz rijit bir kiriş olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamayı yaparken alanı sistemdeki çerçeve kirişlerin 1000 katı olarak alınmıştır. Atalet momentini sistemdeki çerçeve kirişlerin 10000 katı kadar arttırılmıştır (Şekil 3.8). Derinliklerini temsil etmek için sonsuz rijit çubuklar perde düğüm noktaları ve kiriş düğüm noktaları arasında bağlanmıştır.



Şekil 3.7 : Okul binasının üç boyutlu bilgisayar modeli [12]



Şekil 3.8 : Perde modeli ve modelleme esasları [12]

### 3.2.4 Performans değerlendirilmesi için dinamik özelliklerin bulunması

Çatlamış kesit rijitliklerine göre düzeltilmiş yapı modeli periyotları ve karşı gelen etkin kütle oranları Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3** : Binanın periyotları ve karşı gelen etkin kütle oranları

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları	
		X doğrultusu	Y doğrultusu
1	0.546	0.700	0.000
2	0.260	0.000	0.720
3	0.216	0.000	0.000
4	0.135	0.168	0.000
5	0.095	0.000	0.000
6	0.078	0.000	0.052
7	0.073	0.000	0.000
8	0.073	0.000	0.000
9	0.068	0.000	0.022
10	0.068	0.000	0.012
11	0.068	0.000	0.000
12	0.067	0.000	0.039

Binaya ait mod şekilleri Ek B’de verilmiştir.

### 3.2.5 Performans değerlendirilmesinde kullanılacak eleman rijitlikleri

Deprem yönetmeliğinde, betonarme elemanların çatladıktan sonraki yaklaşık eğilme rijitliklerini hesaba katmak için verilen, kesitteki aksenal kuvvet seviyesine göre, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri bu çalışmada Bölüm 2.4’de tariflenmiştir. Burada bahsi geçen aksenal kuvvet, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon ve perdede oluşan aksenal kuvvettir. Bu okul binasında bu yükler altında hiç bir eleman üzerindeki aksenal kuvvet aksenal kapasite oranının 0.10 oranının üstüne çıkmamaktadır. Sonuç olarak, tüm elemanların çatlamış kesit rijitliklerinin çatlama kesit rijitliklerine oranı 0.40 alınmıştır.

### 3.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabilirlik Tahkiki

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemin sağlaması gereken şartlar daha önce bölüm 2.6.3' de anlatılmıştır. Buna göre aşağıdaki tahkikler yapılmıştır:

- Kat sayısı  $N=5 < 8 \sqrt{\quad}$
- Burulma düzensizliği  $\eta_b$ , x-x doğrultusu için Çizelge 3.4'te, y-y doğrultusu için Çizelge 3.5'te hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.4 : X-X doğrultusu için burulma düzensizlikleri**

Kat	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	$n_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}}$
Bodrum	0.26	0.30	0.28	1.071
Zemin	1.76	1.81	1.79	1.014
1.Kat	3.87	3.93	3.90	1.008
2.Kat	6.09	6.16	6.13	1.006
3.Kat	8.17	8.23	8.20	1.003

- $\eta_b < 1.4 \sqrt{\quad}$

**Çizelge 3.5 : Y-Y doğrultusu için burulma düzensizlikleri**

Kat	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	$n_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}}$
Bodrum	0.59	0.69	0.64	1.078
Zemin	1.97	1.97	1.97	1.000
1.Kat	3.80	3.96	3.88	1.021
2.Kat	5.82	6.20	6.01	1.032
3.Kat	7.81	8.43	8.12	1.038

- $\eta_b < 1.4 \sqrt{\quad}$

- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olması zorunludur (Çizelge 3.6).

**Çizelge 3.6 : Hakim moda karşı gelen etkin kütle oranları**

Mod	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları	
		X doğrultusu	Y doğrultusu
1	0.546	0.700	0.000
2	0.260	0.000	0.720

$$\beta_x = 0.70 \geq 0.70 \checkmark$$

$$\beta_y = 0.72 \geq 0.70 \checkmark$$

Yapı gerekli 3 şartı da sağladığından artımsal eşdeğer deprem yükü uygulanabilir.

### 3.4 Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Deprem Performansının Belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi Bölüm 2.6.1’de DBYBHY esaslarına uygun olarak tarif edilmiştir. Bu bölümde, bodrum ve zemin dahil beş katlı okul binasının deprem performansı yönetmelikte bulunan doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile belirlenmiştir. Analizde SAP 2000 programı ve XTRACT programı kullanılmıştır. Plastik kesit parametreleri ve yerleri yönetmeliğe göre programa atanmıştır.

#### 3.4.1 Malzeme modeli

Hasar durumları belirlenecek olan taşıyıcı eleman kesitlerinin davranışları XTRACT isimli bir sonlu eleman analiz programı yardımı ile belirlenmiştir. Eleman kesitleri, kesiti çerçeveleyen kabuk beton, kesitte çekmeye, basınca ve kesmeye çalışan donatılar ve bu donatıların çevrelediği çekirdek beton olmak üzere üç ayrı malzeme olarak modellenmiştir. Bu modellemede kabuk beton sargısız beton olarak, çekirdek beton ise sargılı beton olarak göz önüne alınmıştır. Program beton davranışları için Mander Modeli’ni kullanmaktadır [1]. Mander modeliyle ilgili kapsamlı bilgiler bu çalışmada bölüm 2.6.6’da anlatılmıştır. Donatı çeliği modeliyle ilgili yönetmelik kriterlerinden bölüm 2.6.7’de detaylı olarak bahsedilmiştir.

Modellemede kullanılan malzemelere ait şekil değıştirme değeri aşağıda verilmiştir.

#### **a. Beton modeli**

##### ➤ *Sargısız beton*

Sargısız betonun modellenmesinde,

Beton ezilme birim kısalması :  $\epsilon_c = 0.004$

Beton dağılma birim kısalması :  $\epsilon_c = 0.005$

Maksimum gerilmeye karşılık gelen beton birim kısalması,  $\epsilon_{cu} = 0.002$  olarak göz önüne alınmıştır.

##### ➤ *Sargılı beton*

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

##### Kolonlarda;

Maksimum basınç birim şekil değıştirmesi :  $\epsilon_{cu} = 0.02$

Sargılı beton basınç dayanımı : 33.73 Mpa(30x60 kolon için)

##### Kirişlerde;

Maksimum basınç birim şekil değıştirmesi :  $\epsilon_{cu} = 0.018$

Sargılı beton basınç dayanımı : 28.28 Mpa(30x60 kiriş için)

#### **b. Donatı çeliği modeli**

Çeliğin modellenmesinde Çizelge 2.7'de S420 çeliği için verilen değeri kullanılmıştır.

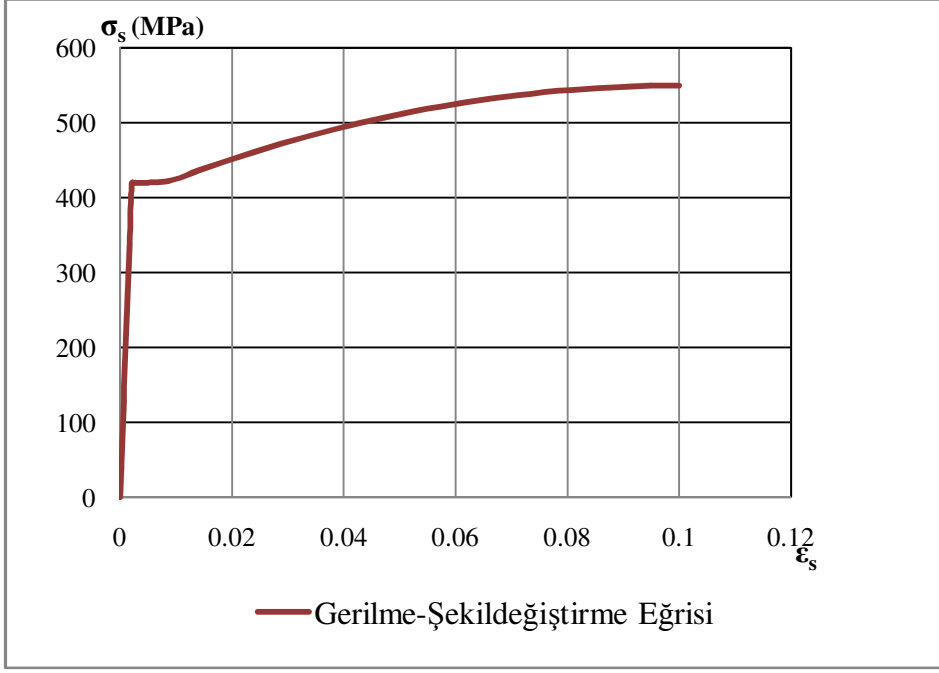
Çeliğin akma birim uzaması :  $\epsilon_{sy} = 0.0021$

Pekleşme başlangıcındaki çelik birim uzaması :  $\epsilon_{sh} = 0.008$

Çelik kopma birim uzaması :  $\epsilon_{su} = 0.10$

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

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



**Şekil 3.9 :** Hesaba Esas Çelik Gerilme-Şekil değiştirme Grafiği

### 3.4.2 Kesit analizleri

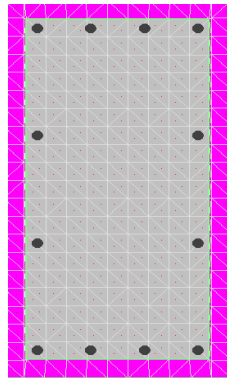
Kesit moment-eğrilik bağıntıları ve kesit akma yüzeyleri XTRACT programı ile elde edilmiştir [13]. Bu modellemelerde mevcut malzeme değerleri ve en büyük birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 2.8'den Minimum Hasar Sınırı (MN) için belirtilmiş değerler alınarak tanımlanmıştır.

Beton birim şekil değiştirmesi :  $f_{cm} = 25 \text{ MPa}$   $\epsilon_c = 0.0035$

Çelik birim şekil değiştirmesi :  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$   $\epsilon_s = 0.01$

#### Kolon Kesiti

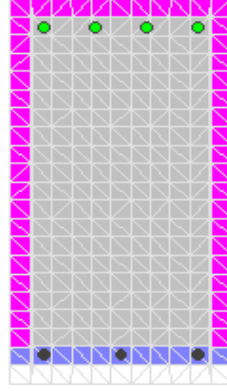
Şekil 3.10'da çerçeve sisteme ait kolon kesitinin XTRACT modeline ait resim görülmektedir.



**Şekil 3.10 :** XTRACT kolon modeli (S30x60 tip için)

### Kiriş Kesiti

Şekil 3.11’de çerçeve sisteme ait kiriş kesitinin XTRACT modeline ait resim görülmektedir.



**Şekil 3.11 : XTRACT kiriş modeli (K30x60 tip için)**

#### **3.4.3 Kesitlerin plastik özelliklerinin tanımlanması**

Teze konu olan binada kirişler 30/60cm, 30/70cm, 30/82cm, 30/100cm boyutlarındadır. Bu kirişler Tablo 3.1’de verildiği gibi 36 farklı tip donatı düzenine sahiptir. Bu tabloda görülen üst donatı negatif moment, alt donatı ise pozitif moment için konulmuştur.  $M_r$  momentleri, XTRACT programı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada yapılan işlem, betonda veya çelikte göçme oluşturan ya da betonda 0.02 birim şekil değiştirmeye karşı gelen eğrilik değerine kadar, moment-eğrilik ilişkisini oluşturup bu eğrinin iki doğrulu idealleştirilmesidir. Eğrilik analizinde donatıda akmanın başladığı ilk moment  $M_r$  değeri olarak kabul edilmiştir. Bu durumda çelikteki pekleşme etkisinden dolayı momentteki artış hesaba bir şekilde yansıtılmıştır. Bu akma momentine karşılık gelen eğrilik değerine akma eğriliği adı verilir. Akma eğriliği için yukarıda verilen tanım dışında pratik tanımlarda mevcuttur. Priestley tablalı kirişler için akma eğriliğini, çeliğin ilk akma anındaki birim şekil değiştirme değerinin yaklaşık 1.7 katının kiriş yüksekliğine bölünmesi olarak ifade edilebileceğini göstermiştir [14].

SAP 2000 V11.0.4 programının kirişler için hasar bölgesi çıktısı DBYBHY’ye uyumlu olacak şekilde aşağıda tarif edilen işlemler yapılarak kullanılmıştır. XTRACT programı ile elde edilen, yönetmelikte verilen malzeme hasarına göre hasar sınır şekil değiştirmelerine karşılık gelen toplam eğrilik değerleri ve akma eğriliği değerleri hesaplanmıştır.

Toplam eğrilik değerlerinden akma eğriliği değerlerinin çıkarılması ile plastik eğrilik değerleri elde edilir. Plastik eğrilik değerinin plastik mafsal boyu ile çarpılması sonucu plastik dönme değerleri her bir hasar sınırı için bulunur. Hasar sınırları için bulunan plastik dönme değerleri SAP 2000 programına bir referans değer katları olacak şekilde tanımlanır. Okul binası için bu referans değer, akma dönmesi olarak seçilmiştir ve diğer sınır değerleri bu değer katları şeklinde tanımlanmıştır [15].

Örneğin 30x60'lık bir kiriş tipi için bu işlemler şu şekildedir:

XTRACT'ten 30x60'lık kiriş için okunan akma eğriliği değeri  $5.95 \times 10^{-3}$  1/m ve buna karşı gelen ilk akma anındaki elastik dönme 0.001785'tir. SAP 2000 programında üç hasar durumu için girilen değerler yönetmelikteki ilgili birim şekil değiştirme değerine karşılık gelen plastik dönme değerlerine göre girilmiştir. Bu kiriş için kesit minimum hasar sınırına denk gelen çelikteki  $(\epsilon_s)_{MN} = 0.010$  birim şekil değiştirmesi için kesitteki plastik dönme XTRACT programından 0.00446 rad olarak okunmuştur. Bu değer akma anındaki elastik dönme değerinin iki buçuk katıdır ve SAP 2000'e bu değer girilmiştir. Bu kiriş için kesit güvenlik sınırına denk gelen çelikteki  $(\epsilon_s)_{GV} = 0.040$  birim şekil değiştirmesi için kesitteki plastik dönme XTRACT programından 0.0227 rad olarak okunmuştur. Bu değer akma anındaki elastik dönme değerinin 12.7 katıdır ve SAP 2000'e bu değer girilmiştir. Bu kiriş için kesit göçme sınırına denk gelen çelikteki  $(\epsilon_s)_{GC} = 0.060$  birim şekil değiştirmesi için kesitteki plastik dönme XTRACT programından 0.0350 rad olarak okunmuştur. Bu değer akma anındaki elastik dönme değerinin 19.6 katıdır ve SAP 2000'e bu değer girilmiştir.

Bu sayede tüm kesitler bir defa tanımlandıktan sonra binanın her bir performans sınırı için kesit hasar değerleri programdan çıktı olarak alınabilmektedir.

Kolon ve perdeler için akma yüzeyi, binadaki tüm düşey taşıyıcılar gibi simetrik donatılı dikdörtgen elemanlar için, 45 derecede bir akma eğrisi oluşturularak, toplam 3 farklı akma eğrisi ile tanımlanmıştır. Akma eğrileri oluşturulurken Bölüm 2.6'da 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.

Kirişler için çatlamış kesit etkin eğilme rijitliklerini tanımladık.

Kirişlerde  $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$  aldık.

Kolon ve Perdelerde,  $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda:  $(EI)_e = 0.80 (EI)_0$

Bizim yapımızda;

$$A_c * f_{cm} = 25 * 300 * 600 = 4500 \text{ kN}; \quad N_D = 411 \text{ kN}$$

$N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$  olduğundan kolon ve perdelerde  $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$  aldık.

#### 3.4.4 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları Bölüm 2.6.8’de anlatılmıştır.

Kesitlerde oluşan mafsallardaki plastik dönme değerleri SAP 2000 programı ile elde edilmiştir. Kesitlerin akma eğrilikleri ile toplam eğriliğe karşılık gelen sargılı beton ve betonarme çeliğinin birim şekil değiştirmeleri XTRACT programı yardımı ile bulunmuştur.

#### **30x60 Tip Kiriş İçin Hesap:**

$$\theta_p = 0.003079 \text{ rad (SAP 2000’den okundu)}$$

Plastik mafsallık boyu kesit derinliğinin yarısı olarak hesaplanabilir ( $h=0.6$  m).

$$L_p \cong 0.5h = 0.3 \text{ m} \quad (3.1)$$

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, plastik dönme değeri plastik mafsallık boyuna bölünerek plastik eğrilik değeri elde edilir.

$$\phi_p \cong \frac{\theta_p}{L_p} = 0.003079/0.3 = 0.0103 \text{ rad/m} \quad (3.2)$$

$$\phi_y = 0.00595 \text{ rad/m (XTRACT’ten okundu)}$$

Plastik eğrilik ile akma eğriliği doğrusal toplanarak toplam eğrilik elde edilir.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y = 0.0103 + 0.00595 = 0.01625 \text{ rad/m} \quad (3.3)$$

$\phi_t$  ‘ye karşılık gelen beton ve çeliğe ait birim şekil değiştirmeler XTRACT’ten okunur:

$$\varepsilon_c = 2.876 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_s = 8.021 \times 10^{-3}$$

Bulunan bu birim şekil değiştirmeler Bölüm 2.6.8’de tanımlanan beton ve çeliğe ait sınır birim şekil değiştirmeleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumları belirlenir.

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 > \varepsilon_c = 2.876 \times 10^{-3}$$

$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 > \varepsilon_s = 8.021 \times 10^{-3} \text{ olduğundan,}$$

Kesit hasarının ‘‘*Minimum Hasar Bölgesinde*’’ meydana geldiği görülür.

### **30x60 Tip Kolon İçin Hesap:**

$$\theta_p = 0.001466 \text{ rad (SAP 2000’den okundu)}$$

Plastik mafsalsal boyu kesit derinliğinin yarısı olarak hesaplanabilir ( $h=0.6$  m).

$$L_p \cong 0.5h = 0.3 \text{ m}$$

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, plastik dönme değeri plastik mafsalsal boyuna bölünerek plastik eğrilik değeri elde edilir.

$$\phi_p \cong \frac{\theta_p}{L_p} = 0.001466/0.3 = 0.0048867 \text{ rad/m}$$

$$\phi_y = 0.007 \text{ rad/m (XTRACT’ten okundu)}$$

Plastik eğrilik ile akma eğriliği doğrusal toplanarak toplam eğrilik elde edilir.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y = 0.0048867 + 0.007 = 0.01188 \text{ rad/m}$$

XTRACT’ten beton ve çeliğe ait birim şekildeğiştirmeler okunur;

$$\varepsilon_c = 1.254 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_s = 6.329 \times 10^{-3}$$

Bulunan bu birim şekil değiştirmeler Bölüm 2.6.8’de tanımlanan beton ve çeliğe ait sınır birim şekil değiştirmeleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumları belirlenir.

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 > \varepsilon_c = 1.254 \times 10^{-3}$$

$$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 > \varepsilon_s = 6.329 \times 10^{-3} \text{ olduğundan,}$$

Kesit hasarının ‘‘*Minimum Hasar Bölgesinde*’’ meydana geldiği görülür.

### 3.4.5 Binanın modal kapasite diyagramlarının elde edilmesi

Yapıda 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 adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim mod şekli ile kütlelerin 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 mafsal 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 2.6.3’de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Eksenleri tepe yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti olan itme eğrisini, eksenleri modal yerdeğiştirme-modal ivme olan modal kapasite diyagramına çevirirken aşağıdaki denklemler kullanılır.

(*i*)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme  $\alpha_1^{(i)}$  aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.4)$$

$\alpha_1^{(i)}$  : (*i*)’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme,

$V_{x1}^{(i)}$  : *x* deprem doğrultusunda (*i*)’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti,

$M_{x1}$  : *x* deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin küttedir.

(*i*)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme  $d_1$ ’nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.5)$$

$\mathbf{u}_{xN1}^{(i)}$  :  $x$  deprem doğrultusundaki ( $i$ )'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme,

$\mathbf{d}_1^{(i)}$  : ( $i$ )'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme,

$\Phi_{xN1}$  :  $x$  deprem doğrultusundaki birinci moda ait mod şekli genliği,

$\Gamma_{x1}$  :  $x$  deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanıdır.

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı  $\Gamma_{x1}$ , deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan  $L_{x1}$  ve  $M_1$ 'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.6)$$

$$L_{x1} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xi1} \quad (3.7)$$

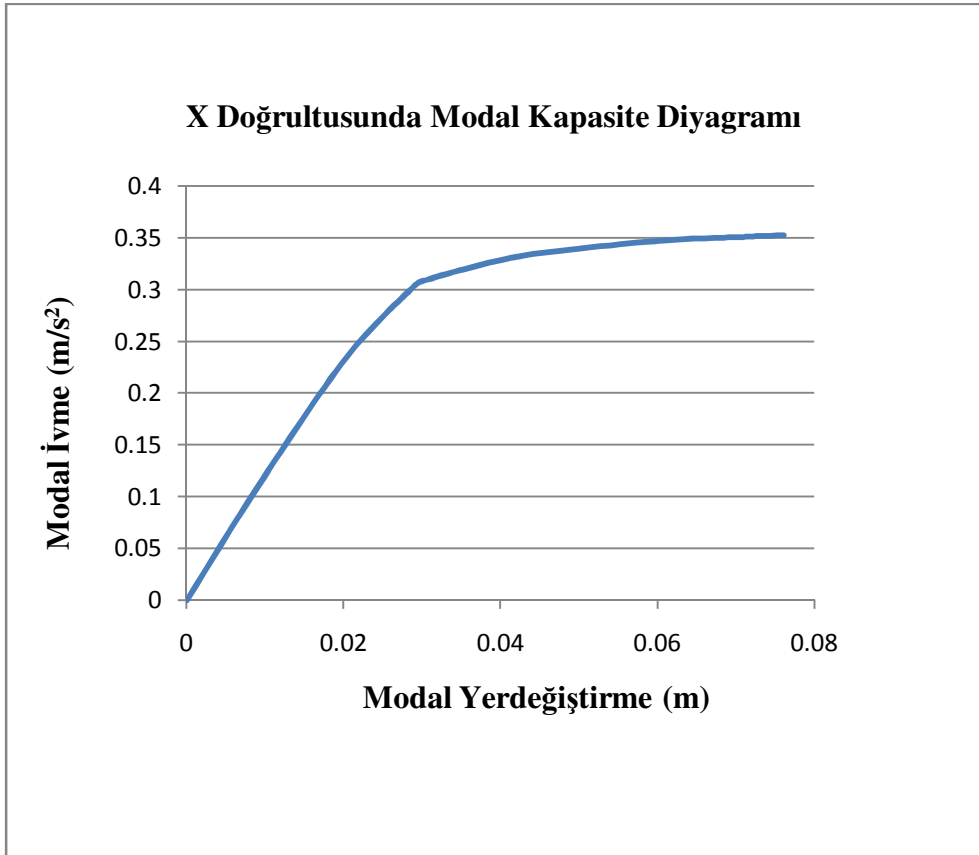
$$M_1 = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xi1}^2 + m_i \Phi_{yi1}^2 + m_{\theta_i} \Phi_{\theta i1}^2) \quad (3.8)$$

Burada  $m_i$   $i$ 'inci katın kütlesi,  $m_{\theta_i}$  kütle eylemsizlik momenti,  $\Phi_{xi1}$ ,  $\Phi_{yi1}$  ve  $\Phi_{\theta i1}$  ve sırasıyla 1. mod şeklinin  $i$ 'inci katta göz önüne alınan deprem doğrultusundaki yatay bileşeni, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki yatay bileşeni ve düşey eksen etrafındaki dönme bileşenidir.

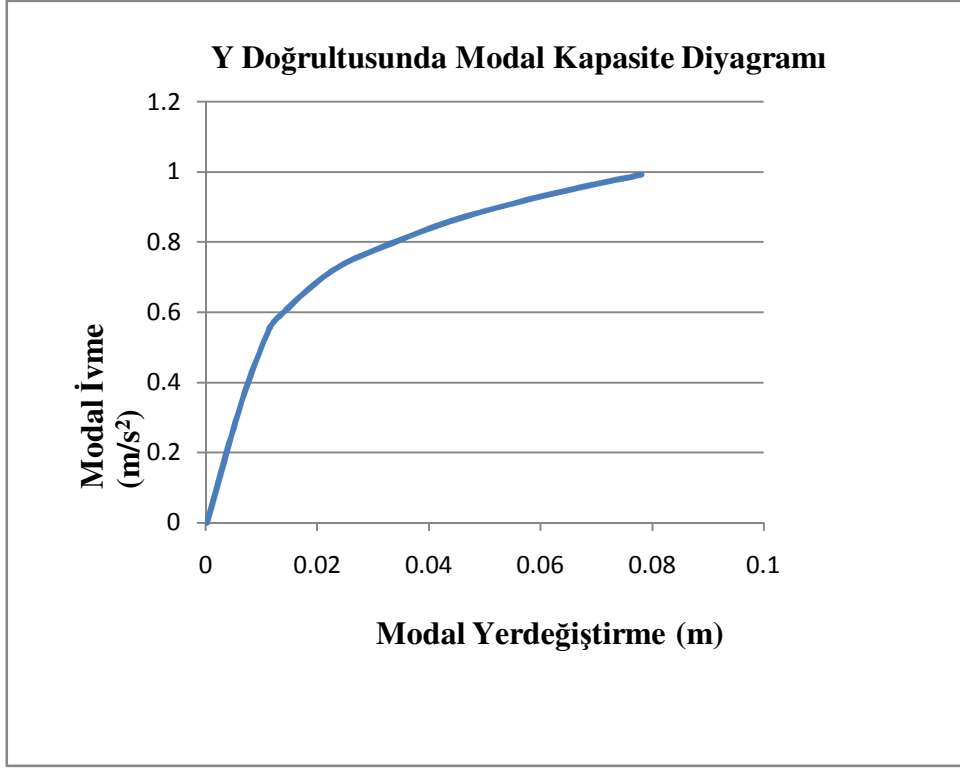
Yönetmelikte itme için yükleme şeklinin, hakim mod şekli olarak alınabileceği söylenmiştir. Bölüm 2'de bahsedilen tek modlu uyumlu itme analizinde, her mafsallı oluşumunda sistemin dinamik karakterleri tekrar hesaplanıp mod şeklindeki bu değişim yükleme şekline yansıtılır. Bu durumda kütle katılım faktörü 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 diyagramları yukarıda tariflenen formülasyonlar ile elde edilmiştir. Bu eğrilerin değerleri  $x$  doğrultusu için Çizelge 3.7'de,  $y$  doğrultusu için Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7 :** X doğrultusu için itme eğrisi ve modal kapasite diyagramının koordinatları

$u_{xN1}^{(i)}$ (m)	$V_{x1}^{(i)}$ (kN)	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (g)
0.000093	0	0.00000663	0
0.012708	3401.23	0.009065	0.10959
0.028528	7278.365	0.020351	0.234513
0.04063	9416.115	0.028984	0.303392
0.042924	9610.586	0.030621	0.309658
0.057989	10269.66	0.041368	0.330894
0.073761	10613.53	0.052619	0.341974
0.087241	10811.06	0.062235	0.348338
0.099815	10898.17	0.071205	0.351145
0.10204	10922.67	0.072792	0.351934
0.106571	10944.28	0.076024	0.352631



**Şekil 3.12 :** X doğrultusunda modal kapasite diyagramı



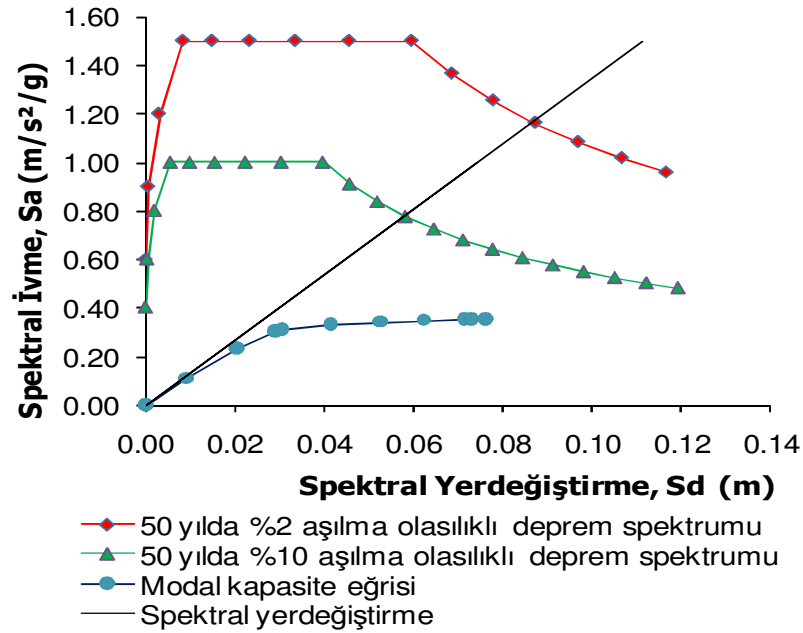
**Şekil 3.13** : Y doğrultusunda modal kapasite diyagramı

**Çizelge 3.8** : Y doğrultusu için itme eğrisi ve modal kapasite diyagramının koordinatları

$u_{yN1}^{(i)}$ (m)	$V_{y1}^{(i)}$ (kN)	$d_1^{(i)}$ (m)	$a_1^{(i)}$ (g)
0.000239	0	0.000166	0
0.009229	11035.13	0.006419	0.345681
0.01568	17080.678	0.010905	0.535061
0.01821	18519.878	0.012665	0.580145
0.032369	22868.515	0.022513	0.716368
0.048042	25428.646	0.033413	0.796566
0.063436	27458.354	0.04412	0.860148
0.078463	28962.225	0.054571	0.907257
0.094418	30330.76	0.065667	0.950127
0.110818	31543.267	0.077074	0.98811
0.112416	31662.268	0.078185	0.991837

### 3.4.6 Doğrusal olmayan tepe yer değiştirmesinin belirlenmesi

Bölüm 2.6.3'te doğrusal olmayan spektral ve tepe yerdeğiştirmelerinin bulunmasında izlenen adımlar tariflenmiştir. Bizim binamızda  $x$  doğrultusu için çatlamiş kesit rijitlikleri kullanılarak hesaplanmış hakim modun periyodu Z2 için 0.4sn olan  $T_B$  değerinden büyük olduğundan  $C_{R1}=1$  olarak alınmaktadır. Binamız zemin sınıfını Z2 kabul ederek  $x$  yönünde *tasarım* depremine göre çözülmüştür. Şekil 3.14'de  $x$  yönünde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formundaki eğriler ile modal kapasite diyagramı beraber çizilmiştir. "Yer değiştirme" çizgileri bu farklı iki deprem için  $S_{del}$  (elastik spektral yer değiştirme) değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.14 : X doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri

$X$  doğrultusunda *tasarım* depremi için:

$$C_{R1} = 1$$

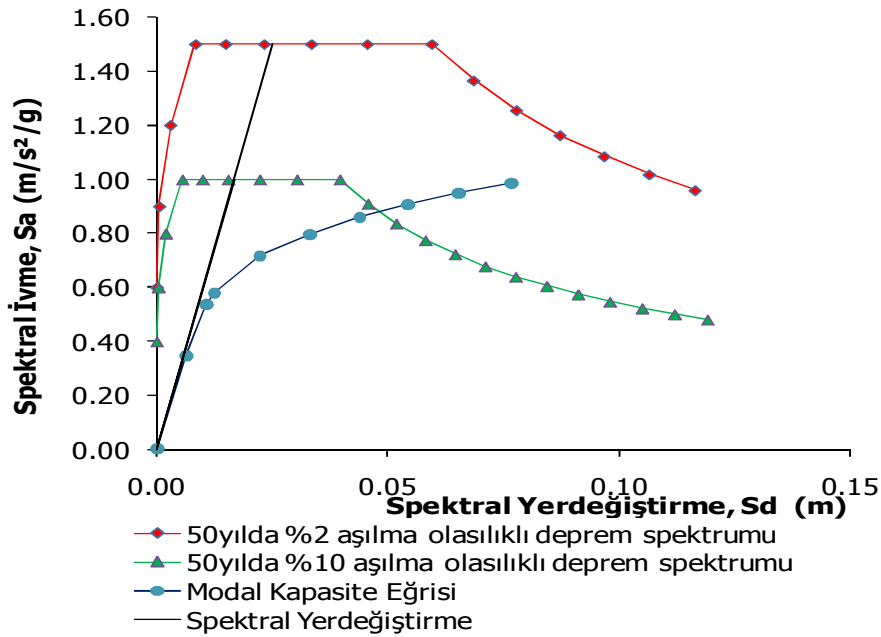
$$S_{d11} = C_{R1} S_{del} = 1 \times 0.058 = 0.058 \text{ m.}$$

$$U_{xN1} = d_1 (\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}) = 0.058 \times 1.4018 = 0.0813 \text{ m.}$$

Spektral ivme-spektral yer değiştirme grafiğinden 50 yılda %10 aşılma olasılığı olan *tasarım* depremi için gerekli spektral yer değiştirme okunur ve bu değer ile doğrusal

olmayan tepe yer değiştirmesinin sayısal değerine ulaşılır. Elde edilen tepe yer değiştirmesi SAP2000 de binamıza uygulanacak itme değeridir.

Aynı Şekilde binamız zemin sınıfını Z2 kabul ederek y yonunde *tasarım* ve *şiddetli* depreme göre çözülmüştür. Şekil 3.15’de y yonunde 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve %10 olan depremler için spektral ivme-spektral yer değiştirme formundaki eğriler ile modal kapasite diyagramı beraber çizilmiştir. ‘‘Yer değiştirme’’ çizgileri bu farklı iki deprem için  $S_{del}$  (elastik spektral yer değiştirme) değerlerini göstermektedir. Eşit yer değiştirme kuralı yönetmeliğin performans değerlendirilmesi bölümünde, çatlamış kesit rijitlikleri kullanılarak hesaplanmış hakim modun periyodu  $T_B$  değerinden büyük olan yapılar için geçerlidir. Teze konu olan okul binasının y doğrultusu için çatlamış kesit rijitlikleri kullanılarak hesaplanmış hakim modun periyodu, 0.3 sn olan  $T_B$  değerinden küçük olduğundan spektral yer değiştirmenin belirlenmesi için ardışık yaklaşım yapılmalıdır.



**Şekil 3.15 :** Y doğrultusunda talep ve kapasite eğrileri

Y doğrultusunda tasarım depremi için:

$$C_{R1} = 1.06 \text{ (ardışık yaklaşımla bulunan değer)}$$

$$S_{d11} = C_{R1} S_{de1} = 1.06 \times 0.017 = 0.01802 \text{ m.}$$

$$U_{yN1} = d_1 (\Phi_{yN1} \Gamma_{y1}) = 0.01802 \times 1.437821 = 0.026 \text{ m.}$$

Y doğrultusunda şiddetli deprem için:

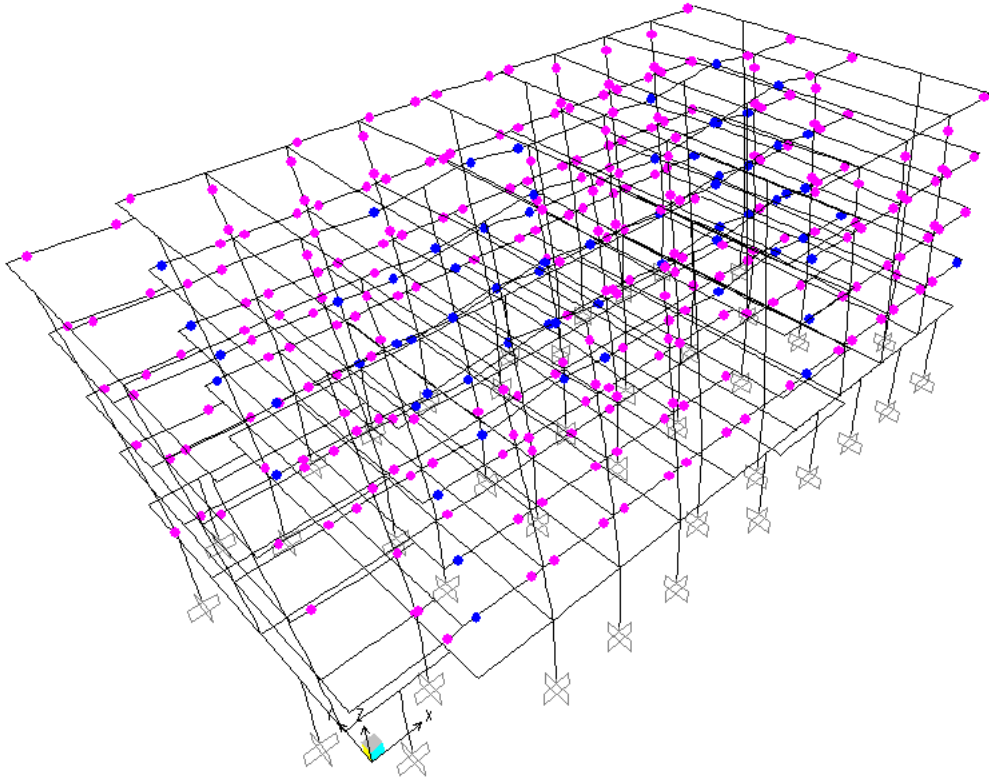
$$C_{R1} = 1.07 \text{ (ardışık yaklaşımla bulunan değer)}$$

$$S_{d1} = C_{R1} S_{de1} = 1.07 \times 0.025 = 0.02675 \text{ m.}$$

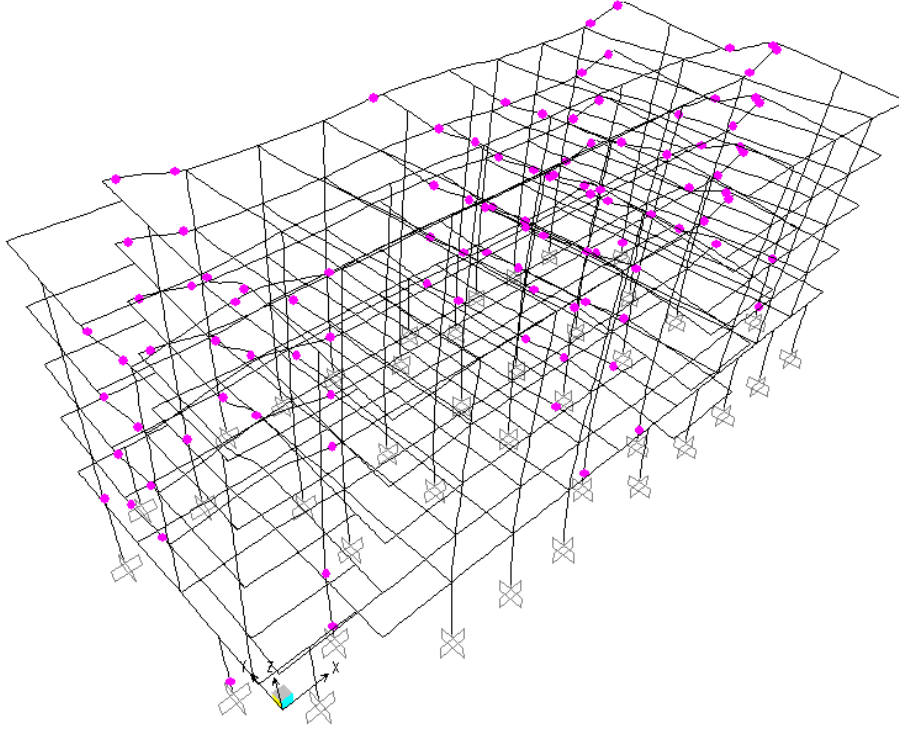
$$U_{yN1} = d_1 (\Phi_{yN1} \Gamma_{y1}) = 0.02675 \times 1.437821 = 0.038 \text{ m.}$$

**3.4.7 Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi**

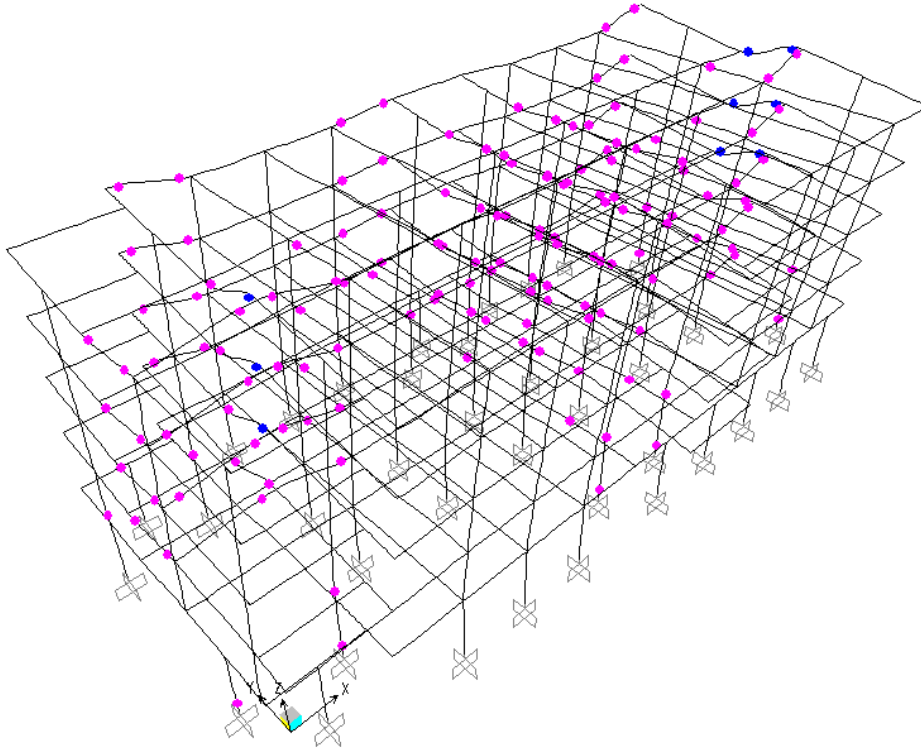
Yapı, Bölüm 3.4.6'da bulunan tepe noktası yer değiştirme değerlerine ulaşıncaya kadar itilmiştir. Bu işlem esnasında plastikleşen kesitler beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirmesi sayesinde belirli bir miktarda plastik dönme yapmışlardır. Kesit hasarları için şekil değiştirmelerin sınır değerleri Bölüm 2.6.6.3'de verilmiştir. Şekil 3.16, 3.17, ve 3.18'de  $x$  ve  $y$  doğrultularında tasarım depremi ve şiddetli deprem etkisinde oluşan plastik mafsallar görüntülenmiştir.



**Şekil 3.16 :** X doğrultusundaki tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



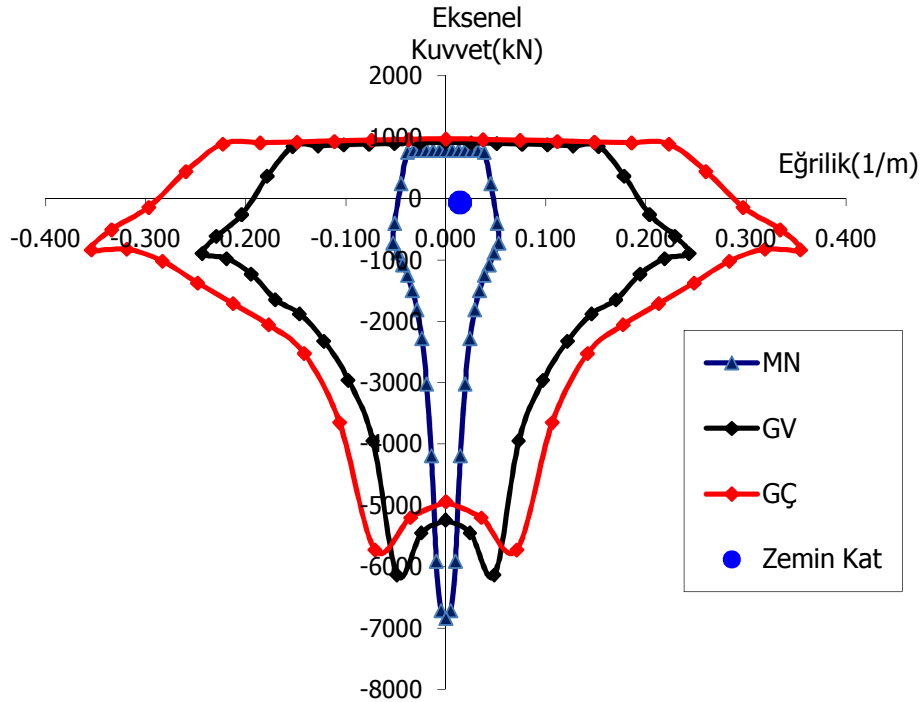
**Şekil 3.17 :** Y doğrultusundaki tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)



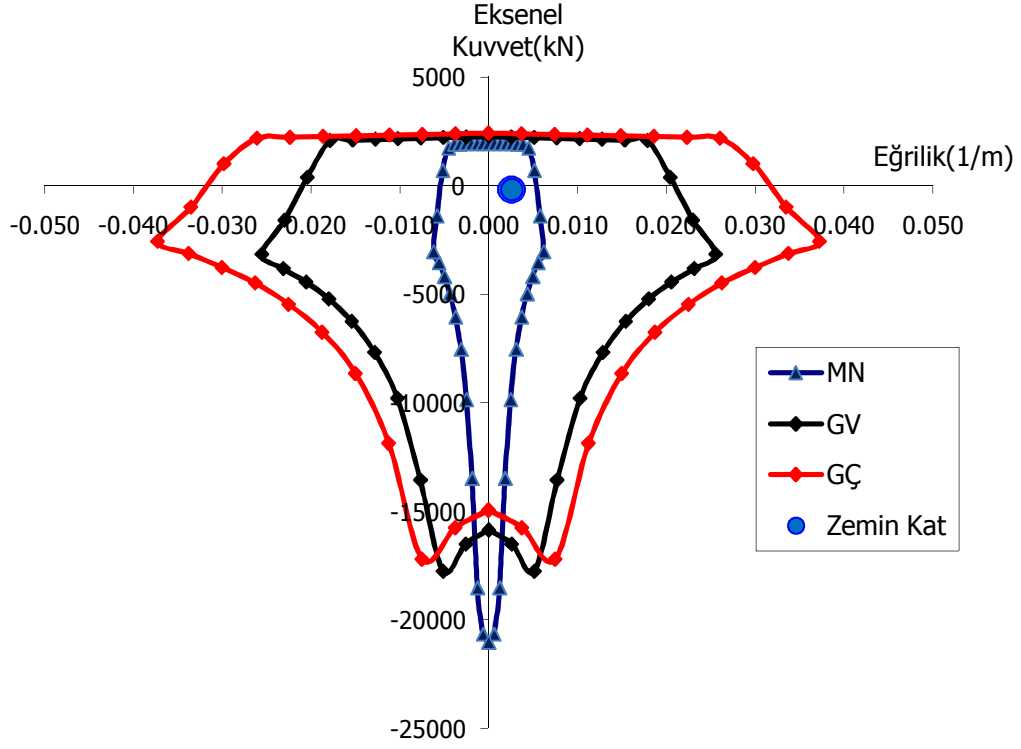
**Şekil 3.18 :** Y doğrultusundaki şiddetli deprem etkisiyle plastikleşen kesitler minimum hasar bölgesi (pembe), belirgin hasar bölgesi (mavi)

Kirişler için beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri ve dolayısıyla kesit hasarları, Bölüm 3.2.2’de tariflendiği üzere kiriş kesitindeki eğilme momenti ve toplam dönme esas alınarak programa girilen sınır değerler sayesinde, programdan doğrudan okunur. Kolon ve perdelerde 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 mafsalsal boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik eğriliğe akma eğriliği değerinin eklenmesi ile toplam eğrilik elde edilir.

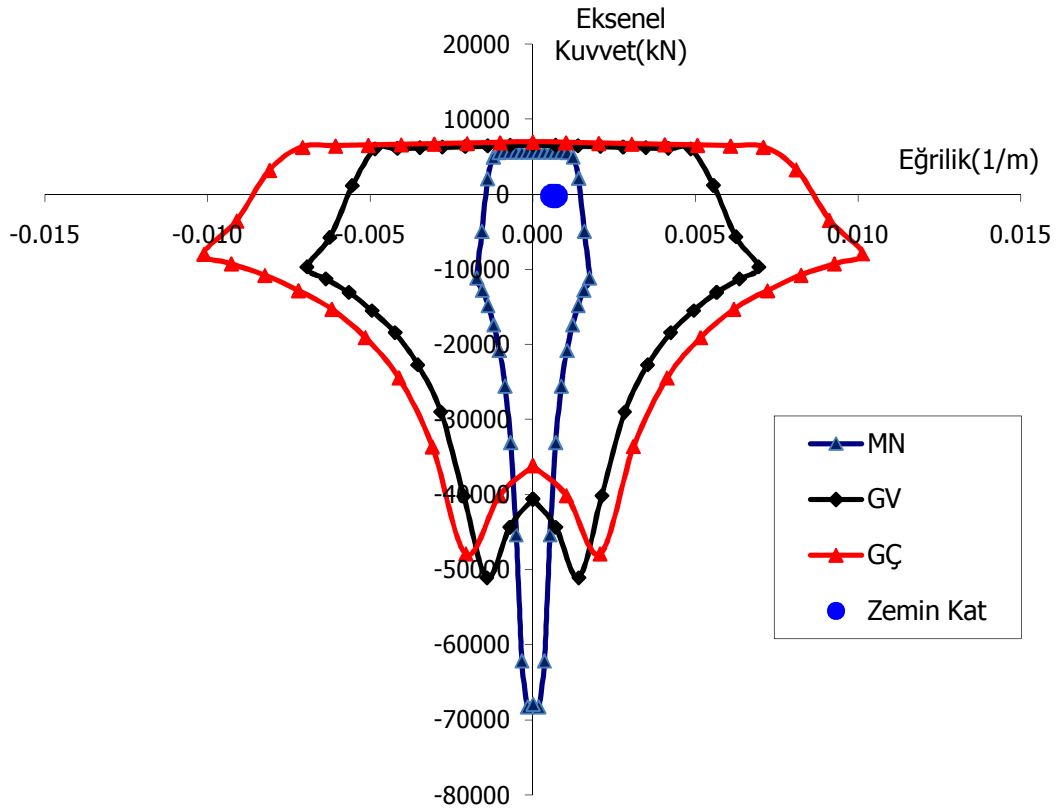
XTRACT’ten elde ettiğimiz kesit hasar sınırları ve SAP 2000’den okuduğumuz eksenel kuvvet ve plastik dönme değerleriyle yaptığımız hesaplarla tasarım depremi ve şiddetli deprem altında tüm kolon ve perdelerin minimum hasar sınırı bölgesinde kaldığı tespit edilmiştir. Şekil 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23 ve 3.24’de ilgili kesit için hasar sınırları ve kesitin hangi hasar bölgesinde bulunduğu gösterilmiştir.



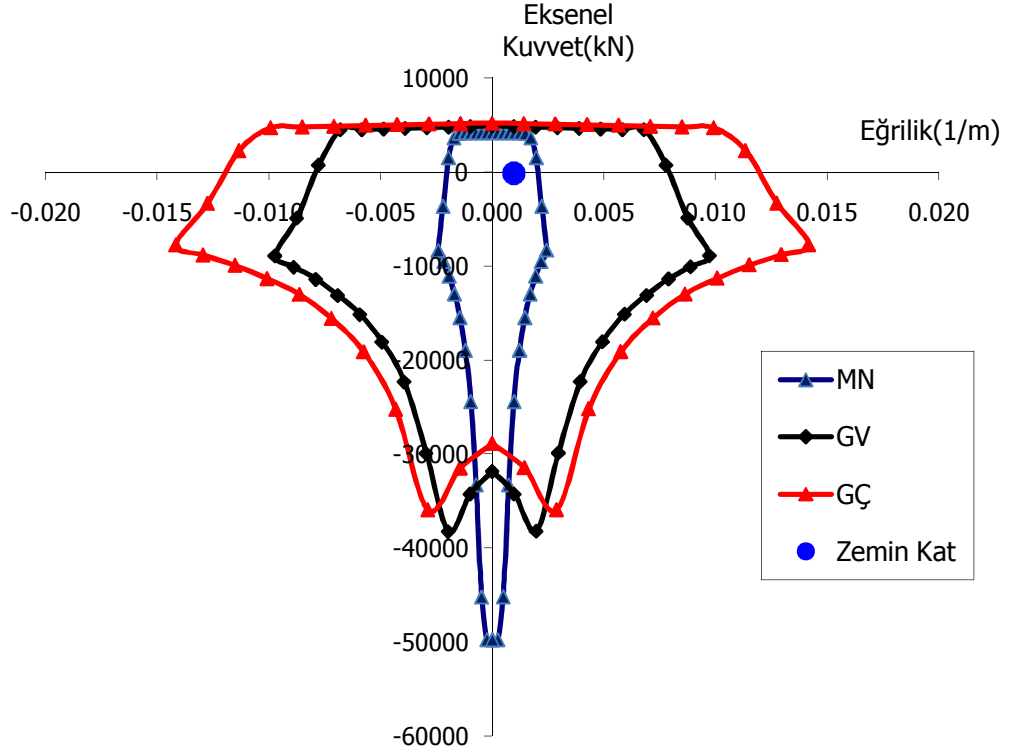
Şekil 3.19 : X doğrultulu tasarım depreminde 30x70 kolonu hasar durumu



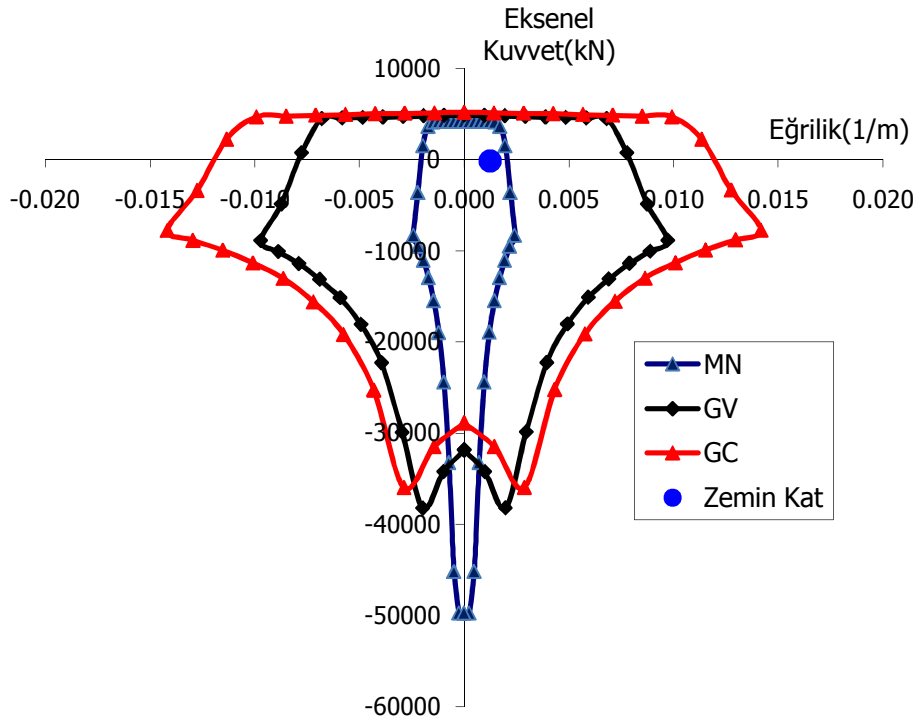
Şekil 3.20 : X doğrultulu tasarım depreminde 390×30 perdesi hasar durumu



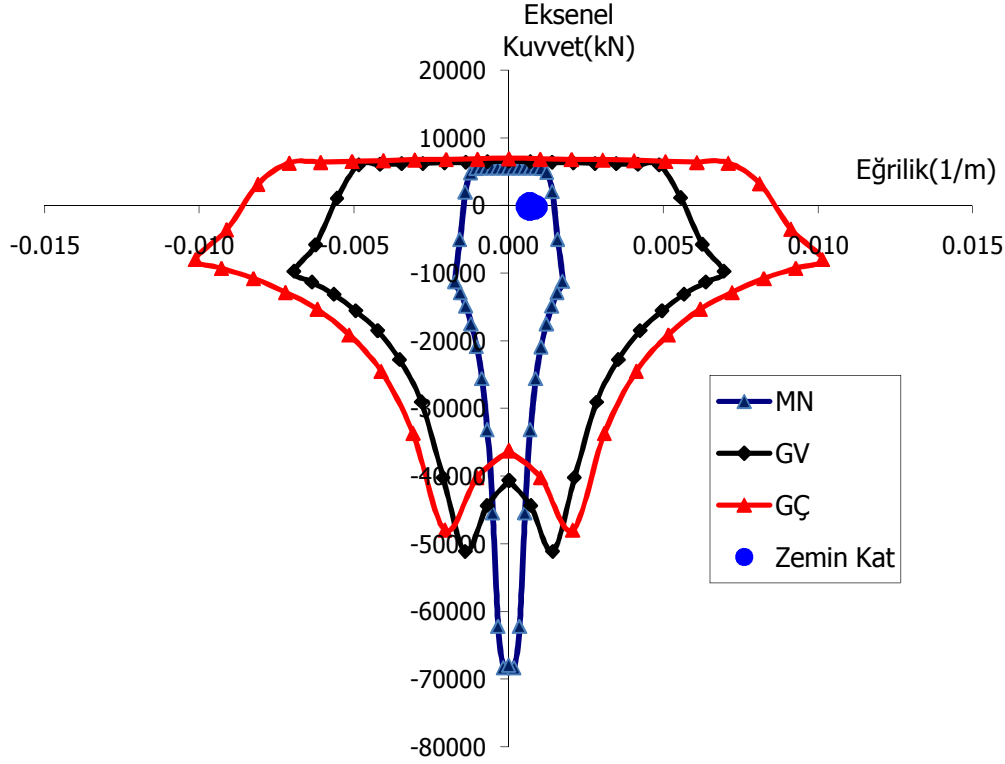
Şekil 3.21 : Y doğrultulu tasarım depreminde 30×780 perdesi hasar durumu



Şekil 3.22 : Y doğrultulu tasarım depremde 30x560 perdesi hasar durumu



Şekil 3.23 : Y doğrultulu şiddetli depremde 30x560 perdesi hasar durumu



**Şekil 3.24 :** Y doğrultulu şiddetli depremde 30×780 perdesi hasar durumu

Kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kirişin genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin  $\frac{3}{4}$ 'ünden daha az olmaması durumunda, kolon-kiriş birleşimi kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanacaktır. Bu koşulları sağlamayan tüm birleşimler, kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanacaktır [1]. Binamızda tüm kolon-kiriş birleşimleri kuşatılmamış birleşimdir. Betonarme kolon-kiriş birleşimlerinde tüm sınır durumları için birleşime etki eden ve denklem 3.11'den hesaplanacak kesme kuvvetlerinin kuşatılmış kesitler için denklem 3.9 ve kuşatılmamış kesitler için denklem 3.10'de verilen kesme dayanımlarını aşmaması gerekir. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda bu birleşim, gevrek olarak hasar gören eleman olarak kabul edilecektir.

$$V_e \leq 0.60 b_j h f_{cm} \quad (3.9)$$

$$V_e \leq 0.45 b_j h f_{cm} \quad (3.10)$$

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{S1} + A_{S2}) - V_{istem} \quad (3.11)$$

Binamızda kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği olduğu hesaplanmış ve Çizelge 3.9'da zemin kat için  $x$  doğrultusundaki depremde birleşim bölgelerinin

yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.  $V_{istem}$  SAP 2000'den  $x$  doğrultusundaki tasarım depremi için okunmuştur.  $A_{s1}$  kolon-kiriş düğüm noktasının bir tarafında, kirişin negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanıdır.  $A_{s2}$  kolon-kiriş düğüm noktasının  $A_{s1}$ 'e göre öbür tarafında, kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanıdır. Bu denklemdeki  $b_j$  ise göz önüne alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonla aynı genişlikte olması veya kolonun her iki yanından da taşması durumunda kolon genişliği, aksi durumda kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarlarına olan uzaklıklardan küçük olanının iki katıdır.

**Çizelge 3.9** : Zemin kat kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme kontrolü

Kolon	$V_{istem}$	$A_{s1}+A_{s2}$	$V_e$	$0.45 b_j h f_{cd}$
	kN	mm <sup>2</sup>	kN	kN
S1	70.58	864	383.02	1012.5
S2	71.53	1172	543.77	1012.5
S3	69.03	971	440.75	1012.5
S4	90.08	1326	606.07	1012.5
S5	89.53	1326	606.62	1012.5
S6	69.27	971	440.51	1012.5
S7	64.12	971	445.66	1012.5
S8	66.01	971	443.77	1012.5
S9	61.24	971	448.54	1012.5
S10	69.09	1078	496.86	1012.5
S11	82.24	1433	670.09	1012.5
S12	82.09	1433	670.24	1012.5
S13	83.27	1433	669.06	1012.5
S14	83.08	1433	669.25	1012.5
S15	68.19	971	441.59	1012.5
S16	64.08	971	445.70	1012.5
S17	68.09	971	441.69	1012.5
S18	64.07	971	445.71	1012.5
S19	75.29	1078	490.66	1012.5
S20	88.48	1326	607.67	1012.5
S21	89.15	1326	607.00	1012.5
S22	68.12	971	441.66	1012.5

Kolonların kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması işlemiyle yapılır. Binamızda kolonların yeterli kesme güvenliği olduğu hesaplanmış ve Çizelge 3.10'da x doğrultulu tasarım depremi etkileri altında hesaplanmış zemin kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılarak kolonların yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

**Çizelge 3.10 : Zemin kat kolonlarının x doğrultusu için kesme güvenliği**

Kolon	$V_{istem}$	$A_{sw}f_{ywm} d/s$
	kN	kN
S1	70.58	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S2	71.53	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S3	69.03	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S4	90.08	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S5	89.53	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S6	69.27	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S7	64.12	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S8	66.01	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S9	61.24	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S10	69.09	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S11	82.24	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S12	82.09	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S13	83.27	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S14	83.08	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S15	68.19	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S16	64.08	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S17	68.09	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S18	64.07	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S19	75.29	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S20	88.48	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S21	89.15	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S22	68.12	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$

Perdelerin kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması işlemiyle yapılır. Binamızda perdelerin yeterli kesme güvenliği olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 3.11’de  $x$  doğrultulu tasarım depremi etkileri altında hesaplanmış zemin kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılarak perdelerin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

**Çizelge 3.11 : Zemin kat perdelerinin  $x$  doğrultusu için kesme güvenliği**

Perde	$V_{istem}$	$A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywm})$
	kN	kN
P1	302.65	$300 \times 5600(0.65 \times 1.725 + 0.00203 \times 420) / 1000 = 3316.07$
P2	389.81	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$
P3	379.68	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$
P4	1561.48	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P5	1549.97	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P6	299.77	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P7	289.65	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P8	296.97	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P9	283.92	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P10	1496.63	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P11	1556.98	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P12	287.98	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$
P13	235.49	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$

Kirişlerin kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması işlemiyle yapılır. Binamızda kirişlerin yeterli kesme güvenliği olduğu hesaplanmış Çizelge 3.12’de  $x$  doğrultulu tasarım depremi etkileri altında hesaplanmış zemin kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılarak kirişlerin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

**Çizelge 3.12 : Zemin kat kirişleri x doğrultusu için kesme güvenliği**

Kiriş	$V_{istem}$ kN	$A_{sw} f_{ywm} d/s$ kN
K103	92.32	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K104	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K105	95.31	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K106	113.04	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
MK1	128.55	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
MK2	147.99	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K108	115.38	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K109	92.23	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K110	92.45	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K111	92.18	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K113	122.67	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K116	138.47	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K117	141.42	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K118	138.64	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K119	109.17	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K120	148.20	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K121	137.70	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K122	107.62	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K123	119.75	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K126	138.18	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K127	141.95	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K128	138.55	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K129	108.83	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K130	147.80	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K131	137.94	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K132	107.62	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K133	82.48	50.3x2x420x560/200/1000=118.31
K133A	75.23	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K136	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K137	92.00	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K138	92.35	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K139	92.07	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K140	80.69	50.3x2x420x560/200/1000=118.31
K140A	125.05	50.3x2x420x960/150/1000=270.41
K141	101.19	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K142	92.22	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K143	92.31	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K144	98.35	50.3x2x420x560/120/1000=197.18

### 3.4.8 Binanın farklı depremlerdeki performans seviyeleri

Binaların dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanan deprem performansları Çizelge 3.13’de gösterilmektedir [1].

**Çizelge 3.13 : 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) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
Can Güvenliği	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) 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
Göçme Durumu	Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

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. Çizelge 3.14 ve 3.15’te elemanların yüzde cinsinden hasar durumu gösterimi yapılmamıştır.

Okul binası tasarım depremi için  $x$  doğrultusunda kirişlerin %10’unundan fazlası BHB’ye geçtiği için istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamamaktadır. Yapı tasarım depremi etkisinde  $y$  doğrultusu için kirişlerin %10’unundan fazlası BHB’ne geçmediği ve kolonlar ve perdelerin hiçbiri BHB’ne geçmediği için istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. Okul binası şiddetli deprem için  $y$  doğrultusunda istenilen can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

**Çizelge 3.14 : Tasarım depremi için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	79	21	0	0
		2.Kat	66	34	0	0
		1.Kat	71	29	0	0
		Zemin Kat	55	45	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0

**Çizelge 3.15 : Şiddetli deprem için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	92	8	0	0
		2.Kat	92	8	0	0
		1.Kat	92	8	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0

Aynı okul binası Gözde Sezgin tarafından yüksek lisans tezinde incelenmiş ve Z2 zemin sınıfı şiddetli deprem için x doğrultusunda istenilen can güvenliği performans seviyesini sağladığı Çizelge 3.16’da görülmüştür [12].

**Çizelge 3.16 : Şiddetli deprem için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	19	81	0	0
		2.Kat	3	97	0	0
		1.Kat	3	97	0	0
		Zemin Kat	3	97	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
		Bodrum Kat	100	0	0	0

### 3.4.9 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi performans sonuçlarının değerlendirilmesi

2007 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış beş katlı perde ve çerçeve yatay taşıyıcılı betonarme bir okul binası için Z2 zemin sınıfına göre binanın performans

düzeyleri belirlenmiştir. Yapının tasarımı ve performans düzeylerinin belirlenmesi için SAP 2000 programından faydalanılmıştır. Moment eğrilik ve karşılıklı etki diyagramlarının hesaplanmasında XTRACT programı kullanılmıştır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi statik bir yöntem olmasıyla birlikte doğrusal olmayan bir yöntem olduğu için yapının deprem altındaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme istemi ve dolayısıyla kesit hasarları doğrudan belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Z2 zemin sınıfına göre doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem performansının değerlendirilmesi sonucunda Çizelge 3.13'te istenen performans düzeylerine göre değerlendirilmiştir. Yapı tasarım depremi etkisinde  $x$  doğrultusunda kirişlerin %10'unundan fazlası belirgin hasar bölgesine geçtiği için istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamamaktadır. Tasarım depremi etkisinde  $x$  yönünde Can Güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır. Ancak  $y$  doğrultusunda istenilen hemen kullanım performans seviyesini sağlamaktadır. Yapı şiddetli deprem etkisinde  $x$  ve  $y$  doğrultusunda kirişlerin hiçbirisi ileri hasar bölgesine geçmediği ve hiçbir katta kolon ve perdeler belirgin hasar bölgesine geçmediği için can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.

**Çizelge 3.17** : Artımsal eşdeğer deprem yükü hesabına göre sonuçların değerlendirmesi

Depremin Aşılma Olasılığı	Bina performans seviyesi			
	Hemen Kullanım		Can Güvenliği	
	$x$ Doğrultusu	$y$ Doğrultusu	$x$ Doğrultusu	$y$ Doğrultusu
50 Yılda %10	×	√		
50 Yılda %2			√	√

## **4. MEVCUT BİR OKUL BİNASININ PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERDEN ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

### **4.1 Giriş**

Bu bölümde, daha önce doğrusal elastik olmayan yöntemlerden “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü” yöntemi ile statik itme analizi yapılan okul binasının, yine doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi” kullanılarak performans düzeyi belirlenecektir. Binanın kullanım amacının okul olması dolayısı ile yine 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Hemen Kullanım, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan Can Güvenliği performans hedefini sağlaması öngörülmektedir. Bu amaçla okul binasına her iki doğrultuda, yönetmelikte ön koşulları belirtilen 3 farklı depremin ivme kayıtları uygulanmıştır.

Yapı elemanlarına plastik kesit özellikleri tanımlanmasından bölüm 3.4.3’te detaylı bahsedilmişti. Aynı bina modeli ile işlemlere devam edileceğinden bu bölümde tekrar değinilmemiştir. Binanın analizinde SAP 2000 programı kullanılmıştır ve uygun olan deprem kayıtlarının belirlenmesinde SeismoSignal yazılımından faydalanılmıştır [16]. Analiz sonuçlarına göre yapılacak kesit hasar durumlarının tespitinde XTRACT programı kullanılmıştır. İlk olarak, hesapta kullanılacak deprem kayıtlarının yönetmelik şartlarına uygunluğu denetlenmiştir.

### **4.2 Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi**

Deprem yönetmeliğine göre analizde kullanılacak, en az üç adet depremin, ivme kayıtlarının uyması gereken koşullar aşağıdaki gibidir:

- a) Kuvvetli yer hareketi süresi, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- b) Deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_0 g$  ‘den daha küçük olmayacaktır.
- c) Her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci

(hakim) periyot  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tasarım için bölüm 2.4'te tanımlanan spektrumun  $S_{ae}(t)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır [1].

Birinci koşula göre, depremlerin süresinin 0.546 sn.'nin beş katından ve 15sn.'den uzun olması gerekir. Doğal titreşim periyodunun beş katı 15sn.'den küçük olduğu için deprem süresinin alt limiti 15 saniyedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler bu büyüklükteki bir yapı için çözümü uzun süren analizler olduğundan, deprem kayıtlarından Imperial Valley-12140 ve Imperial Valley-12230 kayıtlarının ilk 35 saniyesi yapıya etkilmiştir. 20.94 saniye uzunluğundaki Erzincan deprem kaydının ise tamamı kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de bu kayıtlar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu tabloda EBYİ, en büyük yer ivmesi anlamına gelmektedir.

Deprem yönetmeliğindeki ikinci koşulun sağlanması için, deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_0$  g 'den daha büyük olması gerekmektedir. Sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değeri Çizelge 4.1'de verilen EBYİ (En Büyük Yer İvmesi) değerine eşittir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için ikinci şartın doğrulandığı aşağıda gösterilmiştir.

$$[425.30 + 344.52 + 583.97] / 3 = 451.26 \text{ cm/s}^2 > 392 \text{ cm/s}^2 = 0.4 \times 981 \text{ cm/s}^2$$

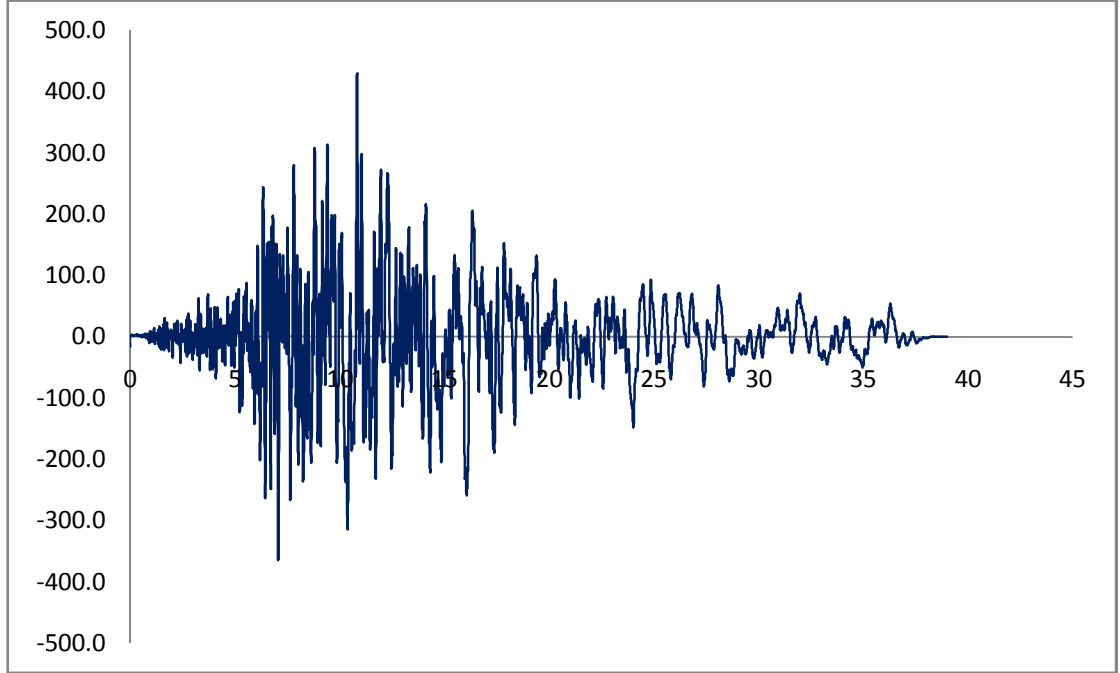
Koşulların dikkate alınabilmesi için birçok deprem kaydı incelenmiş Z2 yerel zemin sınıfı için tanımlanan elastik ivme spektrumu ile benzerlik gösteren deprem kayıtlarının özellikleri Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

**Çizelge 4.1 : Analizde kullanılan deprem kayıtları**

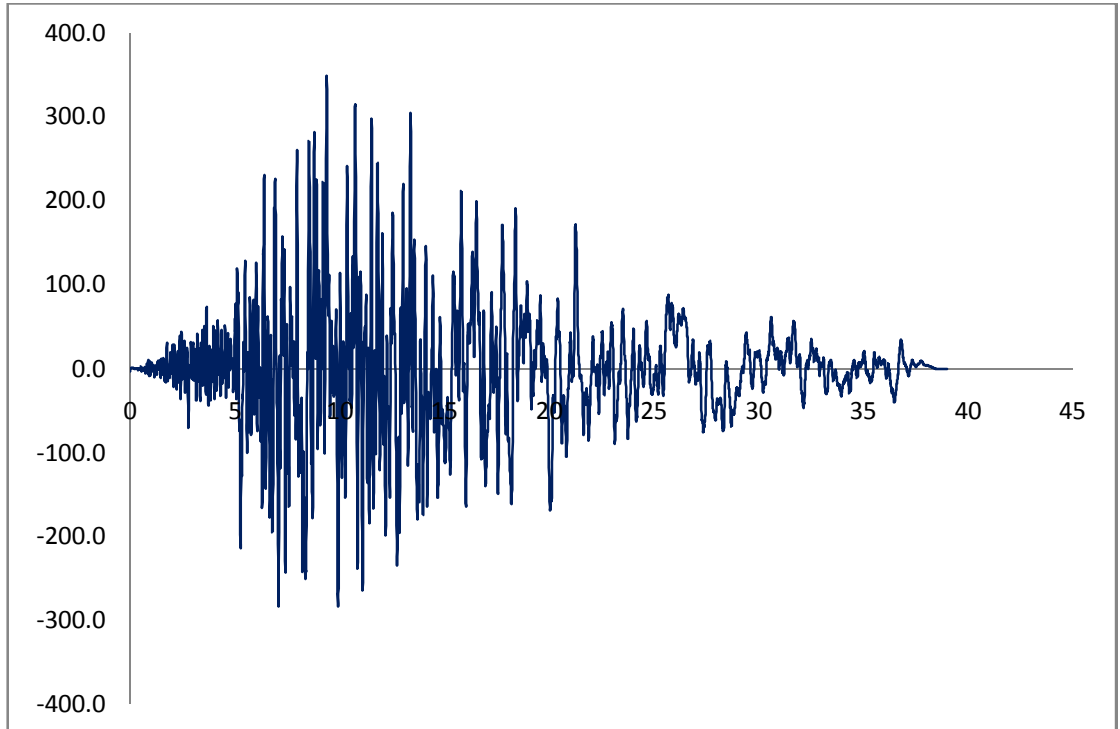
Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Arttırım Oranı	$\Delta T$ (s)	Süre (s)	EBYİ (cm/sec <sup>2</sup> )
Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	3.00	0.005	39.0	425.30
Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	3.00	0.005	39.0	344.52
Erzincan-TR	13.02.1992	Erzincan Meteoroloji İstasyonu	ERZ-EW	1.20	0.01	20.9	583.97

Belirlenen deprem kayıtları SeismoSignal programı yardımı ile düzeltilmiş ve spektral ivme-periyot geçmişine dönüştürülüp ivme spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Mevcut genlik değerleri ile doğrudan bu koşulları sağlamayan kayıtların genlik

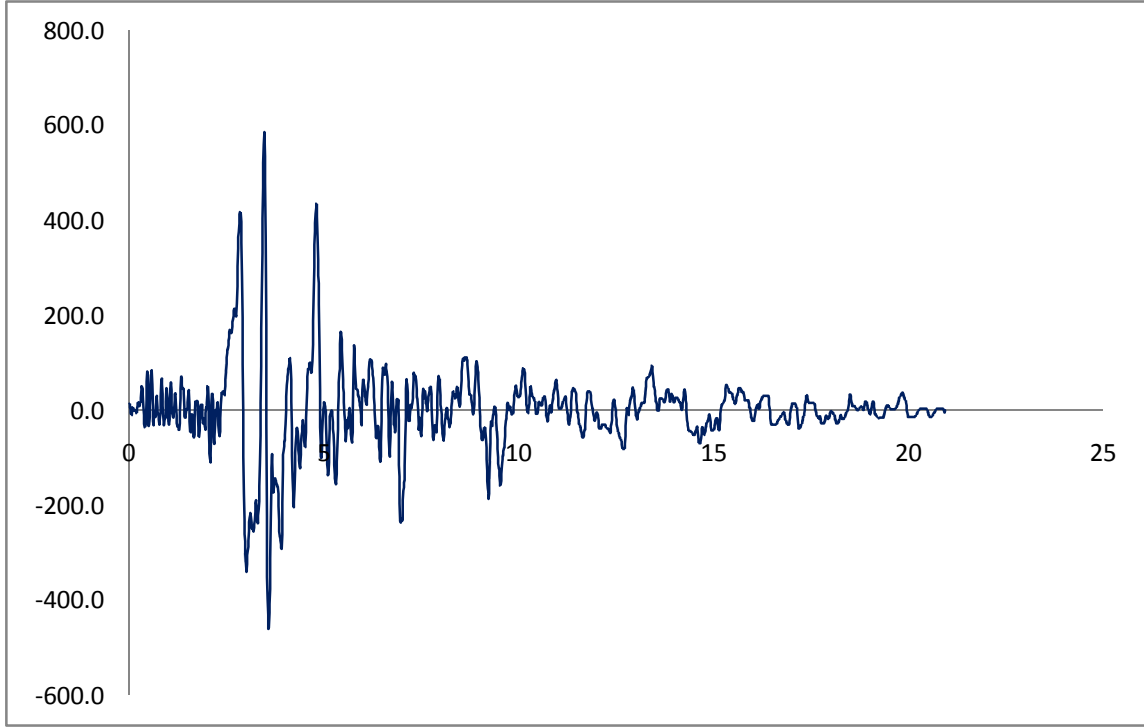
değerleri belirli bir büyütme katsayısı ile çarpılarak arttırılmıştır. Deprem kayıtları arttırılmış ivme zaman geçmişi Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1** : Imperial Valley-12140 deprem kaydı

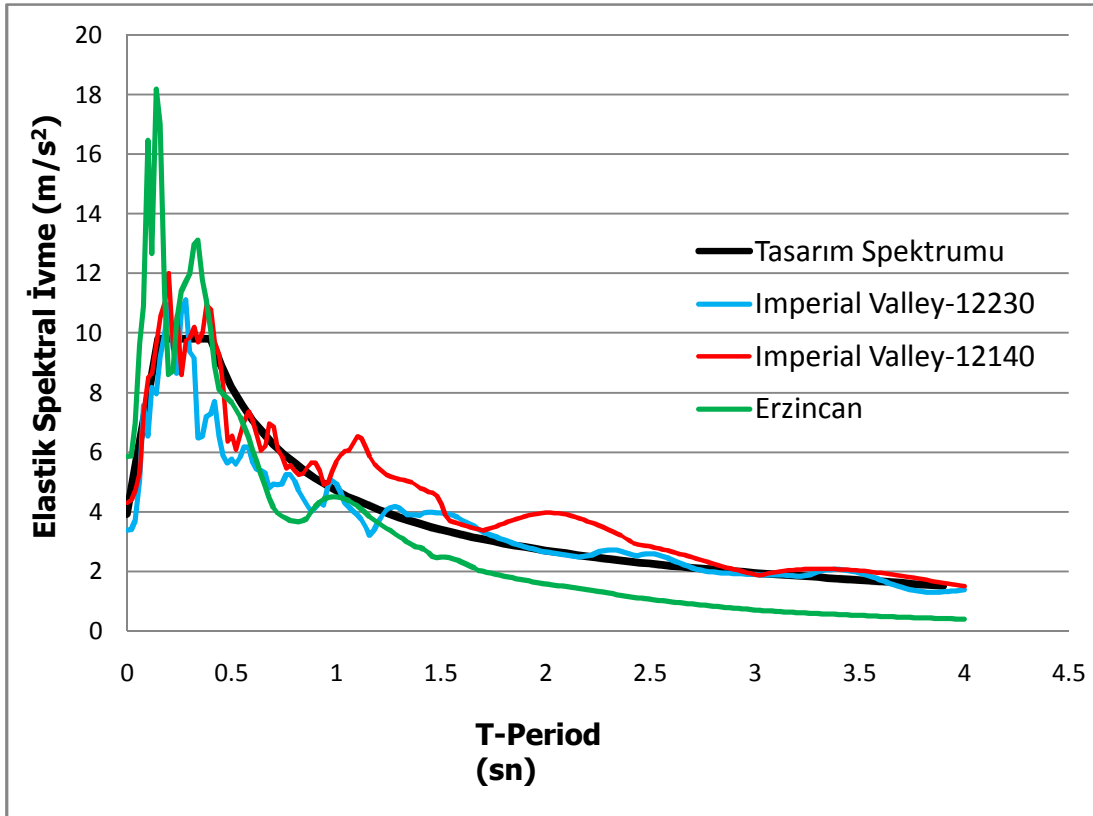


**Şekil 4.2** : Imperial Valley-12230 deprem kaydı



Şekil 4.3 : Erzincan deprem kaydı

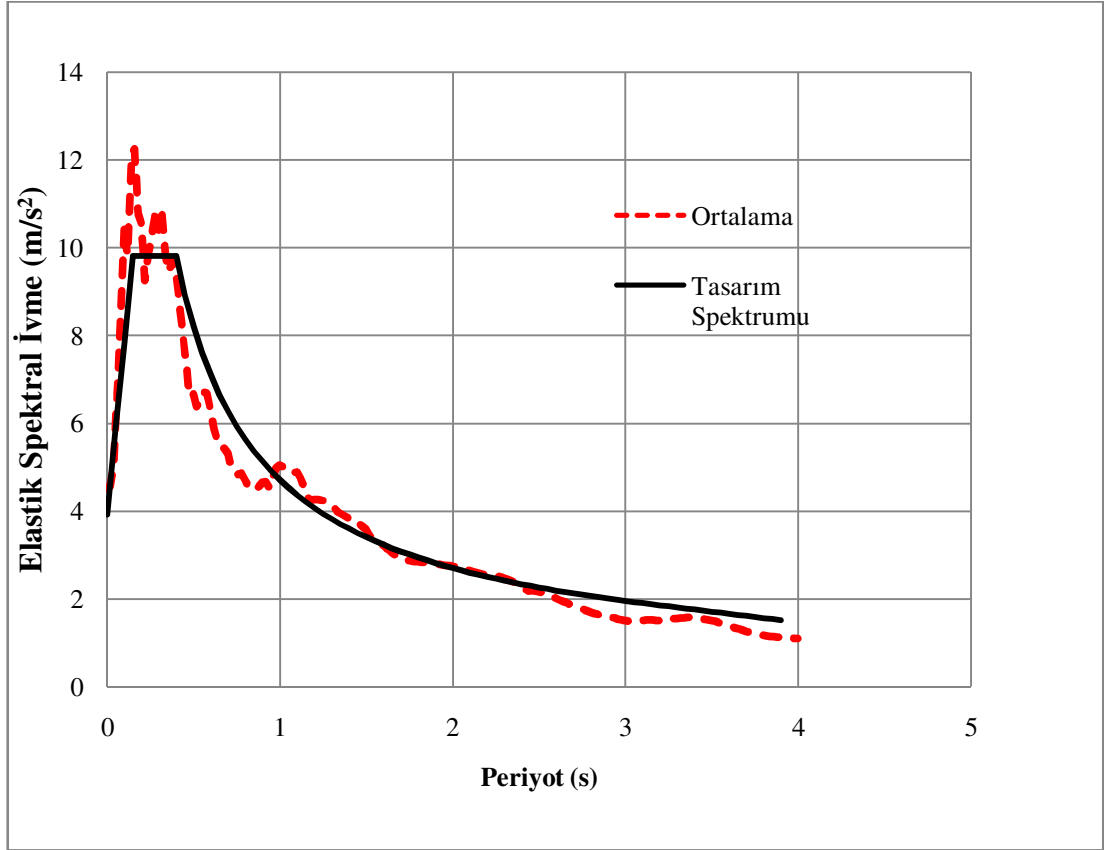
Spektral ivme-periyot geçmişine dönüştürülmüş deprem kayıtları ve elastik ivme spektrumu Şekil 4.4'te üst üste gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Elastik spektral ivme - periyot

Yapılan işlemler tasarım depremi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Şiddetli deprem için ise deprem kayıtlarının genlikleri 1.5 ile çarpılarak programa tanımlanacaktır. Çünkü tasarım depreminin 1.5 katı şiddetli depremin genliğine eşit kabul edilmektedir.

Ortalama değerleri alınan spektrumun  $S_{ae}(t)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmadığı Şekil 4.5'de açıkça gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Ortalama elastik spektral ivme – periyot

### 4.3 Belirlenen Yer Hareketleri İle Zaman Tanım Alanında Analiz

Çok serbestlik dereceli bir sistemin zamana bağlı kuvvet denklemi Denklem (4.1)'de olduğu gibi ifade edilebilir.

$$\mathbf{F}(t)_I + \mathbf{F}(t)_D + \mathbf{F}(t)_S = \mathbf{F}(t) \quad (4.1)$$

$\mathbf{F}(t)_I$ ,  $\mathbf{F}(t)_D$ ,  $\mathbf{F}(t)_S$  ve  $\mathbf{F}(t)$  kuvvet vektörleri t anı için sırasıyla; kat kütlelerine etkileyen atalet vektörü, viskoz sönüm vektörü, yapı tarafından taşınan atalet vektörü, uygulanan dış yüklerin vektörüdür. Denklem (4.1)'in ivme, hız ve yer değiştirme birleşenleri ile ifade edilmiş hali Denklem (4.2)'de görülmektedir.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t)_a + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t)_a + \mathbf{K}\mathbf{u}(t)_a = \mathbf{F}(t) \quad (4.2)$$

Burada  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  ve  $\mathbf{K}$  sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. Kütle matrisi kütlelerin katlarda toplandığı varsayımı ile oluşturulur. Rijitlik matrisi doğrusal olmayan analizde her mafsaldan sonra değişir ve bu değişim her hesap adımında göz önüne alınır. Sönüm matrisi ise yapıda meydana gelebilecek enerji kayıplarını temsil edecek şekilde oluşturulur. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz SAP 2000 programı tarafından yapılmıştır. Program doğrudan artım yöntemi ile verilen ivme kaydını matematik modele etkiler. Bu yöntemde sönüm matrisi kütle ve rijitlik matrisinin lineer kombinasyonu olarak her adımda üretilir. Rayleigh bu sönüm matrisinin Denklem (4.3)'te gösterildiği şekilde oluşturmuştur [17].

$$\mathbf{C} = \alpha_0\mathbf{m} + \alpha_1\mathbf{k} \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'te  $\alpha_0$  ve  $\alpha_1$  değerleri Denklem (4.4)'de verilen diklik koşulunu sağlayacak şekilde ayarlanan katsayılardır. Analizin başında bu değerler hesaplanıp programa girilebileceği gibi belirli bir periyod aralığında kritik sönümün katı olarak tanımlanan sönüm değerleri için program bu katsayıları otomatik olarak da üretebilmektedir [18]. 5 katlı bina için her bir doğrultuda Çizelge 3.3'de verilen kütle katılım oranlarına denk gelen periyodlar arasında kritik sönümün %5'i oranında sönüm tanımlanmıştır. 0.546s ve 0.0672s periyodları arasında tanımlanan bu sönüm değeri kullanılarak  $\alpha_0$  ve  $\alpha_1$  katsayıları program tarafından hesaplanır. Analiz başladıktan sonra sistem rijitliği değiştiğinde  $\alpha_0$  ve  $\alpha_1$  katsayıları yeniden hesaplanır.

$$\Phi_m^T \mathbf{C} \Phi_n = 0 \quad m \neq n \quad (4.4)$$

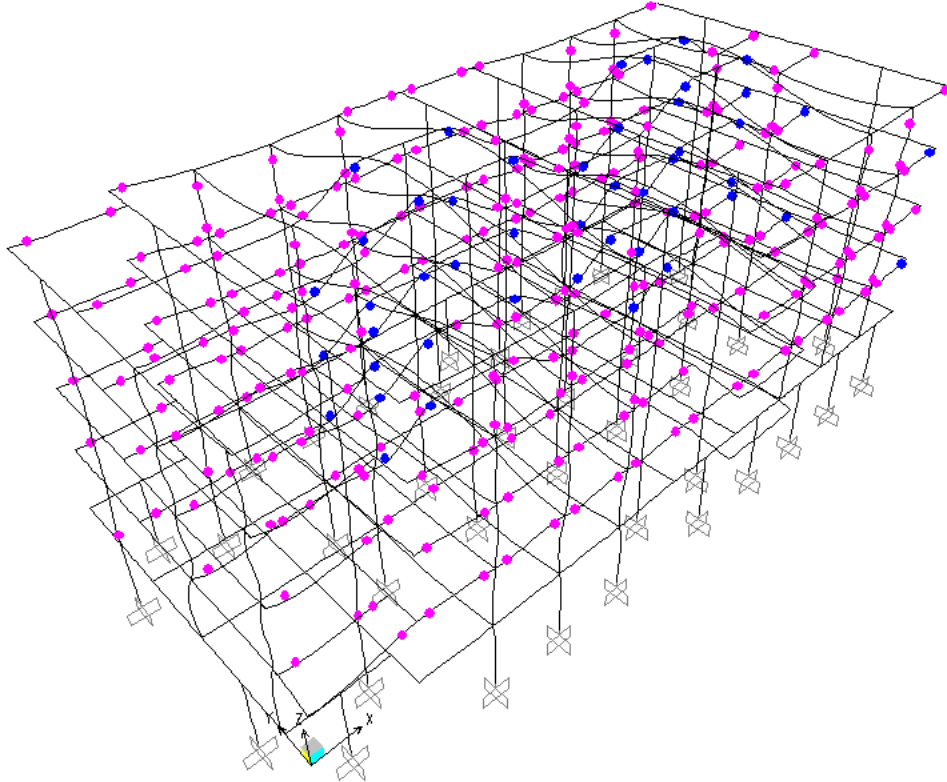
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz SAP 2000 programı tarafından yapılmıştır. Deprem Yönetmeliği koşullarına uygun olarak tespiti yapılmış deprem kayıtları programa fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizden önce yine kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmış ve bu analizin sonuçları zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Tasarım depremi için ve şiddetli deprem için X ve Y doğrultusunda 3 farklı deprem kaydı için toplam 12 adet analiz işlemi yapılmıştır. Analiz sonucunda Deprem Yönetmeliği uyarınca üç deprem kaydı için işlem yapıldığından sonuçlardan olumsuz olanlarının alınması gerekmektedir. Burada her deprem kaydı için sonuçlar

incelendiğinde Erzincan kaydının en olumsuz durumu Imperial Valley-12230 kaydının en etkisiz durumu ortaya çıkardığı görülmüştür.

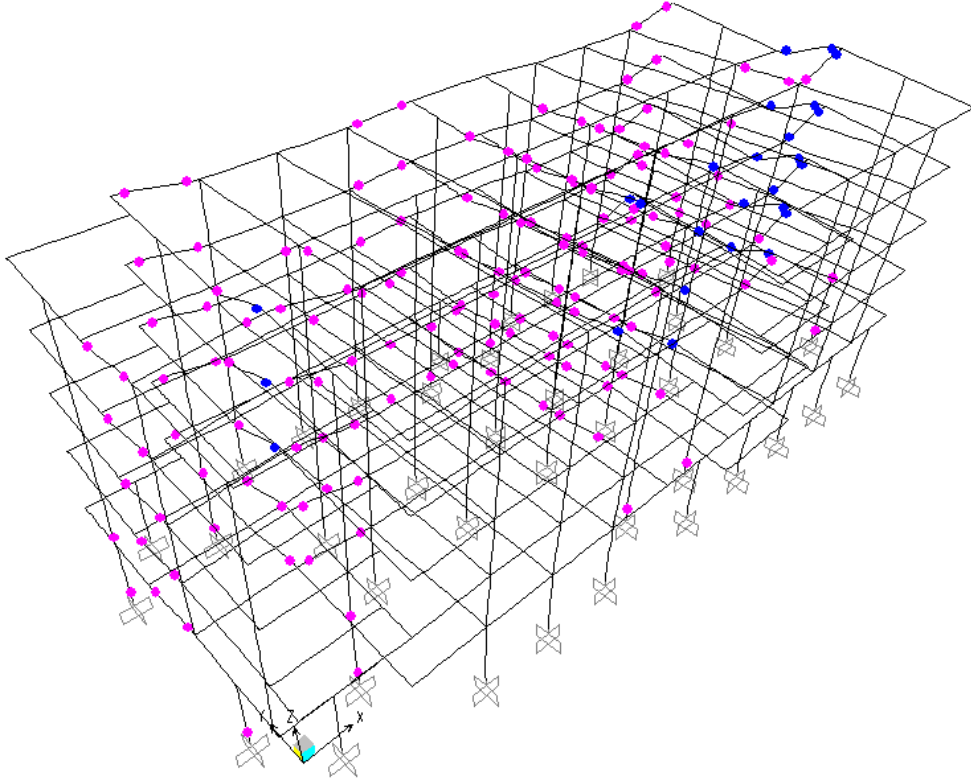
Oluşan plastik mafsallar Sap 2000 ekran görüntüsü olarak her iki yönde verilmiştir. Burada pembe renk ile gösterilen durum minimum hasar sınırını mavi renkle ifade edilen durum belirgin hasar sınırını ifade etmektedir.

#### 4.4 Yapı Elemanlarının Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi

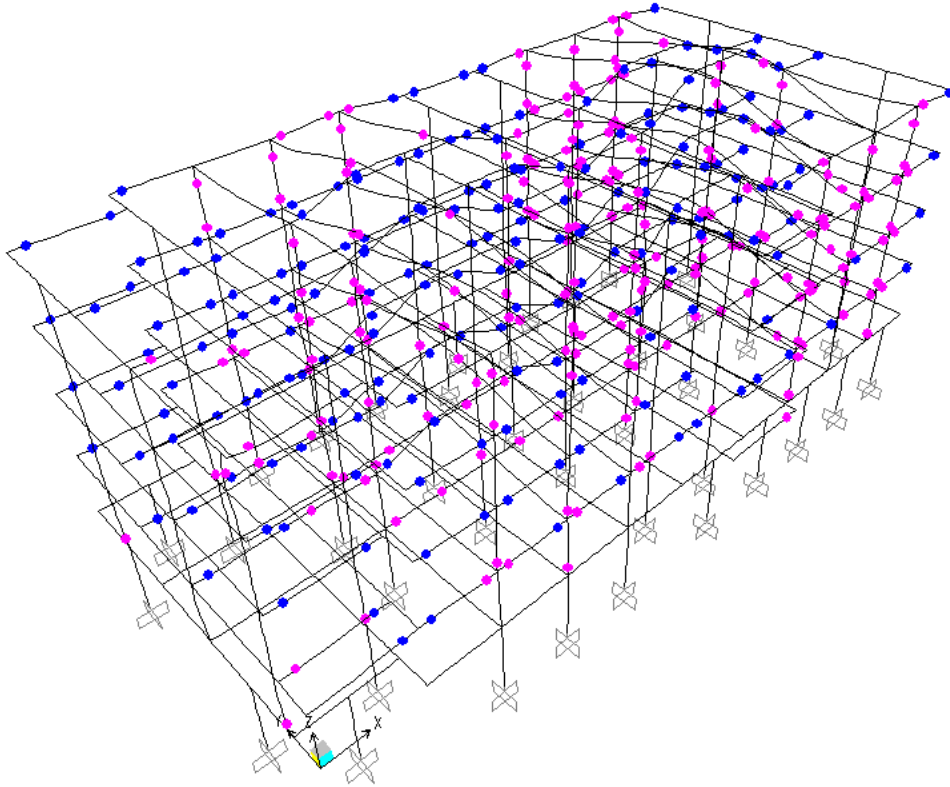
Deprem yönetmeliği zaman tanım alanında hesap yöntemi için öngörülen şartları sağlayan 3 adet kayıt SAP 2000 programında binamıza her iki yönde uygulanmıştır. Bu işlem esnasında plastikleşen kesitler beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirmesi sayesinde belirli bir miktarda plastik dönme yapmışlardır. Kesit hasarları için şekil değiştirmelerin sınır değerleri Bölüm 2.6.6.3’de verilmiştir. Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9’da x ve y doğrultularında tasarım depremi ve şiddetli Erzincan depremi etkisinde oluşan plastik mafsallar görüntülenmiştir.



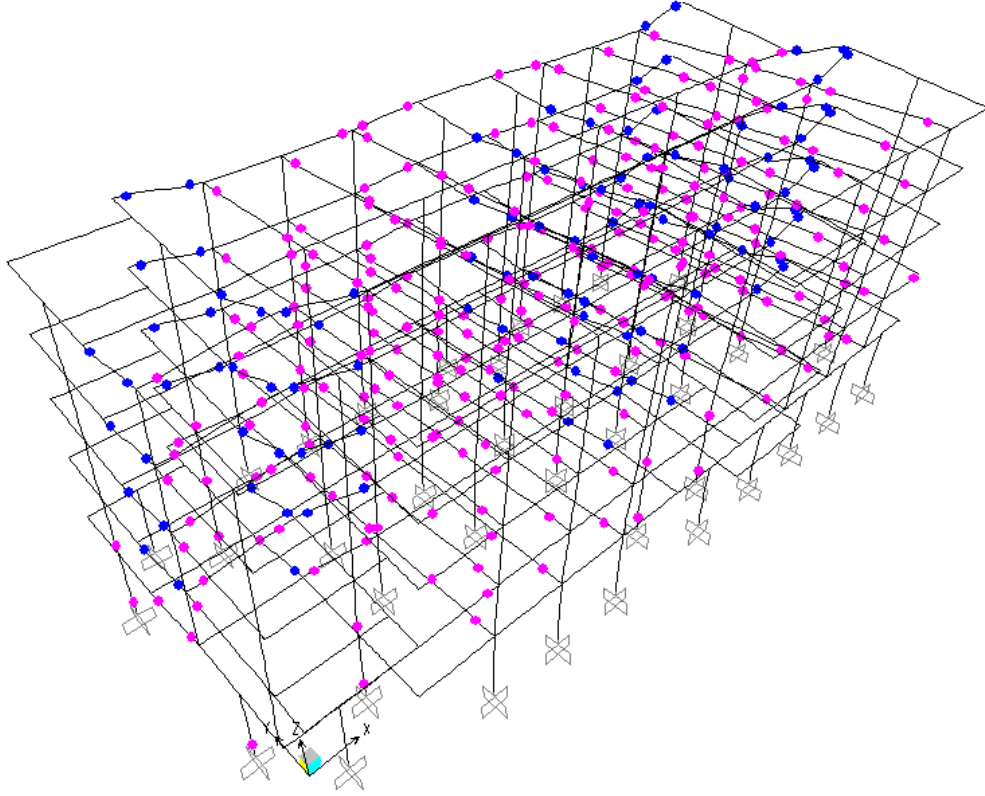
**Şekil 4.6 :** X doğrultusundaki Erzincan tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi)



**Şekil 4.7 :** Y doğrultusundaki Erzincan tasarım depremi etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi)



**Şekil 4.8 :** X doğrultusundaki Erzincan şiddetli deprem etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi)

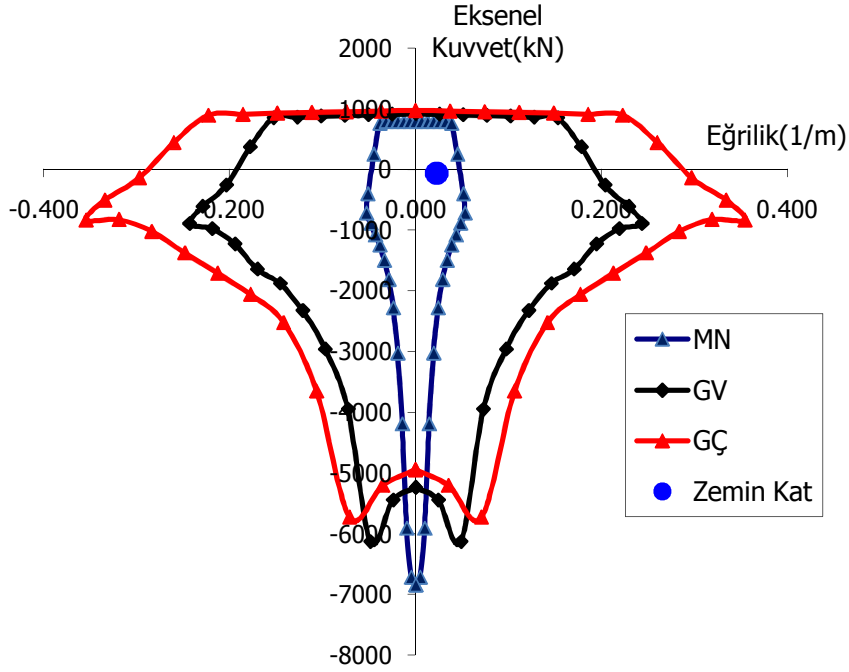


**Şekil 4.9 :** Y doğrultusundaki Erzincan şiddetli deprem etkisiyle plastikleşen kesitler: Minimum hasar bölgesi (pembe), Belirgin hasar bölgesi (mavi)

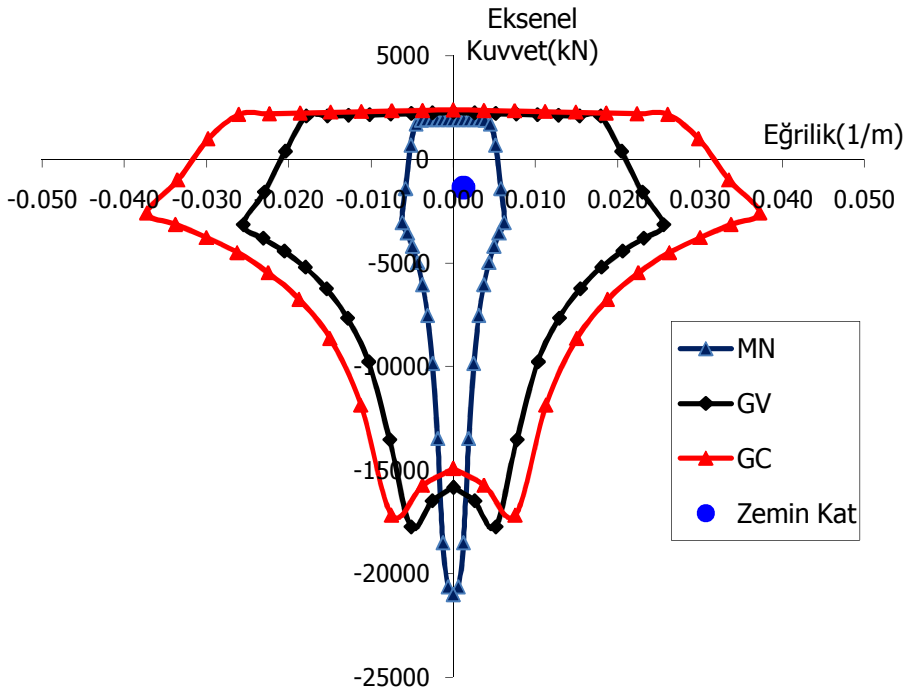
Kirişler için beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri ve dolayısıyla kesit hasarları, Bölüm 3.2.2’de tariflendiği üzere kiriş kesitindeki eğilme momenti ve toplam dönme esas alınarak programa girilen sınır değerler sayesinde, programdan doğrudan okunur. Kolon ve perdelerde ise birim şekil 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 mafsallara bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik eğriliğe akma eğriliği değerinin eklenmesi ile toplam eğrilik elde edilir.

XTRACT’ten elde ettiğimiz kesit hasar sınırları ve SAP2000’den okuduğumuz eksenel kuvvet ve plastik dönme değerleriyle yaptığımız hesaplarla tasarım depremi etkisi altında hiç bir kolon ve perdenin minimum hasar sınırını geçmediğini gördük.

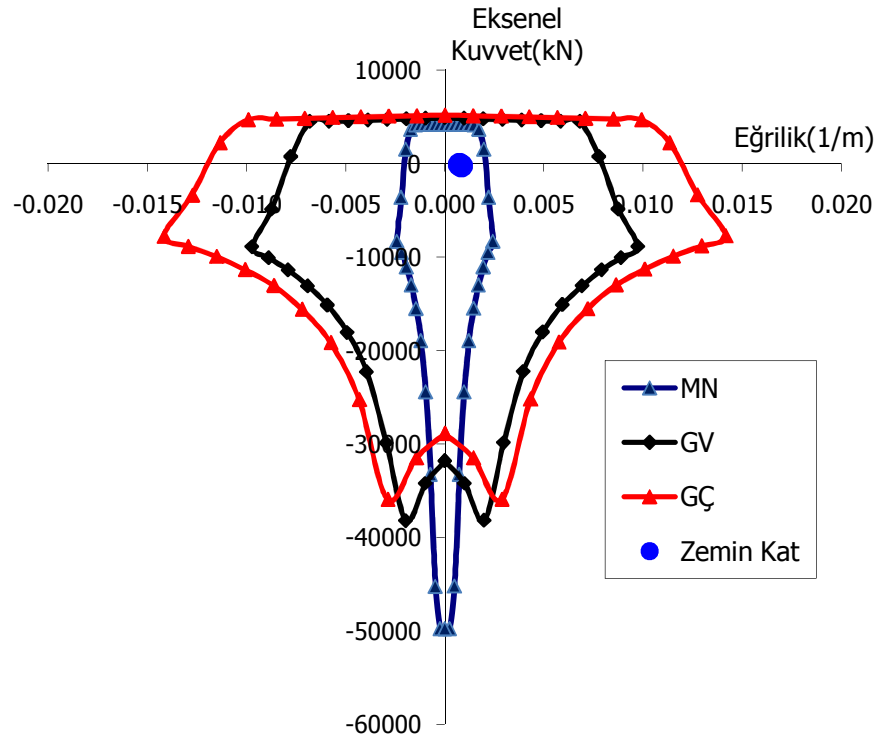
Şiddetli deprem etkisi altında zemin kat ve 3.kat S30x60 kolonlarının bazıları ve zemin kat P390x30 perdesi dışında hiç bir kolon ve perdenin minimum hasar sınırını geçmediğini gördük. Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da ilgili kesit için hasar sınırları ve kesitin hangi hasar bölgesinde bulunduğu gösterilmiştir.



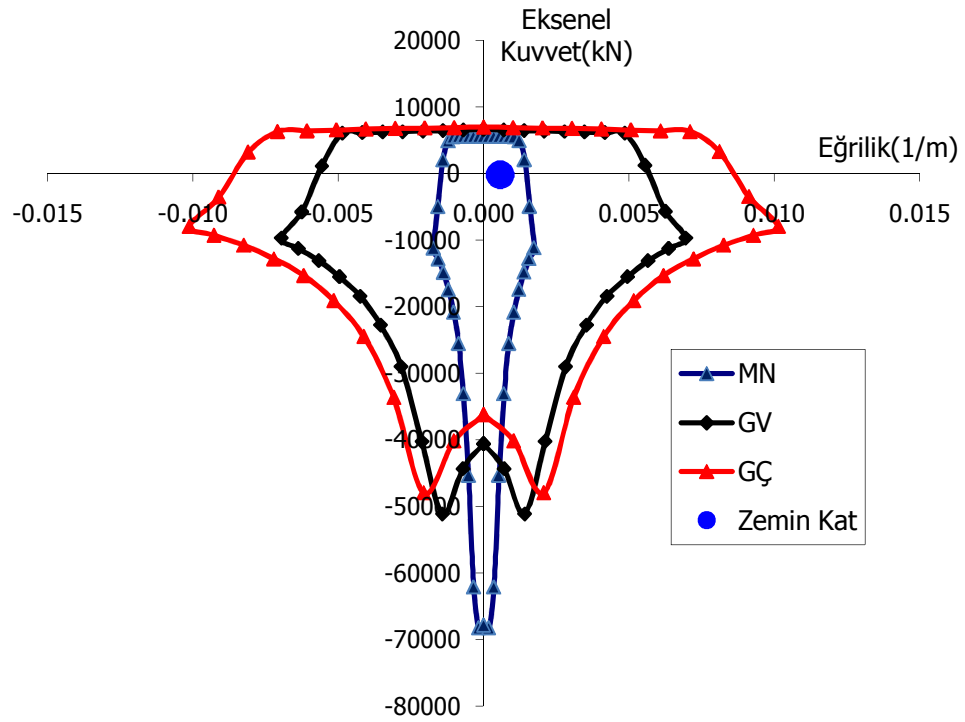
Şekil 4.10 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30x70 kolonu hasar durumu



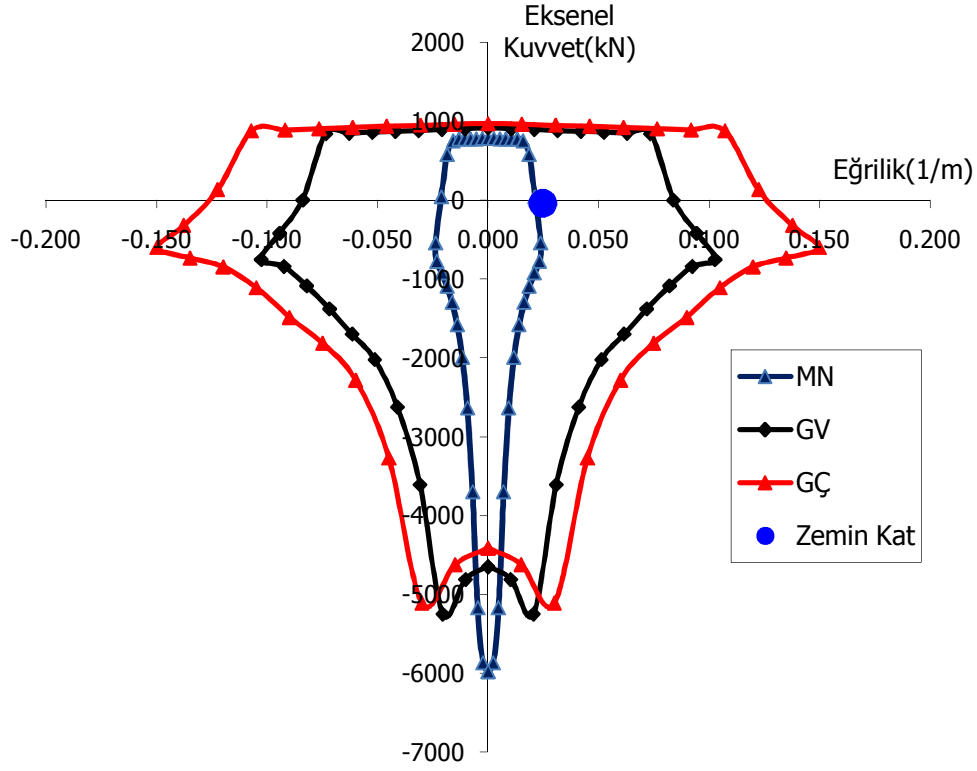
Şekil 4.11 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30x390 perde hasar durumu



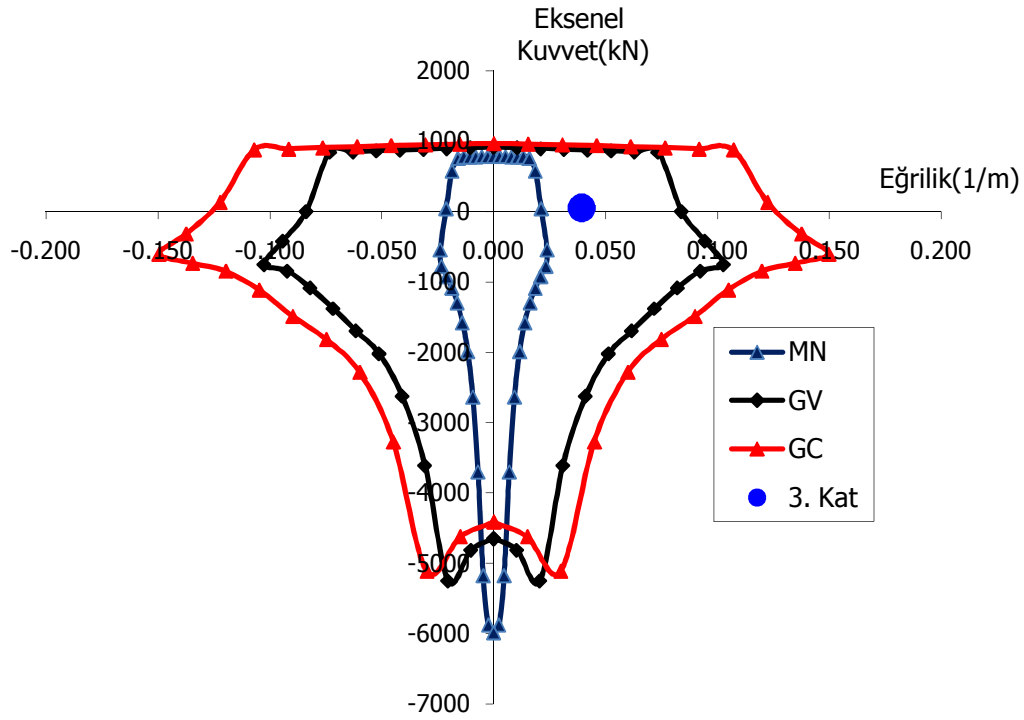
Şekil 4.12 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30x560 perde hasar durumu



Şekil 4.13 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30x780 perde hasar durumu



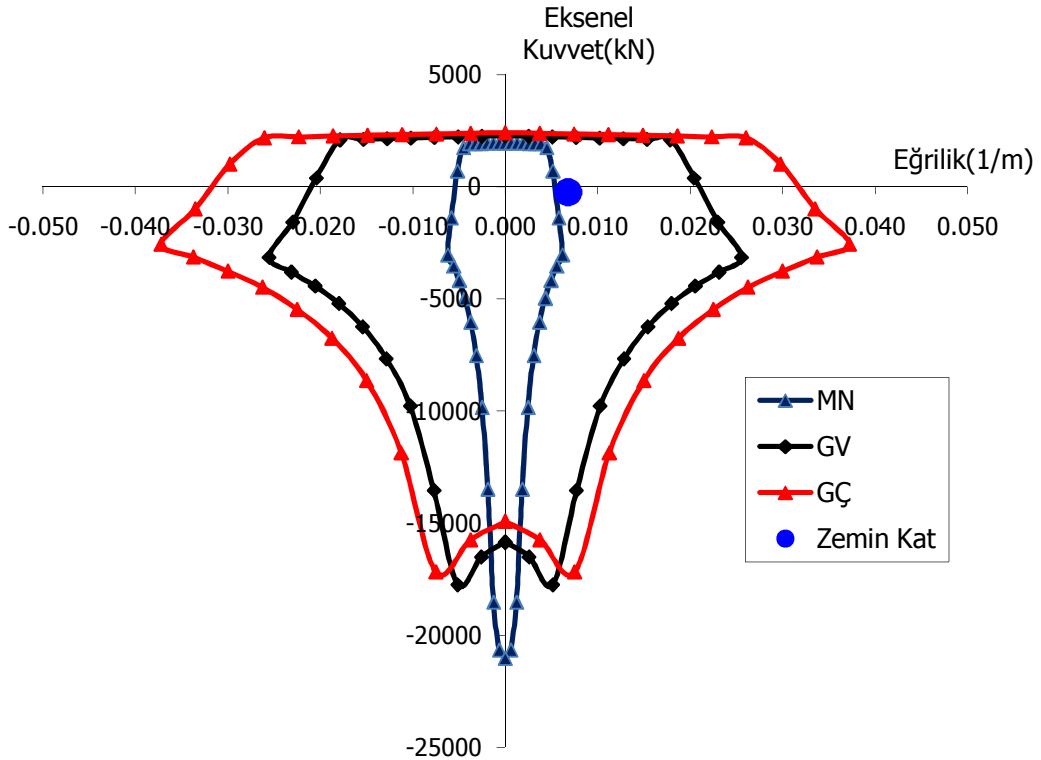
Şekil 4.14 : X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30x60 kolonu hasar durumu



Şekil 4.15 X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde 30x60 kolonu hasar durumu

Kolonların kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması işlemiyle yapılır. Binamızda kolonların yeterli kesme güvenliği olduğu hesaplanmış ve Çizelge 4.2’de  $x$  doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış zemin kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılarak kolonların yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

Zemin kat ve 3. katta S30x60 kolonlarının bir kısmı belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Bu kesitlerin belirgin hasar bölgesine geçmesinde Erzincan deprem kaydı belirleyici olmuştur. Bu kolonlarının kesme kontrolü de, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleriyle karşılaştırılması işlemiyle yapılmıştır (Çizelge 4.2). Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi zemin katta tüm kolonlar kesit kapasiteleriyle karşılaştırılmış ve kesitlerin kesme kuvveti kapasitesi açısından yeterli olduğu gösterilmiştir. Aynı kontrol 3. kat kolonları için de yapılmış ve kesitlerin, kesme kuvveti açısından yeterli olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.16 :** X doğrultulu şiddetli Erzincan depreminde P390x30 hasar durumu

Erzincan şiddetli depremi etkisi altında zemin kat P390x30 perdesi kesit hasar sınırının belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Zemin kata ait P390x30 perdelerinin kesme kontrolü, bu kattaki P390x30 perdelerinin kesme kuvveti

istemlerinin kesit kapasiteleriyle karşılaştırılmasıyla bulunur. Bu hesaplamalar zemin kattaki tüm perdelerin için yapılmış olup Çizelge 4.3’de gösterilmektedir. Çizelgeden de açıkça görüldüğü gibi perde kesitleri kesme kuvveti açısından yeterlidir.

**Çizelge 4.2 :** Zemin kat kolonlarının x doğrultusu için kesme güvenliği

Kolon	$V_{istem}$	$A_{sw}f_{ywm} d/s$
	kN	kN
S1	98.63	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S2	93.44	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S3	80.52	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S4	101.75	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S5	101.36	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S6	80.36	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S7	78.60	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S8	79.08	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S9	75.76	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S10	80.67	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S11	87.75	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S12	88.04	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S13	100.80	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S14	97.78	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S15	81.01	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S16	75.59	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S17	76.51	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S18	75.45	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S19	87.39	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$
S20	99.59	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S21	97.62	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 160 / 1000 = 137.3$
S22	81.15	$50.3 \times 4 \times 420 \times 260 / 100 / 1000 = 219.7$

Perdelerin kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması işlemiyle yapılır. Binamızda perdelerin yeterli kesme güvenliği olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’de  $x$  doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış zemin kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılarak perdelerin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Zemin kat perdelerinin  $x$  doğrultusu için kesme güvenliği**

Perde	$V_{istem}$	$A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywm})$
	kN	kN
P1	340.69	$300 \times 5600(0.65 \times 1.725 + 0.00203 \times 420) / 1000 = 3316.07$
P2	447.70	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$
P3	433.07	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$
P4	2107.91	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P5	2096.07	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P6	353.53	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P7	326.89	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P8	347.54	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P9	321.04	$300 \times 3900(0.65 \times 1.725 + 0.00197 \times 420) / 1000 = 2279.92$
P10	1951.50	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P11	2091.30	$3900 \times 300(0.65 \times 1.725 + 0.00429 \times 420) / 1000 = 3419.97$
P12	334.83	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$
P13	341.00	$300 \times 7800(0.65 \times 1.725 + 0.00198 \times 420) / 1000 = 4569.67$

Kirişlerin kesme kontrolü, kesme kuvveti istemlerinin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması işlemiyle yapılır. Binamızda kirişlerin yeterli kesme güvenliği olduğu hesaplanmış Çizelge 4.4’de  $x$  doğrultulu şiddetli deprem etkileri altında hesaplanmış zemin kat kesme istemleri ile kesit kapasiteleri karşılaştırılarak kirişlerin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4 : Zemin kat kirişleri x doğrultusu için kesme güvenliği**

Kiriş	$V_{istem}$ kN	$A_{sw}f_{ywm} d/s$ kN
K103	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K104	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K105	95.46	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K106	113.24	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
MK1	128.80	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
MK2	148.54	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K108	115.71	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K109	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K110	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K111	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K113	123.10	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K116	138.81	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K117	142.45	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K118	138.81	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K119	109.17	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K120	148.65	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K121	138.81	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K122	107.62	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K123	123.10	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K126	138.81	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K127	142.45	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K128	138.81	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K129	109.17	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K130	148.65	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K131	138.81	50.3x2x420x560/100/1000=236.61
K132	107.62	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K133	90.35	50.3x2x420x560/200/1000=118.31
K133A	86.48	50.3x2x420x560/150/1000=157.74
K136	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K137	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K138	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K139	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K140	81.06	50.3x2x420x560/200/1000=118.31
K140A	164.26	50.3x2x420x960/150/1000=270.41
K141	101.38	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K142	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K143	92.49	50.3x2x420x560/120/1000=197.18
K144	98.65	50.3x2x420x560/120/1000=197.18

Betonarme kolon-kiriş birleşim bölgeleri için Bölüm 3'te tarif edilen yöntem zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap içinde geçerlidir.

Çizelge 4.5'de  $x$  doğrultusundaki depremde birleşim bölgelerinin yeterli kesme güvenliğinin bulunduğu gösterilmiştir.  $V_e$  değerinin tanımı Denklem (3.9)'da verilmiştir.

**Çizelge 4.5 : Zemin kat kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme kontrolü**

Kolon	$V_{istem}$	$A_{s1}+A_{s2}$	$V_e$	$0.45 b_j h f_{cd}$
	kN	mm <sup>2</sup>	kN	kN
S1	98.63	864	354.97	1012.5
S2	93.44	1172	521.86	1012.5
S3	80.52	971	429.26	1012.5
S4	101.75	1326	594.40	1012.5
S5	101.36	1326	594.79	1012.5
S6	80.36	971	429.42	1012.5
S7	78.60	971	431.18	1012.5
S8	79.08	971	430.70	1012.5
S9	75.76	971	434.02	1012.5
S10	80.67	1078	485.28	1012.5
S11	87.75	1433	664.58	1012.5
S12	88.04	1433	664.29	1012.5
S13	100.80	1433	651.53	1012.5
S14	97.78	1433	654.55	1012.5
S15	81.01	971	428.77	1012.5
S16	75.59	971	434.19	1012.5
S17	76.51	971	433.27	1012.5
S18	75.45	971	434.33	1012.5
S19	87.39	1078	478.56	1012.5
S20	99.59	1326	596.56	1012.5
S21	97.62	1326	598.53	1012.5
S22	81.15	971	428.63	1012.5

#### 4.5 Bina performansının belirlenmesi

Binanın kullanım amacının okul olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Hemen Kullanım, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan Can Güvenliği performans hedefini sağlaması istenmektedir.

Deprem Yönetmeliği'ne göre analize esas üç deprem kaydının sonuçlarının maksimumunun alınması gerekmektedir. Ancak karşılaştırma amaçlı olarak her bir deprem kaydına ait sonuçlar Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de sırasıyla tasarım depremi ve şiddetli deprem için her iki doğrultuda sunulmuştur.

**Çizelge 4.6 :** Imperial Valley-12140 tasarım depremi için eleman hasar durumları

		MHB	BHB	İHB	GB	
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	78	22	0	0
		2.Kat	67	33	0	0
		1.Kat	78	22	0	0
		Zemin Kat	82	18	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0

Çizelge 4.6'da Imperial Valley-12140 tasarım depremi için sırasıyla x ve y doğrultusunda kirişler, kolonlar ve perdeler için eleman hasar durumları gösterilmiştir ve x doğrultusunun y doğrultusuna göre daha zayıf bir performans sergilediği görülmüştür.

**Çizelge 4.7 : Imperial Valley-12230 tasarım depremi için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	89	11	0	0
		1.Kat	89	11	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0

**Çizelge 4.8 : Erzincan tasarım depremi için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	53	47	0	0
		2.Kat	18	72	0	0
		1.Kat	13	77	0	0
		Zemin Kat	18	72	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	80	20	0	0
		2.Kat	81	19	0	0
		1.Kat	81	19	0	0
		Zemin Kat	87	13	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0

Çizelge 4.7 ve 4.8’de Imperial Valley-12230 ve Erzincan tasarım depremi için x ve y doğrultusunda kirişler, kolonlar ve perdeler için eleman hasar durumları gösterilmiştir ve x doğrultusunun y doğrultusuna göre daha zayıf bir performans gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca Imperial Valley-12140, Imperial Valley-12230 ve Erzincan tasarım depremleri kıyaslandığında Erzincan depreminde diğer iki depreme göre daha çok hasar görülmüştür.

Çizelge 4.9, 4.10 ve 4.11’de aynı kayıtların şiddetli deprem için x ve y doğrultusunda kirişler, kolonlar ve perdeler için eleman hasar durumları gösterilmiştir ve x doğrultusunun y doğrultusuna göre daha zayıf bir performans gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca Imperial Valley-12140, Imperial Valley-12230 ve Erzincan şiddetli depremleri kıyaslandığında Erzincan depreminde diğer iki depreme göre daha çok hasar görülmüştür.

**Çizelge 4.9 :** Imperial Valley-12140 şiddetli depremi için eleman hasar durumları

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	41	69	0	0
		2.Kat	24	86	0	0
		1.Kat	28	92	0	0
		Zemin Kat	31	79	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	87	13	0	0
		2.Kat	87	13	0	0
		1.Kat	89	11	0	0
		Zemin Kat	95	5	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0

**Çizelge 4.10 : Imperial Valley-12230 şiddetli depremi için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	53	47	0	0
		2.Kat	42	58	0	0
		1.Kat	45	55	0	0
		Zemin Kat	56	44	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	78	22	0	0
		2.Kat	81	19	0	0
		1.Kat	81	19	0	0
		Zemin Kat	90	10	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0

**Çizelge 4.11 : Erzincan şiddetli depremi için eleman hasar durumları**

			MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	26	74	0	0
		2.Kat	0	100	0	0
		1.Kat	0	100	0	0
		Zemin Kat	0	100	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	82	18	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	91	9	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	70	30	0	0
Y Doğrultusu	Kirişler (%)	3.Kat	72	28	0	0
		2.Kat	69	31	0	0
		1.Kat	69	31	0	0
		Zemin Kat	80	20	0	0
	Kolonlar (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0
	Perdeler (%)	3.Kat	100	0	0	0
		2.Kat	100	0	0	0
		1.Kat	100	0	0	0
		Zemin Kat	100	0	0	0

#### **4.6 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi Performans Sonuçlarının Değerlendirmesi**

Yapılan analizler sonucunda her bir deprem kaydı için  $x$  ve  $y$  doğrultusu ayrı ayrı irdelenmiş ve sonuçlar sayısal olarak elde edilmiştir. Daha önce artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde belirtilen ve Deprem yönetmeliğinin öngördüğü performans şartları Zaman Tanım Alanında yapılan hesap yönteminde de aynen geçerli kabul edilerek binanın performans seviyesi belirlenmiştir. Zaman Tanım Alanında analizde sonuçların maksimumu belirleyici kabul edileceğinden kullanılan deprem kayıtlarından en olumsuz sonuçların bulunduğu kayıttaki değerler baz alınmıştır. Buna göre performansın değerlendirilmesinde Erzincan deprem kaydı belirleyici olmuştur.

##### **➤ Tasarım depremi için performans değerlendirme**

Binanın kullanım amacının okul olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde *Hemen Kullanım* performans hedefini sağlaması istenmekte idi. Bunun için yönetmelikte belirtilen ilk kural, herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u BHB'ne geçebilir. Öncelikle tasarım depreminin  $x$  doğrultusunu inceleyelim. Erzincan depremi kiriş hasar sonuçlarına baktığımızda kirişlerin %10'undan fazlasının BHB'ne geçtiği görülmektedir. Bu nedenle bina tasarım depremi  $x$  doğrultusunda Hemen Kullanım Performans seviyesini sağlayamamaktadır. Ancak Can Güvenliği performans hedefini sağlamaktadır.

Binamız  $y$  doğrultulu Erzincan tasarım depremi için incelendiğinde yine kirişlerin %10'undan fazlası BHB'ne geçtiği için Hemen Kullanım Performans hedefini sağlayamamaktadır. Ancak Imperial Valley-12140 ve Imperial Valley-12230 deprem kayıtları tasarım depremi  $y$  doğrultusu için incelendiğinde Hemen Kullanım Performans seviyesini sağlamaktadır. Ayrıca  $y$  doğrultulu tasarım depremi Can Güvenliği performans hedefini sağlamaktadır.

##### **➤ Şiddetli deprem için performans değerlendirme**

Binanın kullanım amacının okul olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremde *Can Güvenliği* performans hedefini sağlaması istenmekte idi. Yapı şiddetli deprem etkisinde  $x$  ve  $y$  doğrultusunda kirişlerin hiçbiri ileri hasar bölgesine geçmediği için, ayrıca kolon ve perdelerin belirgin hasar bölgesine geçen

elemanlarında dahi kesit kesme güvenliğini sağladığı için istenilen can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır (Çizelge 4.12).

**Çizelge 4.12 :** Zaman tanım alanında hesaba göre sonuçların değerlendirilmesi

Deprem Aşılma Olasılığı	Bina performans seviyesi			
	Hemen Kullanım		Can Güvenliği	
	x Doğrultusu	y Doğrultusu	x Doğrultusu	y Doğrultusu
50 Yılda %10	×	×		
50 Yılda %2			√	√



## 5. BİNA PERFORMANS SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMALI DEĞERLENDİRMESİ

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemine göre yapılan hesaplar sonucu tasarım depremi etkisinde  $x$  doğrultusunda *Hemen Kullanım* performans seviyesini sağlamadığı,  $y$  doğrultusunda ise *Hemen Kullanım* performans seviyesini sağladığı görüldü. Zaman Tanım Alanında yapılan hesaplamalar sonucu binanın *Hemen Kullanım* performans seviyesini her iki doğrultuda sağlamadığı görülmektedir.

Bina *Can Güvenliği* performans seviyesini ise her iki yönde ver her iki hesap yönteminde de sağlamaktadır.

**Çizelge 5.1** Artımsal eşdeğer deprem yükü hesabına göre sonuçların değerlendirilmesi

Depremin Aşılma Olasılığı	Bina performans seviyesi			
	Hemen Kullanım		Can Güvenliği	
	$x$ Doğrultusu	$y$ Doğrultusu	$x$ Doğrultusu	$y$ Doğrultusu
50 Yılda %10	×	√		
50 Yılda %2			√	√

**Çizelge 5.2** Zaman tanım alanında hesaba göre sonuçların değerlendirilmesi

Depremin Aşılma Olasılığı	Bina performans seviyesi			
	Hemen Kullanım		Can Güvenliği	
	$x$ Doğrultusu	$y$ Doğrultusu	$x$ Doğrultusu	$y$ Doğrultusu
50 Yılda %10	×	×		
50 Yılda %2			√	√



## KAYNAKLAR

- [1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYYHY** 2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.
- [2] **TS500, 2000.** Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [3] **Çakıroğlu, A., Özer, E.,** 1980. Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [4] **Bruneau, M., Uang, C. ve Whittaker, A.,** 1998. Ductile Design of Steel Structures, McGraw-Hill, New York.
- [5] **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik İçin Mesleki Eğitim Programı Kitapçığı
- [6] **Celep, Z.,** 2007. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [7] **McGuire, W., Gallagher, R. ve Ziemian, R.,** 2000. Matrix Structural Analysis, John Wiley & Sons, New York
- [8] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.,** 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- [9] **Pelin Gündeş Bakır,** 2008. Gerçek Zamanlı Sistem Tanıma Teknikleri ve Sonlu Eleman Modeli Güncelleme Yöntemleriyle Mevcut Binalarda Hasar Belirlenmesi, Tübitak Proje No: 107M-573, İstanbul, Turkey.
- [10] **TS-498,** 1987. Yapılar hesaplarında kullanılacak yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [11] **SAP 2000,** Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [12] **Gözde Sezgin,** 2008. Mevcut Betonarme Bir Yapının Doğrusal Olmayan Yöntem Kullanılarak Performans Değerlendirmesi ve Farklı Zemin Sınıfları İçin Karşılaştırılması, İstanbul, Turkey.
- [13] **XTRACT 2001,** Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento.
- [14] **Priestley, M.J.N.,** 2003. Myths and Fallacies in Earthquake Engineering Revisited, IUSS Press, Pavia.
- [15] **Pelin Gündeş Bakır, Edwin Reynders, Guido De Roeck,** 2007. An improved finite element model updating method by the global optimization technique 'Coupled Local Minimizers', Computers and Structures, 86, 1339, 52.

- [16] **SEISMOSIGNAL**, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy
- [17] **Clough, R.W. ve Penzien, J.**, 1975. Dynamics of Structures, McGraw-Hill, New York.
- [18] **Wilson, E.L.**, 2002. Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures , Computers and Structures, California.

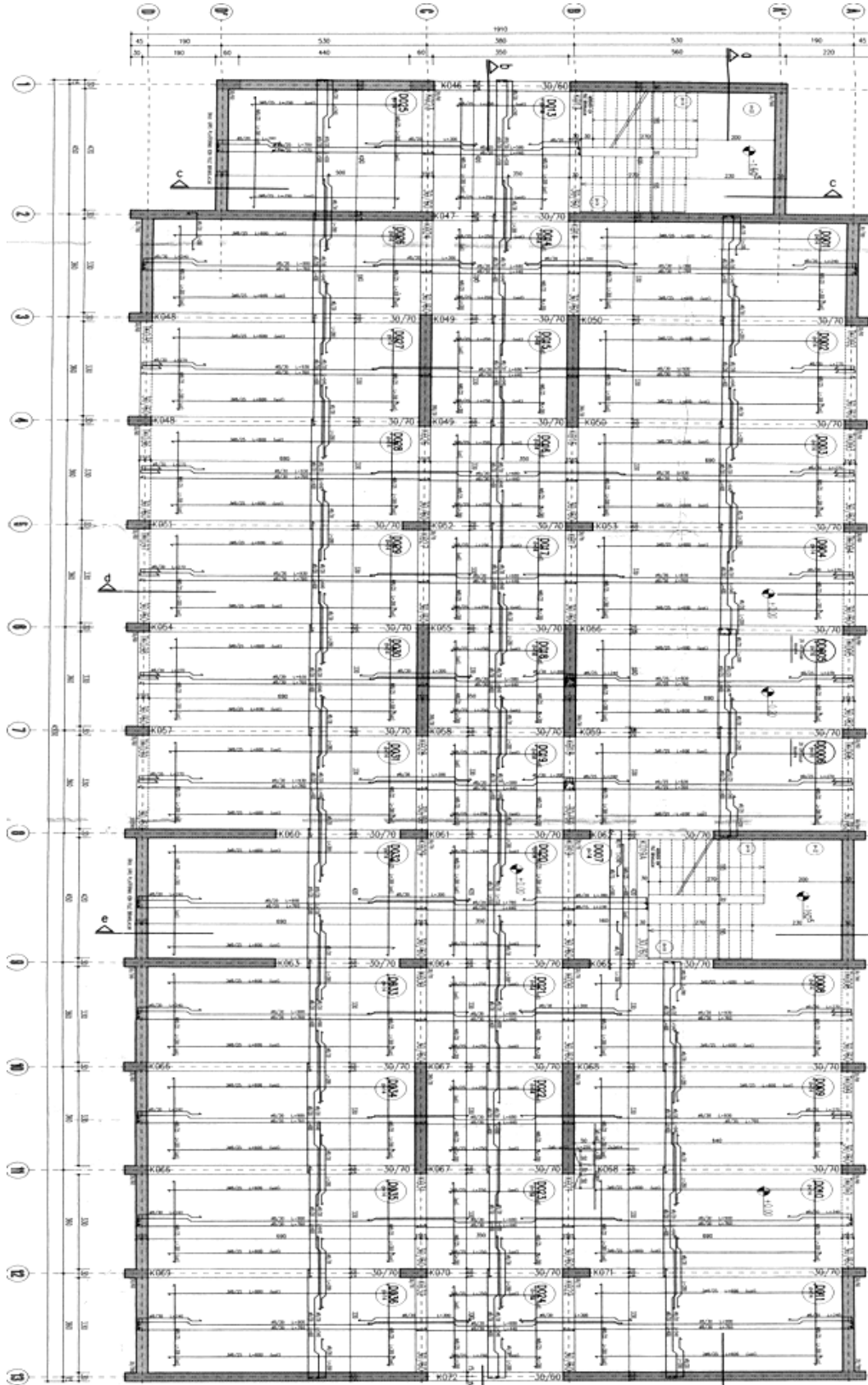
## **EKLER**

**EK A :** Bodrum ve Zemin Kat Kalıp Aplikasyon Planları

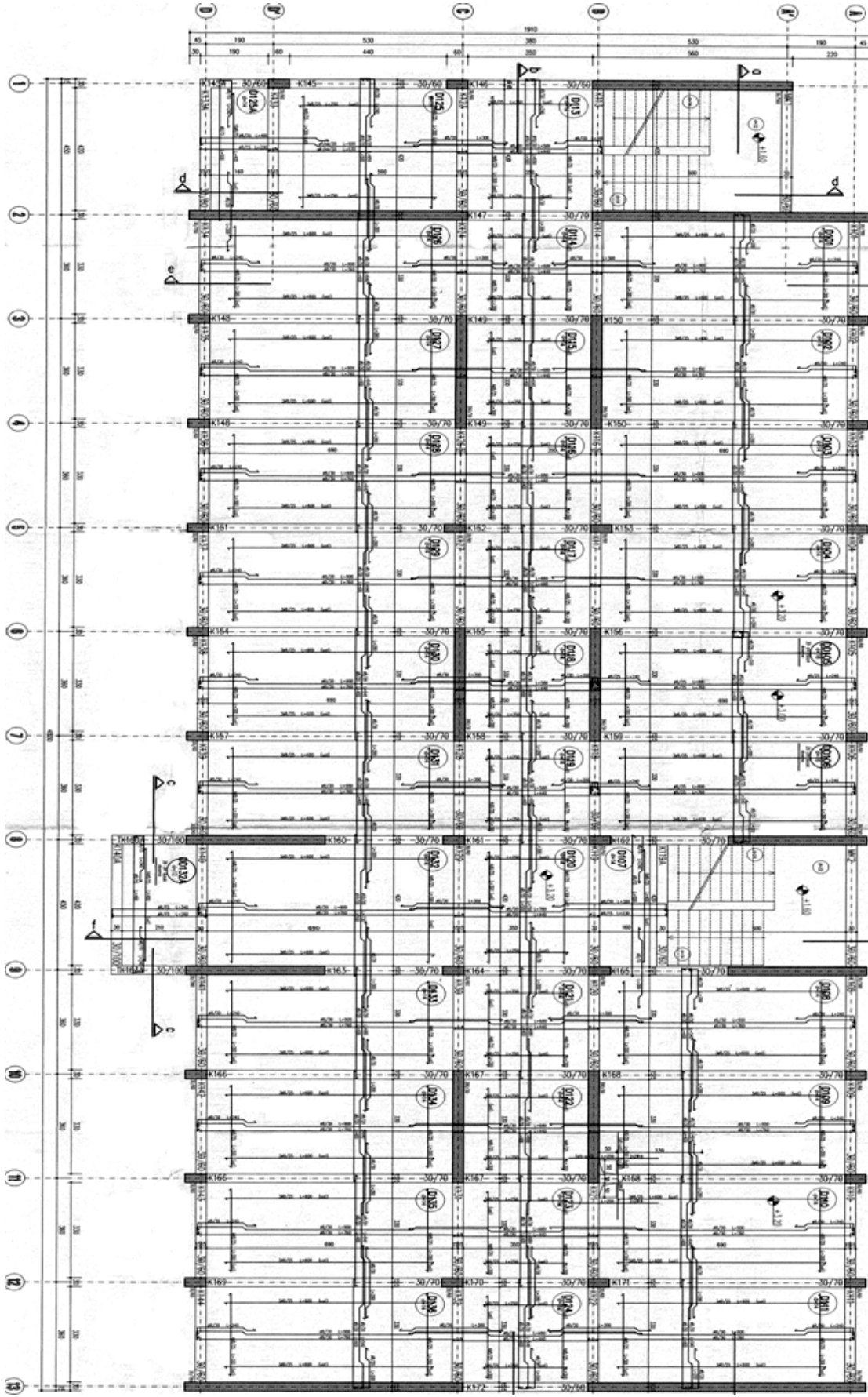
**EK B :** Bina Mod Şekilleri



EK A.

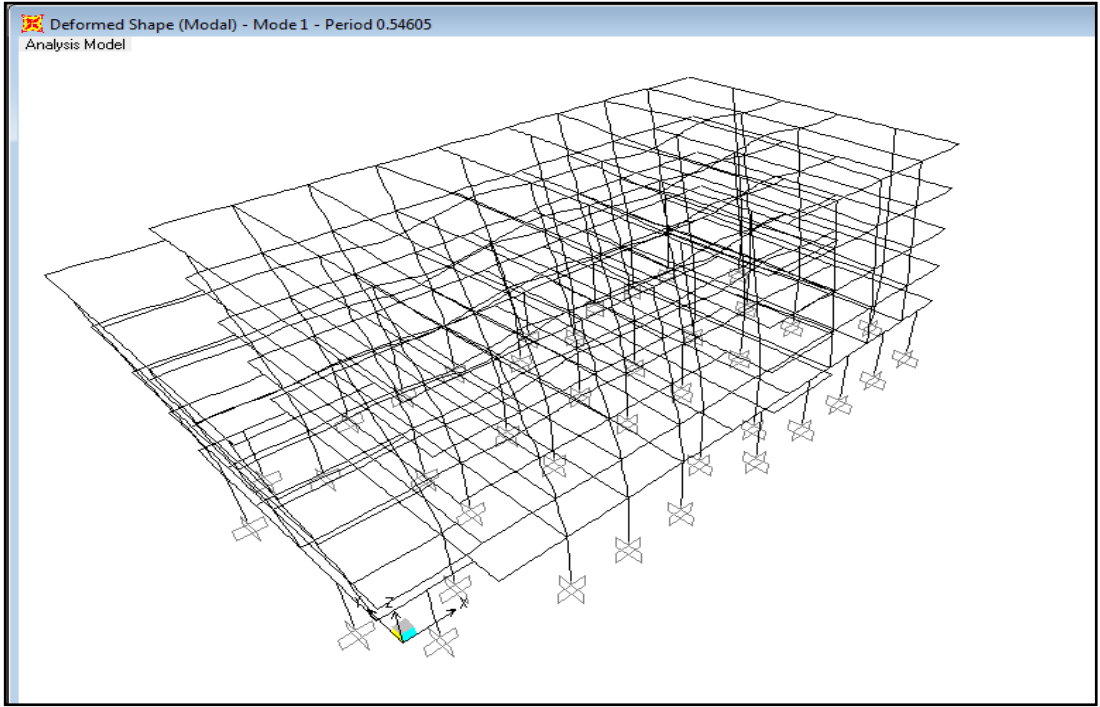


Şekil A.1 Bodrum kat kalıp aplikasyon planı

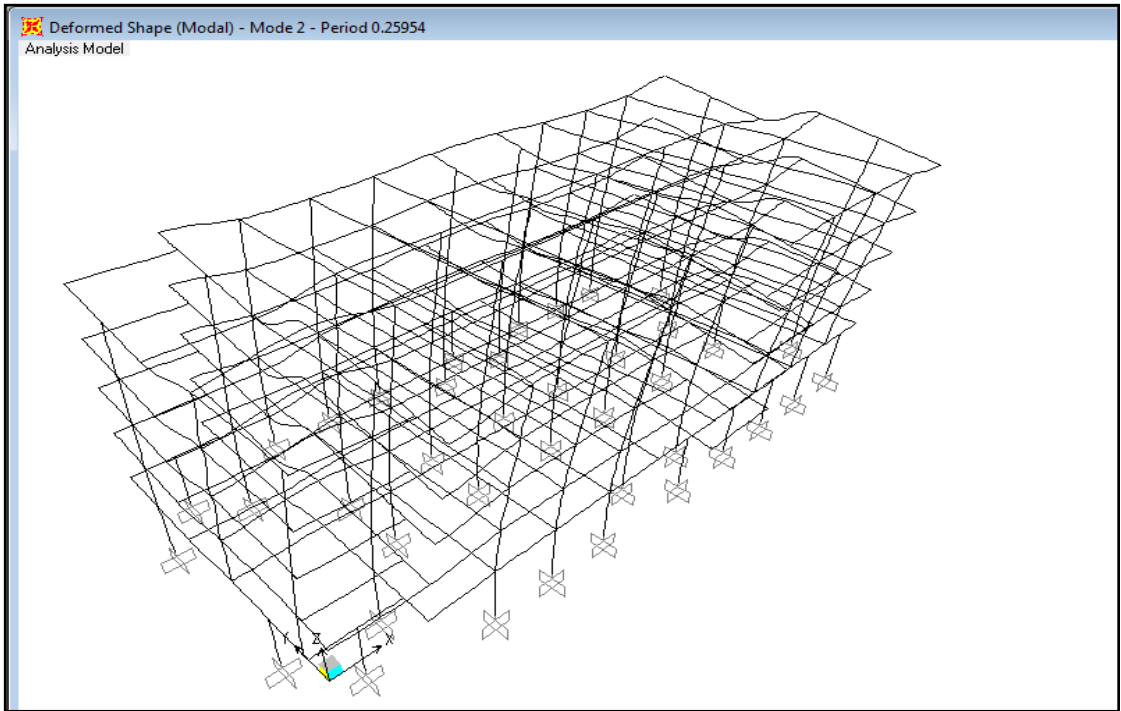


Şekil A.2 Zemin kat kalıp aplikasyon planı

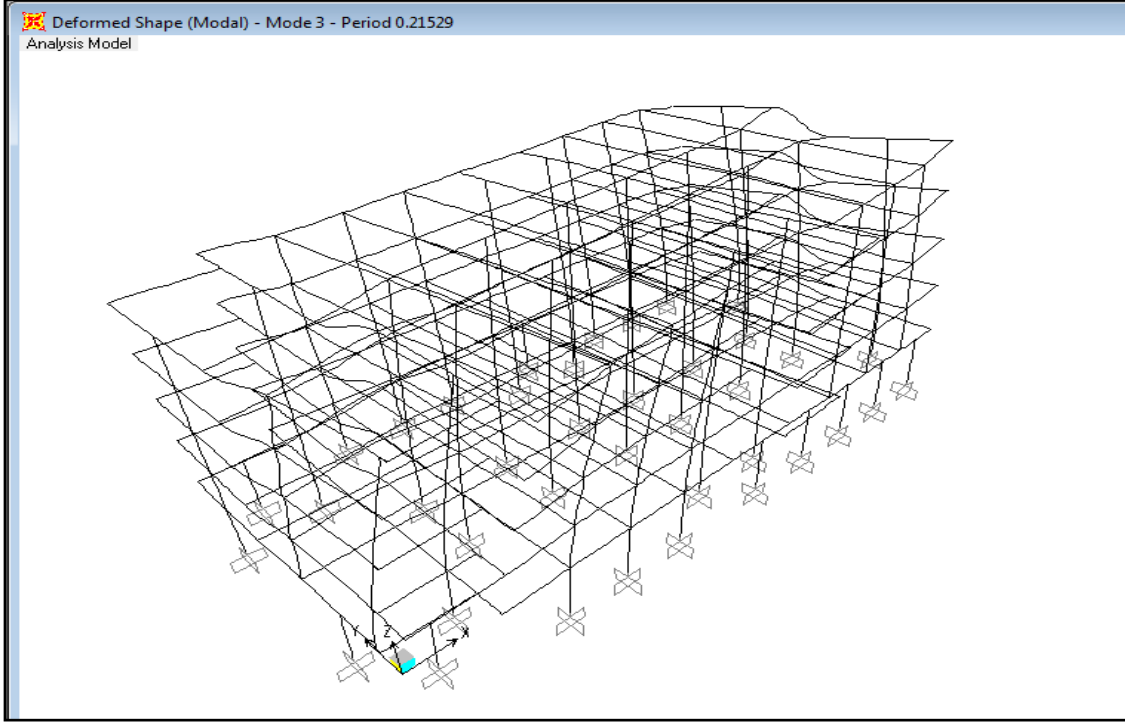
## EK B.



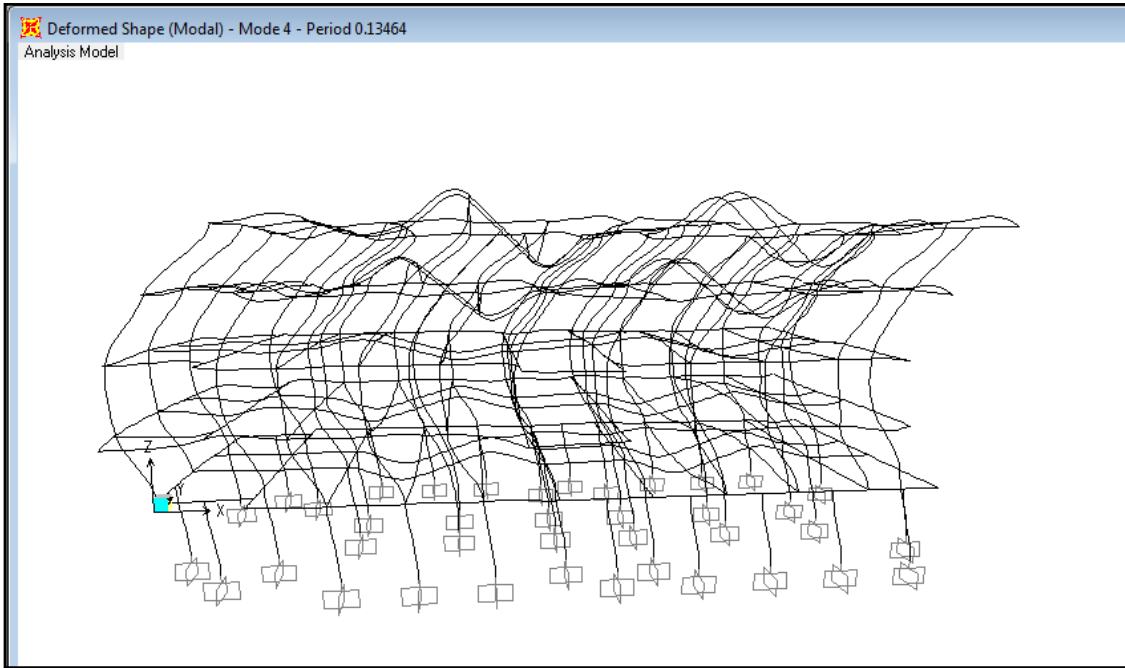
Şekil B.1 Binanın 1. mod şekli



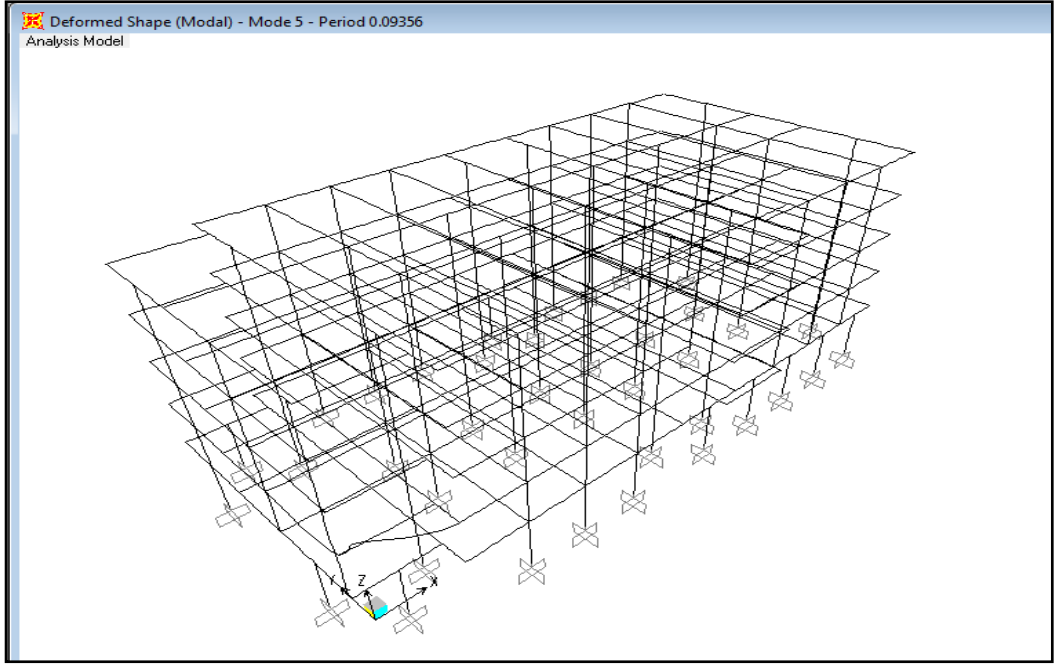
Şekil B.2 Binanın 2. mod şekli



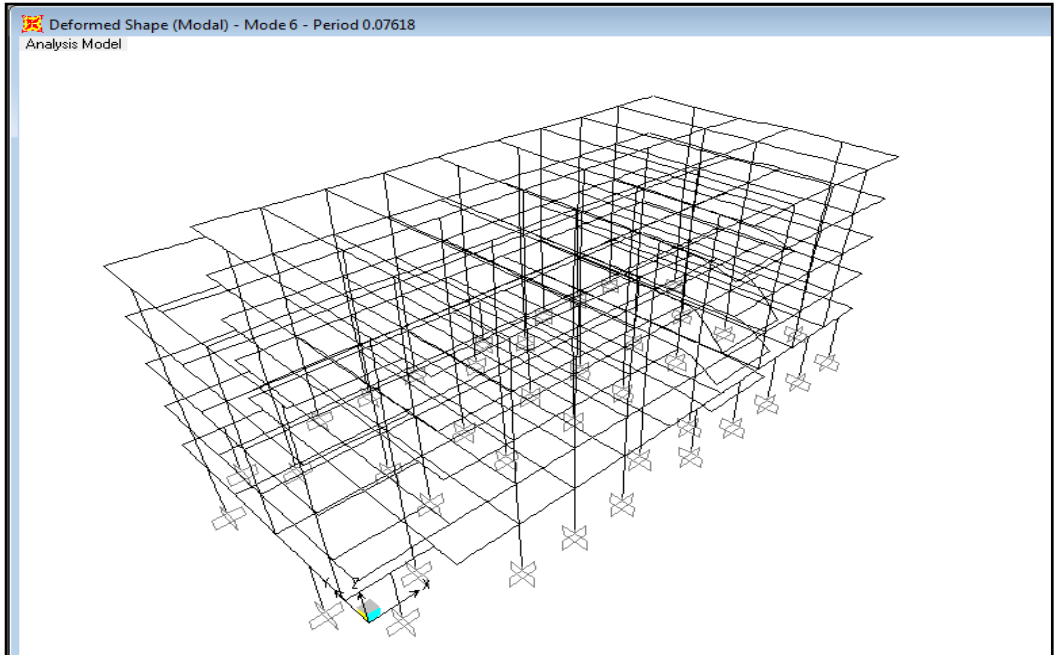
Şekil B.3 Binanın 3. mod şekli



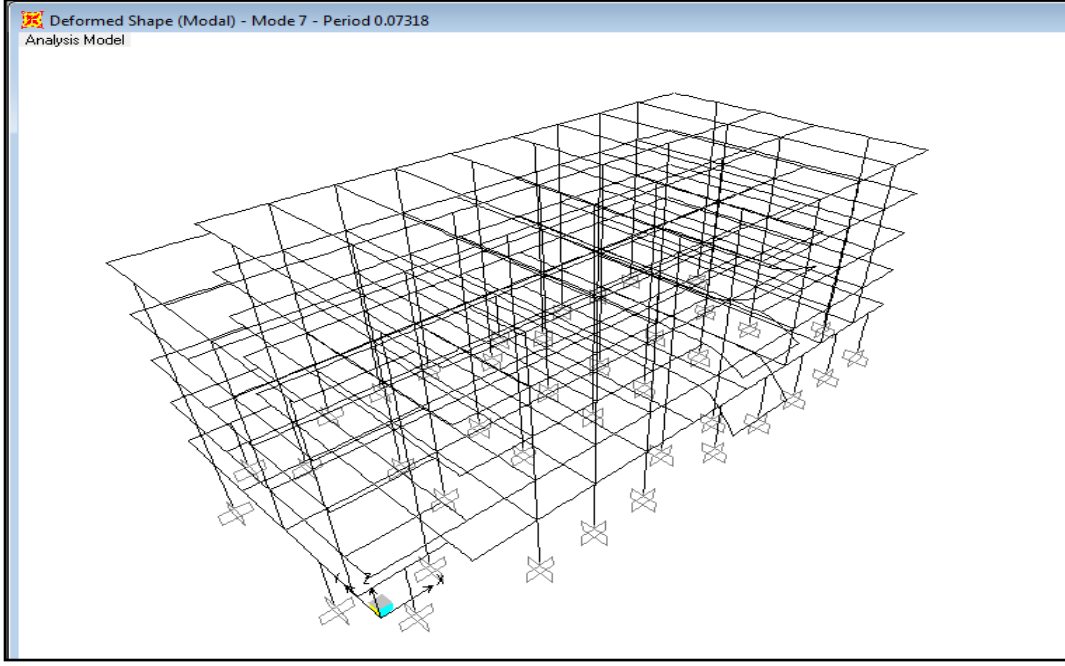
Şekil B.4 Binanın 4. mod şekli



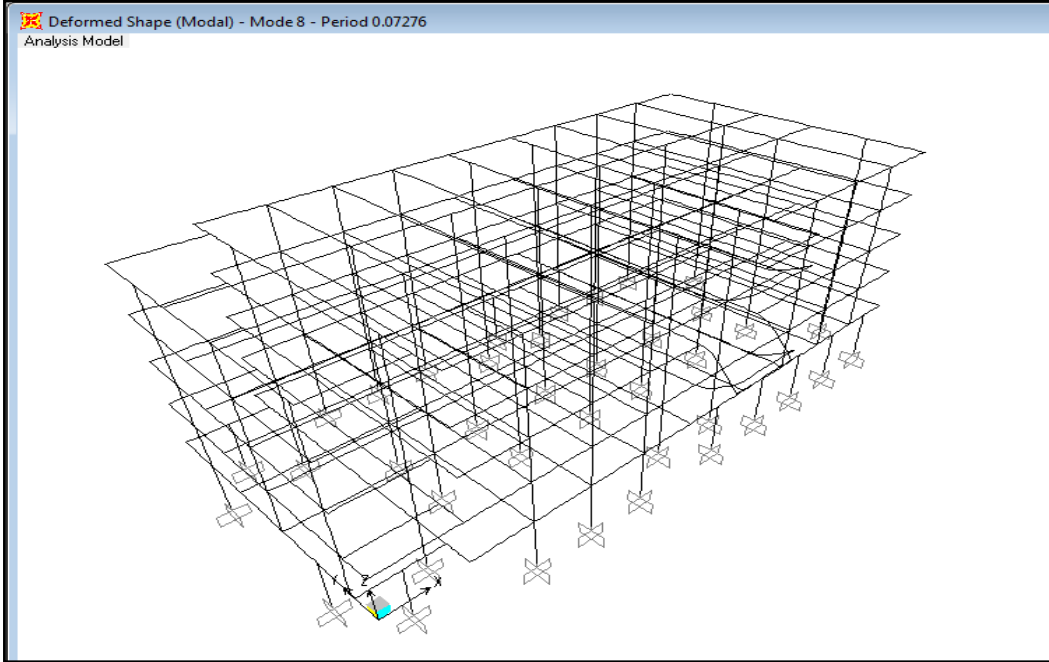
**Şekil B.5** Binanın 5. mod şekli



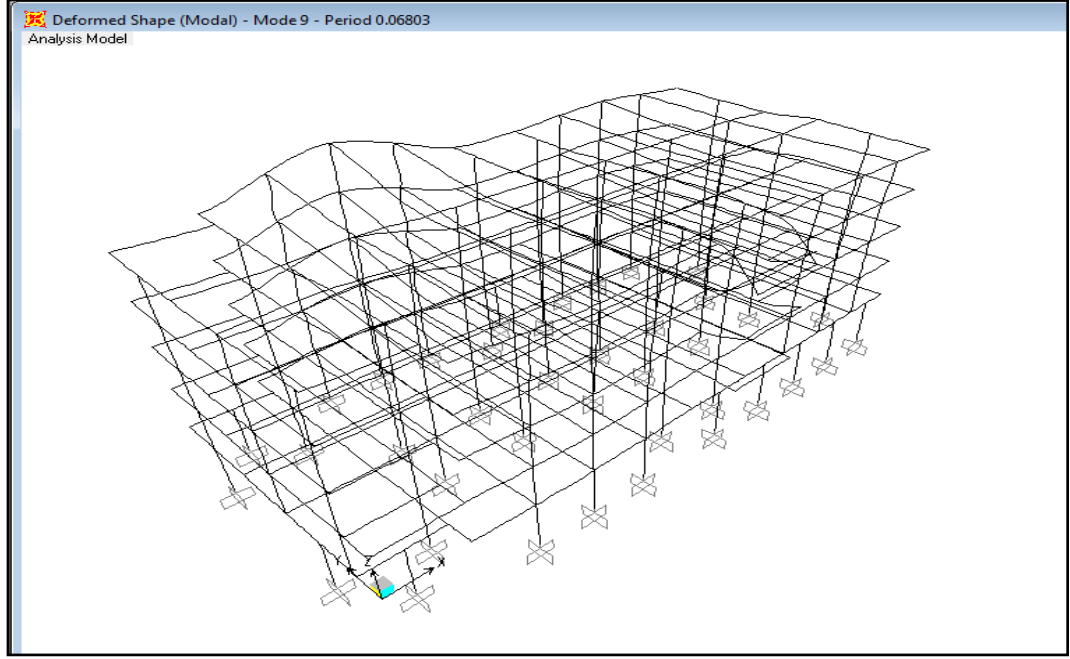
**Şekil B.6** Binanın 6. mod şekli



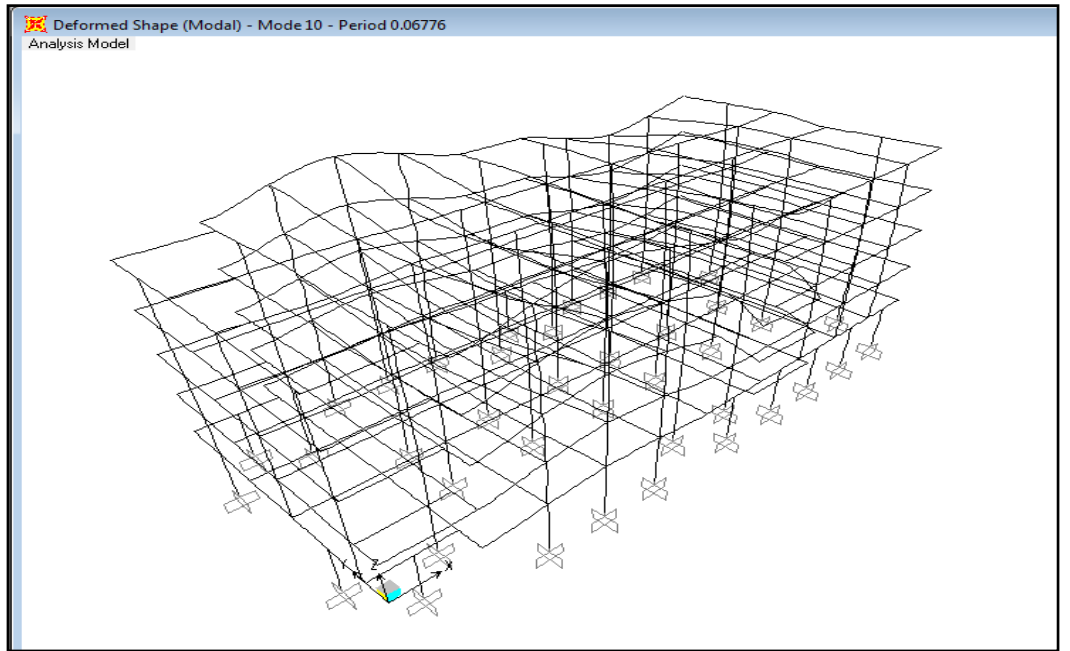
**Şekil B.7** Binanın 7. mod şekli



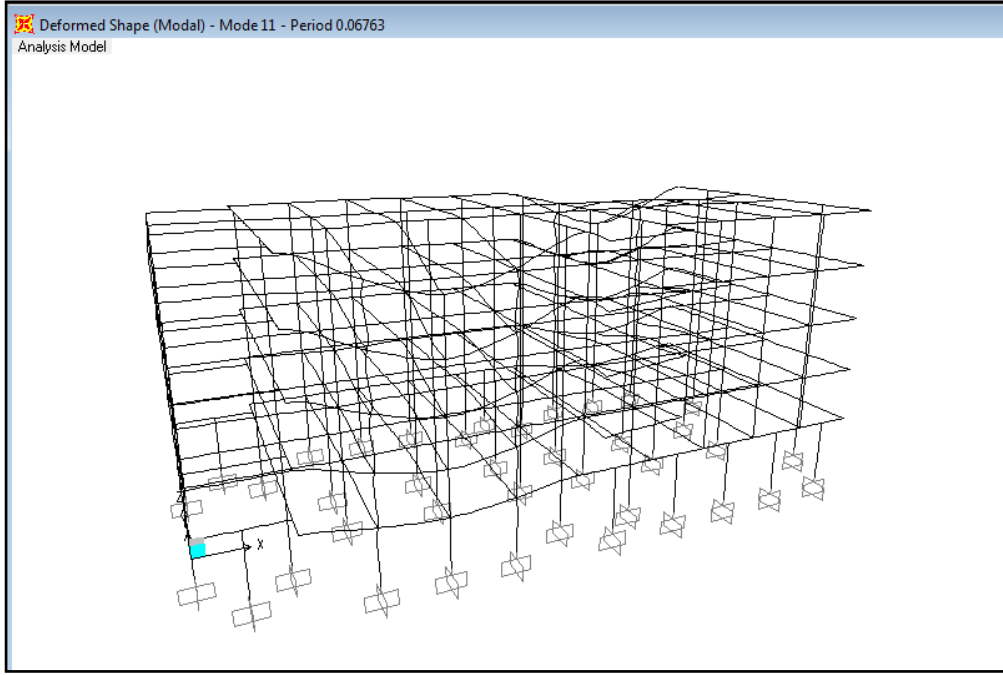
**Şekil B.8** Binanın 8. mod şekli



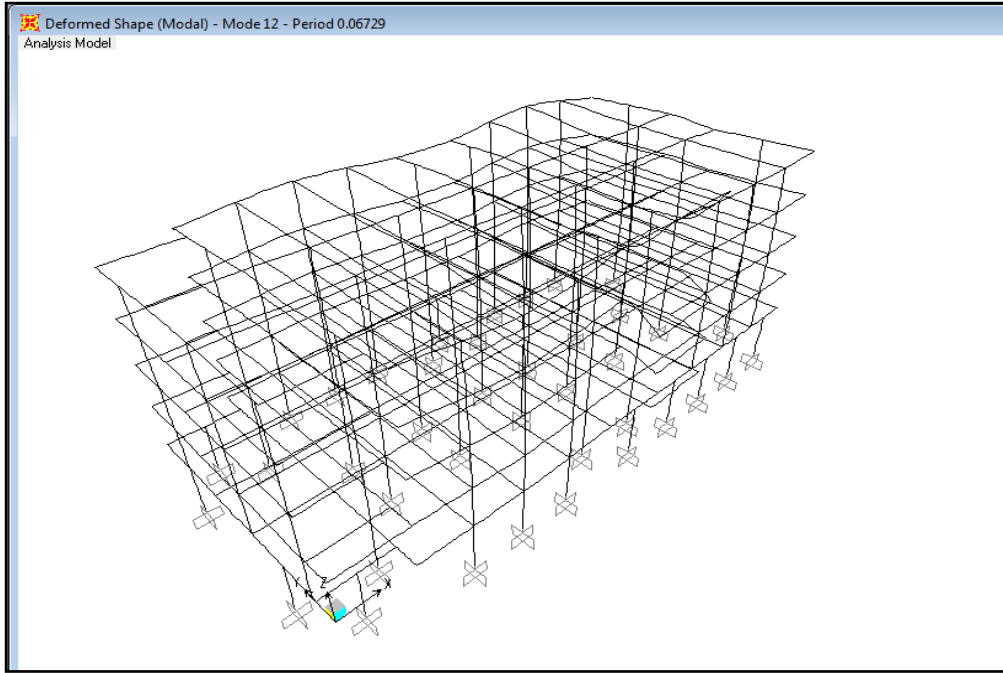
Şekil B.9 Binanın 9. mod şekli



Şekil B.10 Binanın 10. mod şekli



**Şekil B.11** Binanın 11. mod şekli



**Şekil B.12** Binanın 12. mod şekli

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Ayşe Pınar KARAKAN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Bolu / 12.08.1982

**Adres:** Fulya mah. Güngören sok. No:2/4 Fulya/Şişli/ İstanbul

**Lisans Üniversitesi:** Çukurova Üniversitesi